

Universidad de las Ciencias Informáticas

Facultad 3



Título: Tratamiento inteligente de la incertidumbre para la
Gestión del Riesgo en entidades agrícolas.

Trabajo de Diploma para optar por el título de
Ingeniero en Ciencias Informáticas

Autores: Tamara Mayda Tamayo Silva

Mayelín González Tirado

Tutores: M. Sc. Águeda L. García Martín.

M. Sc. Odalys Rodríguez Perea.

Junio, 2011



***“Para trabajar inteligentemente el campo, se necesita ciencia variada
y no sencilla, y a veces profunda”.***

José Martí.

Declaración de Autoría

Declaramos que somos las únicas autoras de este trabajo y autorizamos a la Universidad de las Ciencias Informáticas a hacer uso del mismo en su beneficio.

Para que así conste firmamos la presente a los ____ días del mes de junio del año 2011.

Tamara Mayda Tamayo Silva

Mayelín González Tirado

Lic. Águeda L. García Martín

M. Sc. Odalys Rodríguez Perea

Datos de Contacto

M. Sc. Águeda L. García Martín

Licenciada en Física, UH, 1975. Profesora Auxiliar, ISPJAE, 1985. Maestría en Óptica y Láser, ISPJAE, 1980. Departamento de Meteorología, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, InSTEC. Profesora a Tiempo Parcial y Fundadora de la Universidad de las Ciencias Informáticas.

M. Sc. Odalys Rodríguez Perea

Licenciada en Economía, Universidad de La Habana, 1988. Maestría en Gerencia de la Ciencia y la Innovación, InSTEC, 2004. Profesora Auxiliar, InSTEC, 2011. Centro de Estudios de la Ciencia y la Innovación, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, InSTEC.

Dedicatoria

Tamara

A mis padres, en especial a mi mamita linda por impulsarme siempre a continuar adelante y por estar presente en los momentos más difíciles e importantes... por ser mi vida... te quiero y adoro.

A mi padrastro por ser siempre un ejemplo de responsabilidad.

A mi familia... en especial a mi tío Mario y a mi abuelita por brindarme siempre su cariño y ternura.

Mayelín

A mis padres por su dedicación y ejemplo, por su apoyo y amor incondicional, por su confianza, por no dejarme caer en los momentos difíciles... los quiero con la vida.

A mi hermanita por apoyarme y confiar siempre en mí... te adoro.

A toda mi familia por estar siempre pendiente de mi y apoyándome.

A mi novio Evelio por estar siempre a mi lado y apoyarme en todo momento... te quiero.

A mis suegros Martha y Evelio por su apoyo y confianza y estar siempre pendientes de mí... los quiero mucho.

Agradecimientos

Tamara

A mis tutoras Águeda y Odalys por su dedicación constante, por la confianza depositada en nosotros, sin ellas este trabajo no hubiese sido posible.

A mi mamá por ser la luz al final del camino, eres mi guía... te amo.

A mi compañera de tesis Mayelín...

A mis tíos Mario y Susana por sus consejos.

A mis primos Yuniel y Yoelvis.

A mi amiga Grettell Valdívía por haberme acompañado en los momentos buenos y malos durante mi estancia en esta gran universidad... te quiero amiga.

A mis amigos, a los que recordare siempre a Rogsany, Roberto, Alejandro y Humberto por haberme aguantado estos cinco años.

A mi tatico Maiquel por soportar horas de llanto y por contar con su apoyo incondicional.

A mis suegros Chino y Juana y mi cuñada Yailen por su preocupación constante.

A mi grupo de primer año que sin dudas fue el mejor.

A toda la gente linda que he conocido en todos estos años en mi trayectoria en la universidad.

A Fidel y a la Revolución por habernos dado la oportunidad de ser los profesionales que hoy somos.

Mayelín

A mis tutoras Águeda y Odalys por ayudarnos tanto en la realización de esta tesis...sin ellas no hubiéramos podido realizarla.

A mi compañera de tesis Tamara por su dedicación y entusiasmo.

A mis padres y mi hermanita que son mi vida y siempre han estado en los momentos más difíciles, a ellos les debo todo.

A Evelio por estar siempre a mi lado apoyándome en todo momento, por comprenderme, y estar siempre en los momentos más importantes... te quiero mucho.

A mis suegros Martha y Evelio por su ayuda, comprensión y cariño...ya son parte de mi familia y significan mucho para mí... los quiero mucho.

A mis tíos Vicenta, Buba, Lite, Andrea, Pillo, Tito, Martha, Melo, Titi, Idalberto, Mildrey, Ponce, Miriam, Odalys, Magalys, Gloria y Paquito por brindarme sus consejos y amor.

A todos mis primos...los quiero mucho.

A mis amigos que desde siempre me han acompañado Sulima y Aracelys.

A los amigos que tengo en la UCI Aylín, Yanet, Yani, Betty, Zerelda, Yesmín, Meylín, Lia, Yennis, Imilci, Fariña, JJ, Yuniór, Ernesto; a los que ya no están en la UCI Vilmaris, Adis, Yaniuská, Santiago y Surima...y a todos los que me han brindado su apoyo a lo largo de mi vida aquí.

A Fidel y a la Revolución por habernos dado la maravillosa oportunidad de estudiar.

Resumen

La Gestión de Riesgos ha adquirido un nivel importante actualmente en la gestión empresarial. En sus primeros años fue tratada como Administración de Riesgos pero desde la época de los 90 se empezó a tratar como Gestión del Riesgo.

En el presente trabajo se propone un Metamodelo para tratar la incertidumbre asociada a la Gestión del Riesgo en entidades agrícolas puesto que la agricultura en Cuba es un renglón fundamental en la alimentación del pueblo y sus afectaciones afectan sensiblemente a la población. Actualmente este sector ha mostrado un desempeño insatisfactorio que se evidencia en el orden objetivo y subjetivo de la gestión empresarial, en los recursos económicos y en las afectaciones climáticas.

El Metamodelo debe considerar que en la agricultura solamente no interviene un sistema de cultivo que es su componente fundamental sino que también intervienen el sistema de recursos (agua, suelo y hombre) y el sistema de apoyo (maquinarias, infraestructura para almacenar la producción, etc.), de ocurrir algún riesgo en estos sistemas influye directamente en el sistema de cultivo puesto que estos se encargan de apoyarlo.

Para tratar los Riesgos, desde el punto de vista matemático, se adoptó el enfoque de la incertidumbre bajo el paradigma de los conjuntos rugosos (*rough set*) que permiten tratar la ambigüedad y la naturaleza heterogénea de los datos asociados.

Palabras clave:

Gestión de Riesgo, Metamodelo, Riesgo Agrícola, Rough Set.

Contenido

<i>DEDICATORIA</i>	III
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	IV
RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	10
1.1 INTRODUCCIÓN	10
1.2 RIESGO Y GESTIÓN DE RIESGO	10
<i>1.2.1 Riesgo y Gestión de Riesgos en la Agricultura</i>	12
1.3 TOMA DE DECISIONES, INCERTIDUMBRE Y TÉCNICAS PARA SU TRATAMIENTO	17
<i>1.3.1 Probabilidad</i>	19
<i>1.3.2 Posibilidad</i>	19
<i>1.3.3 Rugosidad</i>	20
1.4 METAMODELO	22
1.5 CONCLUSIONES PARCIALES	23
CAPÍTULO 2. PROPUESTA DE SOLUCIÓN	24
2.1 INTRODUCCIÓN	24
2.2 METAMODELO DE INFORMACIÓN	24
2.3 ROUGH SET	28
<i>2.3.1 Sistema de información</i>	28
<i>2.3.2 Relación de Indiscernibilidad</i>	30
<i>2.3.3 Conjuntos Aproximados</i>	31

2.3.4 <i>Calidad de Aproximación</i>	34
2.3.5 <i>Dependencia de Atributos</i>	36
2.3.6 <i>Reducción de Atributos</i>	36
2.3.7 <i>Reglas de decisión</i>	41
2.4 CONCLUSIONES PARCIALES.....	41
CAPÍTULO 3. CASO DE ESTUDIO	42
3.1 INTRODUCCIÓN.....	42
3.2 CULTIVO DEL BONIATO.....	42
3.2.1 <i>Exigencias para el cultivo del boniato</i>	42
3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES.....	43
3.4 APLICANDO EL MÉTODO A LA ETAPA: PREPARACIÓN DE LA TIERRA.....	44
3.5 VULNERABILIDAD-PELIGRO-RIESGO.....	58
3.6 METAMODELO PROPUESTO.....	63
3.7 CONCLUSIONES PARCIALES.....	66
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	75
GLOSARIO DE TÉRMINOS	73

Introducción

Ya el escritor, político y orador romano Cicerón (106-43 A.C.) sentenciaba una verdad que renueva hoy en Cuba el proceso de actualización de su sistema socioeconómico: “...*la agricultura es la profesión propia del sabio, la más adecuada al sencillo y la ocupación más digna de todo hombre libre...*”

Referirse actualmente al sector agrícola en Cuba, es abordar un tema de gran importancia y que es decisivo para el futuro del país. En los “Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución” recientemente aprobados durante el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, se reconoce que “*el entorno internacional se ha caracterizado por la existencia de una crisis estructural sistémica, con la simultaneidad de las crisis económica, financiera, energética, alimentaria y ambiental, con el mayor impacto en los países subdesarrollados*”. También se analiza críticamente la situación interna y entre otros diversos aspectos se convoca a “*eleva los rendimientos agrícolas*” pues es reconocido que aún la agricultura muestra un desempeño insatisfactorio, ya que desde el 2007 se identificaban como deficiencias aquellas que en el **orden objetivo y subjetivo de la gestión** se añaden a las incrementadas afectaciones climatológicas.(Martínez 2007)

Es reconocido que las condiciones climáticas adversas, no solo influyen en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, sino en todas las actividades de producción que de ella se derivan, desde la preparación de las tierras, hasta el almacenamiento para la exportación o autoconsumo, pero también existen factores no climáticos, los cuales en última instancia deciden no pocos procesos en la actividad agrícola.

En el orden internacional, un interesante estudio realizado por el Instituto de Investigaciones de Impacto Climático, de la Universidad de Potsdam, Alemania, evidenció que incluso factores no climáticos se han revelado como detonantes de desastres.(Hans-Martin and Klein 2002)

En el ámbito nacional, como parte del proyecto al cual pertenece la actual investigación, si bien fueron encontradas ciertas relaciones en el orden estadístico en el aumento de la temperatura media en la zona de Güira de Melena y las pérdidas de la producción de papas, una profundización del estudio ampliado a otras variables meteorológicas (temperatura, precipitación, humedad relativa, insolación y viento) además

a otro tubérculo -el boniato- que no siempre las afectaciones de la producción agrícola están en correspondencia con las supuestas afectaciones agro-meteorológicas.(Trujillo 2009) (Valderá 2011)

Proveniente del ámbito bancario, el término de **Riesgo** se integra al estudio de las afectaciones a los procesos claves de cualquier entidad (empresa, organización o territorio), cualesquiera que sean. Existen diferentes clasificaciones: Bancarios, de Crédito, Financiero, de Mercado, de Auditoria, de Tecnologías de Información, etc. También simplemente se utiliza la expresión Riesgo e implícitamente se refiere a uno u a otro como Riesgos Empresariales. Los **Estudios de Riesgos** no son actividades aisladas, sino que forman parte de un proceso de gestión.(Labatut, Molina et al. 2005) (España 2005) (CE 2002)

Dentro del área medioambiental, se detallan los Estudios de Riesgo ante Desastres, los más estudiados. Se ha podido constatar la existencia de numerosas metodologías que orientadas unas a evaluar el impacto de los desastres ocurridos y otras a la evaluación de la variable más dinámica dentro de los riesgos, **la vulnerabilidad**, demuestran la importancia que la comunidad internacional proporciona al tema.(CEPAL 1999) (Borgia, Humees et al. 2008) (Benson and Twigg 2008)

En este sentido la temática en Cuba, con una trayectoria exitosa en la salvaguarda de las vidas y recursos económicos, cuenta con toda una base legal que establece la obligatoriedad de estudios de **Riesgos** a nivel de territorios desde junio del 2005. Pese a algunas limitaciones para su implantación, se considera que constituye un importante paso en el diagnóstico del riesgo a nivel local. Los mismos, se encuentran metodológicamente estructurados a través de una guía elaborada por el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil para situaciones de desastres, la cual posee como objetivo fundamental facilitar la Toma de Decisiones bajo ambiente de riesgo constituyendo además, el punto de partida para la elaboración de los programas de reducción de desastres.(Cuba 2005)

Tiene concebida una primera etapa donde se realizan los **Estudios de Peligros o Amenazas** a través del diagnóstico de los posibles eventos que pueden producir afectaciones en la población y sectores de la economía. En un segundo momento, realizan los **Estudios de Vulnerabilidad** definiéndose la predisposición a sufrir pérdidas o daños los elementos expuestos al impacto de un peligro y concluyen con

la **Evaluación de Riesgos** en la cual se hace una evaluación del proceso a través de la aplicación del costo-beneficio como herramienta para la **Toma de Decisiones**.

A pesar de su importancia, aún cuando no se llegue al DESASTRE, en el contexto de las entidades agrícolas los Riesgos que afectan todo el proceso llamado Sistema de Cultivo, se denominan **Riesgos Agrícolas**, y podrán ser tratados en todos sus aspectos al igual que los primeros siendo el proceso productivo el área clave de la entidad, en este caso, el **sistema de cultivo**. Si se considera que producir en su sentido más amplio, es transformar con una intencionalidad económica, definir entonces las causas a las que se condicionan los niveles de producciones posibles a alcanzar bajo escenarios de riesgos desde los territorios, permitiría una Toma de Decisiones con un menor grado de **incertidumbre**. Tres aspectos de importancia se identifican como necesarios para lograr enfrentar con éxito los **Estudios sobre Riesgo en una entidad agrícola**:

Primero:

La agricultura es así mismo una actividad humana, social y cultural. En ella intervienen, se manifiestan o concretizan todos los factores sociales, económicos, políticos, ideológicos, étnicos, lingüísticos, psicológicos, jurídicos, morales, culturales, etc. lo que demuestra que no puede estudiarse sin un enfoque integrador de sus factores. Todas estas particularidades reclaman que los análisis en la agricultura sean bajo una concepción sistémica e integrada y no a través de investigación de sus componentes de manera aislada.(Freyre 1997)

Segundo:

La complejidad implícita en el **sistema de cultivo**, como proceso clave de la entidad agrícola, posee una muy diversa cantidad de datos asociados, por cuanto en cada una de las etapas en que se divide: **preparación de la tierra, siembra, atención cultural y cosecha**, existen diversidad de tareas imbricadas en cada una de ellas, además de estar afectadas en mayor o menor grado por el conjunto de amenazas posibles, es decir, peligros, vulnerabilidades y riesgos en todas sus dimensiones ya sea agro-meteorológicas o en aquellas asociadas a los recursos de todo tipo o a

las interioridades funcionales de la entidad. Los datos son de variada naturaleza: escalas cualitativas, variables booleanas, variables numéricas, entre otras.(Ruiz-Schulcloper 2007)

Tercero:

El sistema de datos asociados a los sistemas de cultivo, y a sus peligros, vulnerabilidades y riesgos es diversa, compleja en su naturaleza, ambigua y permeada de subjetividad. A pesar de ello ha prevalecido el enfoque que trata la incertidumbre como probabilidad de ocurrencia de determinados eventos, aún cuando las variables identificadas provengan de las llamadas fuentes de datos heterogéneas (numéricas, booleanas y gradaciones cualitativas diversas) que requieren utilizar los referentes del tratamiento de datos tanto en lo particular como de manera holística para permitir valorar el Riesgo en este caso.(Ruiz-Schulcloper 2007)

En los Estudios sobre Riesgo la “*cuantificación*” de las variables exige el tratamiento de la **incertidumbre**. La incertidumbre puede estar asociada desde los errores cuantificables en los datos hasta terminología definida de forma ambigua o previsiones inciertas del comportamiento humano. Es decir, la incertidumbre puede ser representada por valores cuantitativos (por ejemplo, un rango de valores calculados según distintos modelos) o por criterios cualitativos (por ejemplo, al reflejar el juicio de un grupo de expertos) que son forzados a ser “cuantificados”. Ha sido tratada:

- Primeramente, el más conocido y utilizado, desde el enfoque de la PROBABILIDAD según Bayes (siglo XVI y siglo XVII) que sigue primando en todos los tipos de análisis estadísticos.
- Desde 1965 Zadeh (Zadeh 1994) propuso los Conjuntos Borrosos (**Fuzzy sets**) según la llamada Lógica Difusa que aporta el enfoque desde la POSIBILIDAD.
- Y desde 1982, Zdzisław Pawlak (Rissino and Lambert-Torres 2009) propuso la introducción para describir la VAGUEDAD a través de la utilización de los conjuntos rugosos (**Rough sets**).

No basta entonces aplicar modelos matemáticos diversos con sus correspondientes técnicas de procesamiento de datos, que pudieran ser diferentes incluso para un mismo tipo de dato. Hasta el

momento se han identificado sistemas de modelos asociados, diferentes técnicas de procesamiento de los datos, sino del diseño de un sistema de modelos que permitan asociar variables de los diversos elementos componentes del objeto bajo estudio en el sentido de los modelos estadísticos multivariantes (Koller 2000) y ya más recientemente los modelos híbridos (estadísticos multivariantes y de Inteligencia Artificial).(Andreina 2006)

Aún cuando desde la última década del pasado siglo el interés por el Riesgo pasó a una categoría de superior alcance -de la Administración de Riesgo a la Gestión del Riesgo- no fue hasta la primera década del presente en que los diversos autores han ido incorporando a otras dimensiones el Riesgo. Se incluyeron consideraciones de otras variables y factores definitorios en lo social, económico y tecnológico, el reconocimiento de comportamientos que claramente definen los patrones de riesgo para dar respuesta a las necesidades de información consistente, y se le confirió al pre-procesamiento de datos un factor determinante para la generación de variables categóricas del mismo y su comportamiento mediante las opciones de pronóstico y clasificación. No obstante, los criterios definitorios de su determinación matemática siguieron siendo de tipo probabilístico-estadístico.(Cardona 2000) (Escalante and Arango 2004) (Rachev, Stoyanov et al. 2008) (Julián 2008) (Mendoza 2009) (Pawlak 1991)

La potencialidad del Reconocimiento de Patrones, la Minería de Datos y otras partes integrantes de la llamada Inteligencia Artificial -hoy SOFCOMPUTING- reconocen aplicaciones importantes en estos campos del tratamiento de datos en especial en el Reconocimiento Lógico Combinatorio de Patrones (que utiliza la Lógica Fuzzy) y en general otras técnicas de la Minería de Datos Mezclados e Incompletos.(Cruz and Vicens 2006) (Ruiz-Schulcloper 2007)

Hoy día, la solución a este tipo de complejos y multifactoriales problemas como los que motivan la presente investigación han incorporado concepciones avanzadas en integradoras más holísticas y por tanto de conceptualizaciones que en el orden cognitivo requieren de todo un sistema de modelos engarzados no solamente en el tratamiento del dato y en el tratamiento de los múltiples aspectos sino en el orden cognitivo generalizaciones de mayor amplitud e integración que se identifican actualmente como METAMODELOS DE INFORMACIÓN que ha sido tomado de referencia para la solución del problema de

esta investigación dentro del campo de las Ciencias de la Ingeniería del Software.(Marcos 1997) (Bermell-García 2007)

Por todo lo anterior expuesto se define como **problema de investigación**:

¿Cómo estructurar, organizar, almacenar, recuperar los datos y extraer información significativa y útil que contribuya a comprender, describir y valorar, con mayor confiabilidad y objetividad, las vulnerabilidades de los procesos claves de una entidad agrícola?

Se plantea como **idea a defender**:

Si se propone un Metamodelo que sea pertinente a la Evaluación del Riesgo asociado a los procesos claves de la empresa agrícola (sistema de cultivo) se podrán estructurar los datos, identificar las relaciones, condiciones y asociaciones más representativas de las componentes del Riesgo para la Toma de Decisiones.

Se define como **objeto de estudio** los procesos de decisión agraria fundamentados en la Evaluación de Riesgos en empresas productivas del sector agrícola acotando el **campo de acción** en los procesos de decisión basados en modelos matemáticos bajo el paradigma de los ***Rough Sets***.

El **objetivo general** de la investigación es:

Construir y validar un Metamodelo que permita evaluar el Riesgo a partir de datos provenientes de fuentes heterogéneas y mediante el tratamiento de la incertidumbre según el paradigma de los ***Rough Sets***.

Para dar cumplimiento al objetivo general se trazaron los siguientes **objetivos específicos**:

1. Realizar un estudio sobre la naturaleza de los datos a procesar, los modelos matemáticos asociados y los entornos de desarrollo para sistemas de inferencia basados en datos.
2. Identificar, a partir de técnicas cualitativas (Método DELPHI, consultas a expertos, etc.) el sistema de variables asociadas a un (o más de uno) sistema de cultivo y sus relaciones y elaborar una metodología de trabajo genérica para cualquier cultivo.

3. Validar el Metamodelo mediante el tratamiento de la incertidumbre según el paradigma de los ***Rough Sets***.

Se definieron un grupo de **tareas de investigación** para cumplir con los objetivos trazados en la investigación:

1. Realizar la búsqueda y clasificación de la bibliografía y fuentes de información referente al tema de la investigación.
2. Formalizar el estudio del estado del arte sobre las diferentes técnicas existentes para el tratamiento de la incertidumbre en la Gestión del Riesgo en entidades productivas del sector agrícola.
3. Realizar un estudio sobre la teoría de los conjuntos rugosos (*rough set*) y concebir una metodología de análisis de riesgo.
4. Construir y aplicar el Metamodelo propuesto a un (o más de uno) cultivo agrícola para estimar el riesgo asociado.

Este reporte de investigación se organiza de la siguiente manera:

En el **primer capítulo** se fundamenta desde el punto de vista teórico, todo lo referente al tema de la investigación, se abordan los temas sobre Riesgos, los Riesgos en la agricultura y en la agricultura cubana en especial; se abordan las diferentes aproximaciones al tema de la incertidumbre y se presentan los conjuntos rugosos o ***Rough sets***.

En el **segundo capítulo** se construye, a partir de la concepción de la incertidumbre según los conjuntos rugosos, el análisis de los procesos claves de la entidad, y la concepción integrada de los datos e información requeridos para un estudio de Riesgo, un Metamodelo de Información pertinente a la entidad agrícola.

En el **tercer capítulo** se aplica el Metamodelo de Información propuesto en un caso de estudio: el cultivo del boniato y se analizan sus resultados.

Capítulo 1. Fundamentación Teórica

1.1 Introducción

En el presente capítulo se abordan temas para fundamentar la investigación a realizar. Se exponen diferentes concepciones del riesgo y la Gestión de Riesgos, desde los fundamentos del PMBOK definiéndolo para la gestión de proyectos informáticos y la Guía de la Defensa Civil de la República de Cuba para las situaciones de Desastres. Se aborda también la problemática del Riesgo en la Agricultura así como las diversas técnicas para tratar el mismo y la fundamentación de la escogida.

1.2 Riesgo y Gestión de Riesgo

En la **Guía del PMBOK** se fundamenta el riesgo desde el perspectiva de la gestión de proyectos.(Project Management Institute 2004)

El Riesgo del proyecto tiene su origen en la incertidumbre que está presente en todo tipo de proyectos. Los riesgos conocidos son aquellos que han sido identificados y analizados, y es posible planificar dichos riesgos. Los riesgos desconocidos no pueden gestionarse de forma proactiva, y una respuesta prudente del equipo del proyecto puede ser asignar una contingencia general contra dichos riesgos, así como contra los riesgos conocidos para los cuales quizás no sea rentable o posible desarrollar respuestas proactivas.

Las organizaciones perciben los riesgos por su relación con las amenazas al éxito del proyecto o por las oportunidades de mejorar las posibilidades de éxito del proyecto. Los riesgos que son amenazas para el proyecto pueden ser aceptados si el riesgo está en equilibrio con el beneficio que puede ser obtenido al tomarlo.

Para tener éxito, la organización debe estar comprometida a tratar la Gestión de Riesgos de forma proactiva y consistente durante todo el proyecto.

El **Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil** en su Directiva No. 1 de Agosto del 2005 establece que (Cuba 2005):

- *El riesgo, como categoría en la evaluación y manejo de los eventos, es una variable dinámica, dependiente de la amenaza o peligro, y de la vulnerabilidad del ente expuesto, y por lo tanto su estudio y análisis dependerá de la precisión con que sean predeterminadas las variables que lo condicionan.*
- *El análisis, estimación y traducción de las amenazas o peligros, en un escenario específico, constituyen la base para la identificación de la vulnerabilidad. No se es vulnerable si no existe una amenaza, por lo tanto el grado de vulnerabilidad o susceptibilidad de un escenario a sufrir daños, es función de las características de las amenazas, por eso hoy día, es fundamental la realización de estudios con enfoque de multiamenazas, para poder descubrir, todos los peligros y vulnerabilidades, identificar factores comunes a las mismas, y sobre todo, jerarquizar mediante la ponderación, los factores de vulnerabilidad.*
- *La causa del riesgo es **la vulnerabilidad**, ante un peligro o amenaza predeterminada, teniendo gran peso dentro de ésta, la vulnerabilidad física del entorno. También forman parte de ésta otros factores, no menos importantes y que no necesitan de grandes recursos económicos para su transformación, por ejemplo la vulnerabilidad organizacional, la funcional, la social y la administrativa.*

El riesgo siempre será un problema a solucionar, lo cual se conoce como mitigación del riesgo porque nunca podrá eliminarse. Para ello existen dos estrategias, la estrategia reactiva (que consiste en darle tratamiento al riesgo una vez ya materializado) que produce pérdidas de tiempo y dinero, y la estrategia proactiva (de carácter preventivo, que se evalúa previamente y se sigue de manera sistemática) que permite el análisis de riesgos y la evaluación de sus consecuencias. Una vez identificados los riesgos, se evalúa su probabilidad y su impacto y se establece una prioridad de atención según su importancia. Como es muy probable que no se puedan evitar los riesgos, en especial aquellos que no dependen del factor humano (por ejemplo los riesgos asociados a eventos climáticos) para disminuir su efecto negativo se debe trabajar sobre un plan de contingencia para responder de manera eficaz y así mitigarlos de la mejor manera. (Julián 2008)

Cuando se analizan los riesgos es importante cuantificar el nivel de incertidumbre y el grado de pérdidas asociados con cada riesgo. (Véliz and Contanten 2007)

Según el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil (Cuba 2005) define la Gestión de Riesgos como: *“un proceso de análisis, identificación, caracterización, estudios y control de los disímiles riesgos vinculados al desarrollo socioeconómico de un territorio, institución o actividad”*.

Por otra parte el Fondo Internacional del Desarrollo Agrícola -FIDA- (FIDA 2005) considera la Gestión del Riesgo como *“el proceso consiente de identificar acontecimientos posibles cuya materialización afectará al logro de los objetivos y la aplicación de las medidas destinadas a reducir la probabilidad o el impacto de esos acontecimientos. Un factor fundamental para la gestión del riesgo es la eficacia de los controles gubernamentales”*.

En opinión de las autoras, después de realizar un análisis sobre las diversas definiciones del Riesgo, y teniendo en cuenta que las situaciones climáticas y meteorológicas pueden no conducir a un desastre, se adopta, para la investigación, las siguientes definiciones:

Riesgo:

“la ocurrencia de algún evento, el cual puede tener consecuencias negativas o simplemente consecuencias para la organización”.

Gestión de Riesgos:

“el proceso de valoración, evaluación y planificación que permite a los interesados analizar su entorno y poder tomar decisiones con el objetivo de prevenir, mitigar o reducir los posibles riesgos”.

1.2.1 Riesgo y Gestión de Riesgos en la Agricultura

En la misma línea conceptual, para las autoras se considerará el **Riesgo Agrícola** como:

“conjunto de eventos adversos potenciales que afectan a este sector, que pueden agruparse en aquellos característicos de su actividad y los que son comunes a todos los negocios”.

Para realizar una Gestión del Riesgo exitosa en la agricultura se debe tener presente que uno de los eventos que más afectan al sector agrícola y puede ser los que más daños causen son los eventos relacionados con el clima puesto que es imposible para el hombre evitar que sucedan. Las inclemencias del tiempo como inundaciones, intensas lluvias, ciclones, sequías etc. son consideradas **amenazas** y cuando estas se presentan vienen a producir los **desastres**. Una manera de reducir los efectos negativos de estos desastres yace en la capacidad que tiene la empresa de enfrentarlos, es por eso que se deben identificar la mayor cantidad de eventos que pudiera afectar la producción y tomar medidas antes que ocurran, con el objetivo de minimizar sus consecuencias negativas.

El riesgo en la agricultura se presenta de diferentes maneras a lo largo de la cadena agro-productiva. Las condiciones meteorológicas y locales antes de plantar, durante el periodo de crecimiento y en el momento de la cosecha son fundamentales para la producción agrícola. La causa del riesgo está en la vulnerabilidad ante un peligro o amenaza predeterminada, teniendo gran peso dentro de ésta la vulnerabilidad física del entorno, entendiéndose las condiciones actuales de la infraestructura rural y en las diferentes etapas de la producción agrícola.

Tradicionalmente los análisis de riesgos asociados al sector, han sido relacionados casi exclusivamente con el “riesgo climático” el cual es considerado como la “ocurrencia de fenómenos climáticos y/o biológicos que afectan el rendimiento, la calidad y/o supervivencia del cultivo en forma verificable.(García-Legaz and Vacer 2003)

Para definir un concepto de **sistema de producción agrícola** acorde con nuestras estructuras y que permita un análisis minucioso de las **vulnerabilidades** que se gestan entre sus componentes, deberán ser analizados los conceptos trabajados por las distintas disciplinas.

Para la Agronomía se establece como *“conjunto estructurado de las producciones vegetales y animales retenidas por un agricultor (o grupo de agricultores) en su unidad de producción para realizar sus objetivos”* (Hoffmann and Velázquez 1993). En esta definición no se considera la infraestructura tecnológica y técnica que también interviene en la producción agrícola, limitándose a acentuar más el sentido productivo, que los factores que intervienen en ella y por lo tanto no analiza detonantes importantes de vulnerabilidad.

Por su parte la FAO recientemente en su metodología RADAR si bien no define un concepto para estos sistemas, resume de manera muy práctica todos los componentes que intervienen en la producción agrícola.

Partiendo pues, de todo este análisis, las autoras consideran que para cualquier estudio económico de riesgos presentes en la agricultura ante situaciones de desastres debe utilizarse como concepto de **sistema de producción agrícola**: *“el conjunto estructurado de componentes del medio relacionados con la producción agrícola, es decir, las relaciones existentes entre subsistema de recursos naturales, sistema de actividades y sistema de apoyo”*.

En la actualidad ante situaciones de riesgos de desastres realmente la agricultura cubana, necesita más que responder a las emergencias, prevenirlas y mitigarlas. Actuar frente a los factores que crean o agudizan sus vulnerabilidades como factor explícito en la determinación del riesgo, jugaría un papel fundamental. Con todo ello se aportaría elementos para la elaboración de mecanismos que aligeren la carga presupuestaria del Estado en la recuperación y reconstrucción de los daños al sector, así como incrementar la capacidad de autogestión de los territorios.

Mediante un **análisis causa-efecto** las relaciones que se manifiestan entre condiciones meteorológicas y resultados de producción a nivel de territorios:

- Aportaría variantes de actuación ante las diversas probabilidades de ocurrencia de cambio en las variables meteorológicas y variables organizacionales, disminuyendo la incertidumbre asociada.
- Permitiría además una mayor visualización de los factores involucrados en dicho proceso al buscar de manera científica las coincidencias no pocas veces en conflicto entre variables agro-meteorológicas y económicas en los marcos de un territorio, incorporando indicadores de eficacia entre los componentes de los sistemas de producción agrícola.
- Permitiría también dar seguimiento al tema del desastre en la agricultura.

La gestión económica de riesgos que se realice sobre sistemas de producción agrícola a nivel de municipio requiere disponer de una herramienta de análisis cuya finalidad sea apoyar la toma de decisiones de los gobiernos locales, en la organización, fundamentación, previsión considerando no tan

solo la experiencia acumulada y válida en ellos; sino, incorporando la interdisciplinaridad en el proceso, contribuyendo a lograr cambios importantes en los estilos y métodos de dirección tradicionales.

Las expectativas que desde el ámbito científico se han creado con relación al cambio climático y sus incidencias sobre las futuras condiciones productivas hacen necesario disponer de instrumentos idóneos que minimicen las consecuencias económicas de los nuevos riesgos. Es por ello que el estudio de los sistemas de producción agrícolas, partiendo del análisis combinado de las dimensiones económicas, agrícolas y meteorológicas a nivel de territorio, posibilitaría la identificación y determinación de las diferentes vulnerabilidades en cultivos seleccionados ante la afectación de factores climáticos y no climáticos.

En entrevista realizada a la M. Sc. Odalys Rodríguez Perea para conocer sobre los riesgos identificados en la agricultura que pudieran afectar a la producción se confeccionó una relación de dichos eventos. Ver Anexo 1. Lograr un equilibrio entre cada uno de los sistemas es bastante difícil pero no imposible pues entonces así se lograría una cosecha con éxito que es el resultado esperado para las entidades y los agricultores. Cuando se va a realizar la preparación de la tierra (primera etapa en el sistema de cultivo) para luego sembrarla se debe tener en cuenta cada uno de los aspectos relacionados en el Anexo 1 y como afectarían al cultivo que se desea sembrar.

Múltiples son las particularidades que distinguen al sector agrario por ejemplo:

- La tierra constituye el factor principal de la producción pues es un recurso único, natural, insustituible y constituye medio y objeto de trabajo sobre el cual recae la acción del hombre en su vínculo constante con las plantas y los animales.
- Se trabaja con organismos vivos, los que están sujetos a cambios debido a sus peculiaridades biológicas y naturales lo que condiciona el funcionamiento del resto de los factores de la producción y el nivel de empleo de los mismos a lo largo del año económico.
- Carácter cíclico y estacional de la producción pues a diferencia de la industria y de otros sectores de la economía, el sector agrícola debe respetar el ciclo biológico y vegetativo de las plantas, lo

que implica que algunas producciones se obtengan en determinados meses del año y no durante todo el período económico que contempla un año calendario.

- El tiempo de producción no coincide con el período de trabajo. Mientras que la jornada laboral es generalmente de 8 horas diarias en sectores como la industria, los cultivos, que constituyen medios esenciales en la producción se desarrollan en correspondencia con su ciclo de vida, por consiguiente, pueden demorar días, meses y hasta años para convertirse en productos finales listos para la venta.
- Una parte del producto final se destina para próximos períodos con vistas a garantizar una parte de los insumos, una porción de la producción se destina para períodos futuros.
- Existencia de varias formas de propiedad pues a diferencia de otros sectores, en el caso de la economía cubana, en el sector agrícola coexisten diferentes formas de propiedad: la privada, la cooperativa y la estatal, lo que condiciona métodos diferentes de administrar la producción.

Si bien es abundante la literatura científica en función de la Agronomía, no es así en relación a la Gestión de Riesgo Agrícola. Las afectaciones económicas a los productos de la agricultura no se evalúan en ocasiones por desconocimiento. Es decisivo conocer el grado de incidencia de los riesgos, puesto que el hombre puede prepararse cada vez más con carácter proactivo para asumirlos. (Rodríguez and Marrero 2008)

La incertidumbre y el riesgo siempre estarán presentes en la actividad agrícola pues no se puede evitar si se tiene en cuenta que depende de las condiciones naturales y socioeconómicas. Una estrategia exitosa para el desarrollo de este sector sería el diseño de enfoques novedosos para diseñar agro-ecosistemas que integren el manejo con la base de recursos regionales y que operen dentro del marco existente de condiciones ambientales, sociales y económicas.

La detección precoz de riesgos que puedan afectar al cultivo en una empresa agrícola podría minimizar los costos económicos y permitir a la población contar con dichos productos para su consumo personal.

Para hacer un análisis de los riesgos asociados a este sector deberán ser consideradas las combinaciones establecidas dentro del sector es decir no absolutizar ninguno de sus componentes (el

sistema de cultivo, sistema de recursos y sistema de apoyo) para que unido a la vulnerabilidad meteorológica puedan ser tomadas las mejores decisiones.

1.3 Toma de decisiones, Incertidumbre y Técnicas para su tratamiento

La Administración de Riesgos constituye hoy en día una preocupación de la alta gerencia empresarial, ganando gran popularidad y convirtiéndose en una herramienta imprescindible, para la toma de decisiones.(Carrazana, Garcés et al. 2009)

La Toma de Decisiones objetivamente fundamentada se ha convertido en una tarea fundamental en la dirección de diferentes procesos con énfasis en la empresarial. La base del proceso de toma de decisiones es la información que se tiene del dominio de aplicación, a más y mejor información, mayor calidad en la definición del problema, en las propuestas de solución, en el análisis de variantes y en la selección de la acción más conveniente.(Martínez, Pérez et al. 2002)

Para tomar una decisión es necesario conocer, comprender, analizar un problema, para así darle solución; en algunos casos por ser tan simples y cotidianos, este proceso se realiza de forma implícita y se soluciona muy rápidamente, pero existen otros casos en los cuales las consecuencias de una mala o buena elección puede tener repercusiones como puede ser el éxito o fracaso de una organización, para lo cual es necesario realizar un proceso más estructurado que puede dar más seguridad e información para resolver el problema.

Al tomar una decisión implica que con ella está asociado cierto nivel de incertidumbre pues en ocasiones **no se conoce toda la información** necesaria para realizar una buena toma de decisión.

La palabra **incertidumbre** significa duda o indecisión pues no se conoce la suficiente información como para tomar una decisión que pueda resultar positiva.

Según la Guía ISO 3534-1 (ISO 1993), define incertidumbre como *“una estimación unida al resultado de un ensayo que caracteriza el intervalo de valores dentro de los cuales se afirma que está el valor verdadero”*.

La Real Academia Española¹ la define como la falta de certidumbre, o sea, la falta de conocimiento seguro y claro de algo.

Las fuentes de la incertidumbre se pueden clasificar en tres grandes grupos (Rivera, Ayala et al. 2004):

- Deficiencias de la información
- Características del mundo real
- Deficiencias del modelo

La incertidumbre radica en la imposibilidad de predecir o pronosticar el resultado de una situación en un momento determinado, por su parte el riesgo es sinónimo de incertidumbre, ambos se caracterizan por la dificultad de poder predecir lo que ocurrirá. Existe el riesgo en cualquier situación en que no sabemos con exactitud lo que ocurrirá en el futuro.(Carrazana, Garcés et al. 2009)

La incertidumbre refleja, la duda acerca de la veracidad del resultado obtenido una vez que se han evaluado todas las posibles fuentes de error y que se han aplicado las correcciones oportunas. Por tanto, la incertidumbre facilita una idea de la calidad del resultado ya que muestra un intervalo alrededor del valor estimado dentro del cual se encuentra el valor considerado verdadero.

La modelación de la incertidumbre en el campo de la Gestión de Riesgos permite:

- Entender mejor la naturaleza de los eventos inciertos.
- Tomar mejores decisiones.
- Enfrentar mejor el riesgo.

El propósito principal de la cuantificación de riesgos e incertidumbres es obtener una base sólida para mejorar la calidad del proceso de toma de decisiones.

El desarrollo de la Ciencia y la Técnica ha permitido reunir un variado arsenal de técnicas para el tratamiento de la incertidumbre. En los últimos 50 años, se han introducido avanzadas e innovadoras

¹ Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. Consultado Mayo 2011

técnicas para el tratamiento de la incertidumbre introduciéndose los conjuntos borrosos y los conjuntos rugosos.

El tratamiento de la incertidumbre conceptualmente se enmarca en tres puntos de partida: PROBABILIDAD, POSIBILIDAD y RUGOSIDAD.

1.3.1 Probabilidad

El crear conclusiones útiles a partir de información incompleta o imprecisa no es una tarea imposible, pues los seres humanos lo hacen casi en cada aspecto de la vida. El concepto de Probabilidad, bien conocido desde el pregrado, se encuentra asociado a la Estadística de los procesos aleatorios, y está sujeto a situaciones especiales de su estimación, en especial, cuando las mediciones son numéricas.(Izquierdo 2010)

1.3.2 Posibilidad

La Lógica Borrosa o Difusa es una teoría que permite manejar y procesar la información en donde se manejen términos inexactos, imprecisos o subjetivos. Esta teoría permite manejar y procesar información de una manera similar a como lo hace el cerebro humano, es posible ordenar un razonamiento basado en reglas imprecisas y en datos incompletos. Estos sistemas son generalmente robustos y tolerantes a imprecisiones y “ruidos” en los datos de entrada. Para esto se debe ampliar la Teoría de Conjuntos y la Lógica Booleana, de manera que un objeto pueda pertenecer parcialmente a un conjunto y que las operaciones lógicas además de unos y ceros, también puedan tomar valores reales en dicho rango.(Atanassov 1986) (Zadeh 1968)

En Inteligencia Artificial, la Lógica Difusa o Lógica Borrosa, se utiliza para la resolución de una variedad de problemas, principalmente los relacionados con control de procesos industriales complejos y sistemas de decisión, en general, la resolución, la comprensión de datos. Consiste en la aplicación de la Lógica Difusa con la intención de imitar el razonamiento humano en la programación de computadoras. Con la lógica convencional, las computadoras pueden manipular valores estrictamente duales, como verdadero/falso o sí/no. En la Lógica Difusa, se usan modelos matemáticos para representar nociones subjetivas, como

joven/adulto/anciano, para valores concretos que puedan ser manipuladas por los ordenadores.(Winston 1994)

La Lógica Borrosa se caracteriza por querer cuantificar o llevar a números las incertidumbres que surgen. Si X es una proposición conocida, se le puede asociar un número $v(X)$ en el intervalo $[0,1]$ tal que:

- Si $v(X) = 0$, X es falso.
- Si $v(X) = 1$, X es verdadero.

La veracidad de X aumenta con $v(X)$.

A primera vista hace tener la idea de una Teoría de la Probabilidad, aunque persigue fines distintos, más relativos a la Teoría de la Posibilidad.(Moraga 2005)

Los operadores lógicos que se utilizarán en Lógica Difusa (AND, OR, etc.) se definen también usando tablas de verdad, pero mediante un "principio de extensión" por el cual gran parte del aparato matemático clásico existente puede ser adaptado a la manipulación de los conjuntos difusos y, por tanto, a la de las variables lingüísticas. Se fundamenta en los denominados conjuntos borrosos y un sistema de inferencia borroso basado en reglas heurísticas de la forma "SI (antecedente)...ENTONCES (consecuente)", donde los valores lingüísticos de la premisa y el consecuente están definidos por conjuntos borrosos, es así como las reglas heurísticas siempre convierten un conjunto borroso en otro.(Martínez 2002) (Vallez and Pedraza-Jímenez 2007)

1.3.3 Rugosidad

Esta teoría fue desarrollada por Zdzisław Pawlak en 1982, es una herramienta para tratar la incertidumbre o vaguedad inherente a un proceso de decisión, implica cálculo de particiones, divisiones o clases, según se desee. La filosofía de este método se basa en la suposición de que a cada objeto del universo en consideración se le puede asociar alguna información.

Los objetos caracterizados por la misma información no son discernibles a la vista de la información disponible por lo que la información imprecisa es la causa de la no-diferenciación de los objetos en términos de datos disponibles y evita su asignación precisa a un conjunto.(Vargas, Fana et al. 2003)

Se basa en aproximar cualquier concepto, un subconjunto duro del dominio, como por ejemplo, una clase en un problema de clasificación supervisada, por un par de conjuntos exactos, llamados aproximación inferior y aproximación superior del concepto. Con esta teoría es posible tratar tanto datos cuantitativos como cualitativos, y no se requiere eliminar las inconsistencias previas al análisis; respecto a la información de salida puede ser usada para determinar la relevancia de los atributos, generar las relaciones entre ellos (en forma de reglas), entre otras.(Yao 1996) (Laplante and Neill 2005) (Zhu 2011) (Pawlak and Skowron 2007)

La inconsistencia describe una situación en la cual hay dos o más valores en conflicto para ser asignados a una variable.(Caballero, Bello et al. 2009)

Un rough set es una colección de objetos que, en general, no pueden ser clasificados de manera precisa en términos de los valores del conjunto de atributos y, por tanto, tiene casos fronterizos (objetos que no pueden clasificarse con certeza como miembros del conjunto o de su complementario).

La ventaja de la aplicación del rough set es que es un método multicriterio, se encuentra dentro de las aplicaciones de la Inteligencia Artificial, utiliza la experiencia de forma objetiva, a través del estudio de la experiencia histórica de una manera cuantitativa, para así dejar claro las reglas que, resumiendo y objetivando esa experiencia acumulada, ayuden en las decisiones futuras y entre sus ventajas se tiene que:

- Es útil para analizar sistemas de información que representan el conocimiento adquirido por la experiencia.
- Elimina las variables redundantes reduciendo el coste, en tiempo y dinero, del proceso de decisión.
- Se obtienen unas reglas de decisión fácilmente comprensibles que no necesitan interpretación de ningún experto.
- Las reglas están bien justificadas por extraerse de ejemplos reales lo que justificaría las decisiones que en base a ellas se tomen.

Dentro de las principales definiciones que se tienen en cuenta en la teoría de los conjuntos rugosos o aproximados se encuentran las de:

- Crear un sistema de información o puede ser una base de datos.
- Realizar relación de indiscernibilidad.
- Creación de la aproximación alta y la aproximación baja.
- Calidad de la aproximación.
- Reducción de atributos.
- Reglas de decisión.

1.4 Metamodelo

Un Metamodelo no es simplemente un modelo, así como existen Metamodelos de diferente naturaleza. Los primeros Metamodelos referidos como tal fueron los orientados a DATOS (Marcos, 1998) y dada la complejidad de problemas a resolver, son de mayor interés los denominados Metamodelos de Información.(Bermell-García 2007). Está compuesto por un conjunto de modelos, metodologías, objetos abstractos, relaciones entre dichos objetos, reglas que permitirán, en el caso de la información, estructurarla, organizarla, y lograr mejores condiciones para su gestión.

La posibilidad de contar con un Metamodelo permitirá captar, representar, reutilizar el conjunto de datos, información o conocimiento de la entidad, es decir, visualizar y comprender mejor la tarea a resolver y dar salidas de la investigación que se desarrolla. Además, si se desarrolla un METAMODELO DE INFORMACIÓN CONSISTENTE, se podrá obtener un resultado entendible y útil a la comunidad científica o usuarios asociados en la solución de un problema complejo. Un Metamodelo de Información asegura la manera de describir los conceptos, sus atributos de información y la manera que se relacionan con otros conceptos dentro del propio Metamodelo. Los Metamodelos también se modelan, existiendo ciertos modelos de diseño en dependencia de su contexto:

- Abstractos si se concibe el diseño como una actividad para la solución inteligente.
- Procedimentales:
 - Orientada al diseño en el contexto de guía para el proceso de una actividad de ingeniería, por ejemplo, en el cual se requieren un conjunto de etapas para crear el producto.

- Orientada a metodologías en el contexto de guía al proceso de diseño dentro de un ambiente de producción.

Las salidas de un Metamodelo de Diseño Abstracto posibilitará un principio para el diseño del artefacto requerido desarrollar para resolver el problema y su enfoque describirá el razonamiento durante el proceso de diseño.(Bermell-García 2007)

La Metodología de Diseño desde el punto de vista conceptual requiere de un conjunto de técnicas: Análisis Funcional, Tormenta de Ideas, Análisis De Áreas de Decisión Interconectadas, etc. En este caso, la disponibilidad está en el caso de las Tormentas de Ideas del equipo de investigadores y algunos expertos.

En gran diversidad de situaciones, al existir diferentes opiniones en relación al momento en que se recoge la información, las condiciones del lugar geográfico, el tipo de especialista entrevistado, etc. se incluyen metadatos que, en un Repositorio, permita el filtrado de los datos antes de hacer las consultas a la Base de Datos.

1.5 Conclusiones parciales

Se concluye:

1. La pertinencia del tratamiento de la incertidumbre según el paradigma de los conjuntos rugosos o **Rough Sets** para situaciones en las que sea necesaria la integración de datos de muy variada naturaleza y prevalezcan escalas cualitativas subjetivas y en las que es menester razonar en función de los datos existentes.
2. La necesidad, para resolver el complejo y multifactorial problema de la Gestión de Riesgos, de concebir un **Metamodelo de Información** que permita estructurar la información asociada a la diversa naturaleza y gran diversidad de los datos involucrados en los procesos del sistema de cultivo (o los diferentes sistemas de cultivos), desarrollar los cálculos correspondientes y estimar las vulnerabilidades de la entidad agrícola y desarrollar el análisis de los Peligros y Riesgos en todas sus dimensiones.

Capítulo 2. Propuesta de solución

2.1 Introducción

En el presente capítulo se propone una descripción del Metamodelo de información definido por sus entidades, relaciones y atributos, además de describir cómo se desarrolla cada una de las etapas incluidas en la teoría de los conjuntos rugosos (*rough sets*) que constituyen la propuesta matemática para tratar la gestión de riesgos.

2.2 Metamodelo de información

Las entidades, atributos y relaciones forman un modelo de representación. Esta descripción se puede convertir en explícita si a su vez se puede modelar para crear un **Metamodelo**, es decir un modelo de información para describir modelos.(Artacho 2000)

Los modelos de información pueden representarse de forma explícita utilizando el formalismo del modelo entidad-relación. La forma de llevarlo a cabo es la de representar un modelo de información expresado en términos de sus entidades, atributos y relaciones mediante otro conjunto de entidades, atributos y relaciones.

Para crear un Metamodelo que integre los diversos componentes de la agricultura se debe tener en cuenta que primeramente la agricultura es una actividad compleja en la que intervienen diversos factores sociales, económicos políticos, jurídicos etc., está expuesta a diversos peligros (Figura 1) que se pueden caracterizar en agro-meteorológico, tecnológicos y organizacionales, estos peligros se pueden convertir en riesgos y afectar el proceso clave de la misma (sistema de cultivo).



Figura 1 Relaciones de los peligros y riesgos en la Agricultura

El modelo de información que se describe consta de las entidades, atributos y relaciones siguientes:

Las entidades del modelo de información son:

- **Dominios:** Contiene los dominios en los que se divide el modelo.
- **Entidades:** Las entidades del modelo clasificadas por dominios.
- **Relaciones:** Las relaciones que existen entre las entidades. Se caracterizan por el nombre de la relación, y la cardinalidad de la misma.
- **Atributos:** Los atributos de las entidades y de las relaciones que van a formar parte del modelo. Un atributo en el Metamodelo puede ser compartido por una o más de las entidades que forman el modelo. Así, por ejemplo, el atributo *nombre* es probable que forme parte de muchas de las entidades del modelo y, por tanto puede estar asociado a más de una entidad. Tiene una relación directa con el modelo físico de los datos que se utilice.

La Figura 2 muestra el esquema del modelo de información expuesto en lo que respecta a las relaciones.

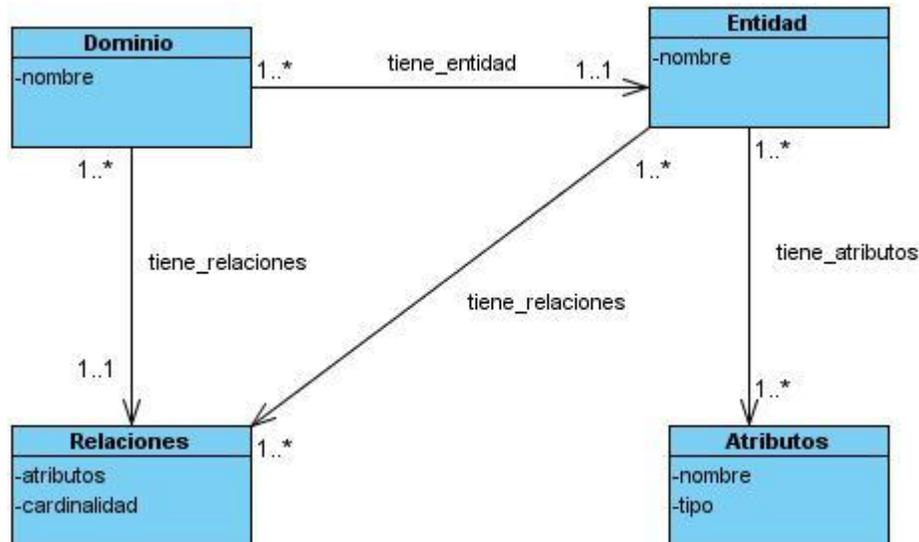


Figura 2 Modelo de información del Metamodelo

Las relaciones del Metamodelo describen la composición de las entidades del modelo y las relaciones que las unen. Además de las relaciones de composición, están las relaciones que describen a las entidades relacionadas mediante relaciones de grados 2 y 3. Una relación binaria está compuesta por dos entidades y una relación que las enlaza, mientras que una relación ternaria asocia a tres entidades y una relación ternaria.

En la siguiente Figura 3 se muestra una instancia del Metamodelo anterior. En la figura se muestra el dominio agrícola que contiene **entidades** (Peligro, Categoría, Riesgo, Entidad Agrícola, SistemaRecursos, SistemaCultivo, PreparacionTierra, Siembra, ActCultural, Cosecha, SistemaApoyo, Vulnerabilidades), **relaciones** (tiene, afecta_a, pueden_ser, expuesta_a, tiene_un, apoya_al) y **atributos** (nombre, categoría, ubicación, agro-meteorológicos, tecnológicos, organizacionales y listaActividades).

Para representar el modelo descrito por la Figura 2 y la Figura 3 en el Metamodelo, será necesario crear los siguientes elementos:

- Una ocurrencia de la entidad **dominio** llamada *agrícola*
- Doce ocurrencias de la entidad **entidad**, con valores *Peligro, Riesgo, Categoría, Entidad Agrícola,*

SistemaRecursos, SistemaCultivo, SistemaApoyo, PreparacionTierra, Siembra, ActCultural, Cosecha, Vulnerabilidades.

- Seis ocurrencias de la entidad **relación** con valores *tiene, afecta_a, pueden_ser, expuesta_a, tiene_un, apoya_al*.
- Siete ocurrencias de la entidad **atributo**, con valores *categoría, tecnológicos, nombre, ubicación, listaActividades, agro-meteorológicos, organizacionales* y de tipo *string*.

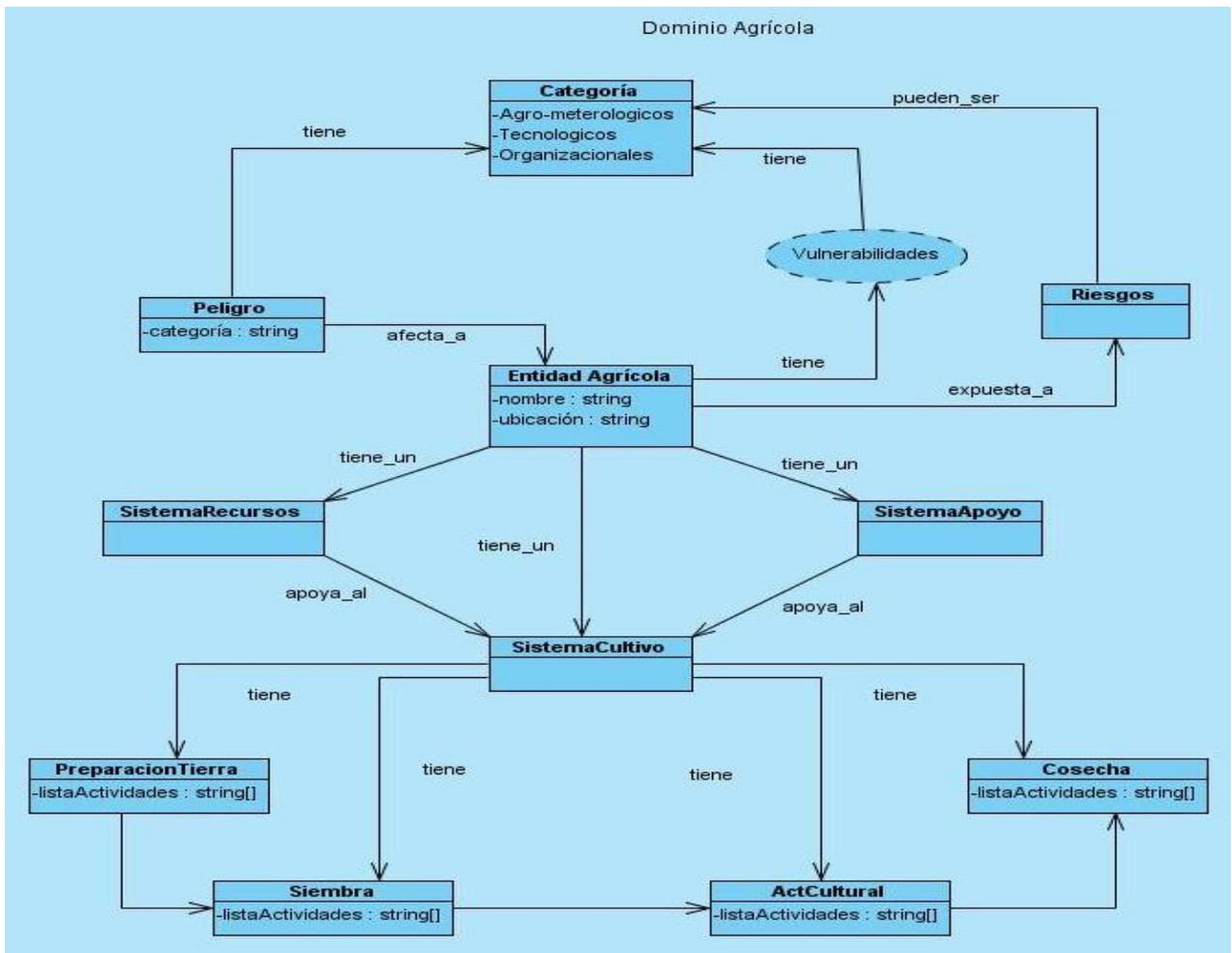


Figura 3 Modelo con un solo dominio

Las relaciones tienen también ocurrencias entre las entidades anteriormente descritas las cuales son:

- Seis ocurrencias de la relación **tiene_relacion** entre las entidades *tiene*, *afecta_a*, *pueden_ser*, *expuesta_a*, *tiene_un*, *apoya_al*.
- Diez ocurrencias de la relación **tiene_atributo**. Esto determina que las entidades *peligro*, *entidad agrícola*, *preparaciontierra*, *siembra*, *actcultural* y *cosecha* del futuro modelo tendrán estos atributos.
- Doce ocurrencias de la relación **tiene_entidad**. Determina a qué dominio pertenecen las entidades.
- Quince ocurrencias de la relación **relacion_binaria**, que determinan la relación que existe entre las dos entidades.

En el Anexo 2 se encuentra el Metamodelo del modelo descrito de la Figura 3.

2.3 Rough Set

2.3.1 Sistema de información

Un Sistema de Información (SI) es un conjunto organizado de elementos, que pueden ser personas, datos, actividades o recursos materiales en general. Estos elementos interactúan entre sí para procesar información y distribuirla de manera adecuada en función de los objetivos de una organización².

Un sistema de información según Dangel es un "conjunto formal de procesos operando sobre una colección de datos, estructurados de acuerdo con las necesidades de una organización, que recopilan, elaboran y distribuyen la información necesaria para las actividades de dicha organización y para las actividades de dirección y control correspondientes".(Dangel-[b] 2009)

² Consultado en mayo 2011 <http://definicion.de/sistema-de-informacion/>

Un SI realiza cuatro actividades básicas: entrada, almacenamiento, procesamiento y salida de información; a su vez puede ser definido de disímiles maneras. (Dangel-[a] 2009)

Desde la vista de la teoría de los conjuntos rugosos (*rough sets*) comúnmente se define como “un conjunto de datos representados en forma de tabla, donde cada columna representa un atributo, una variable, una observación o una propiedad, que puede ser medida para cada objeto”. Cada fila representa un caso, un evento o simplemente un objeto. Este SI está compuesto por un par: $SI = (U, A)$, donde U es un conjunto no finito de objetos y no vacío, llamado universo y A es un conjunto finito no vacío llamado atributos tal que $a: U \rightarrow V_a$ para cada $a \in A$ el conjunto V_a es llamado conjunto de valores de a . (Komorowski, Polkowski et al. 1998)

En la investigación se relacionará el término de SI como un conjunto organizado de elementos que pueden ser personas, datos o actividades con el objetivo de procesar información y distribuirla de manera adecuada en función de los objetivos de una organización.

En cualquier aplicación hay un resultado de clasificación que ha sido conocido. Es un conocimiento *a posteriori* y es expresado por un atributo distinguido llamado atributo de decisión (AD); el proceso es conocido como aprendizaje supervisado. Un sistema de información es un tipo de sistema de decisión, de la forma $SI = (U, A \cup \{d\})$, donde d no pertenece a A , sino que es el atributo decisión. Al conjunto de atributos de A es llamado atributo condición o condicionantes. El atributo decisión puede tomar varios valores.

A continuación en la Tabla 1 se presenta un ejemplo de sistema de información:

Objeto	Tierra Seca	Atención	Temperatura	Floreció
X1	No	Si	Alta	Si
X2	Si	No	Alta	Si
X3	Si	Si	Muy alta	Si
X4	No	Si	Normal	No
X5	Si	No	Alta	No
X6	No	Si	Muy alta	Si

Tabla 1 Ejemplo de Sistema de Información

Los atributos condicionales son tierra seca, atención y temperatura y el atributo de decisión es floreció. Cada fila de la tabla es una regla de decisión, es por ello que el número de reglas consistentes se considera factor de consistencia el cual es denotado de la forma: $\gamma(C, D)$, donde C es la cantidad de atributos de condición y D la cantidad de casos y se calcula de la siguiente forma:

$$\gamma(C, D) = C/D$$

Si el factor de consistencia es igual a 1 la tabla es consistente, de lo contrario sería inconsistente y entonces existiría ambigüedad por lo que se realizarían las relaciones de indiscernibilidad.

2.3.2 Relación de Indiscernibilidad

La relación de indiscernibilidad es el concepto fundamental en la teoría de los conjuntos rugosos (*rough sets*), es considerada como una relación entre dos o más objetos, donde todos los valores son idénticos en relación a un subconjunto de atributos considerados. La relación de indiscernibilidad es una relación de equivalencia, donde todo el conjunto de objetos idénticos son considerados **conjuntos elementarios**.

En un sistema de decisión (**SD**) o sistema de información (**SI**) de la forma **SI = (U, A)**, si **B** es un subconjunto de **A** hay asociada una relación de equivalencia **IND (B)**, esta relación de indiscernibilidad es expresada de la siguiente forma:

$$\text{IND}(\mathbf{B}) = \mathbf{X}, \mathbf{X}' \in \mathbf{U}^2 / \forall \mathbf{a} \in \mathbf{B}, \mathbf{a}(\mathbf{X}) = \mathbf{a}(\mathbf{X}')$$

Por ejemplo en la Tabla 1 la relación de indiscernibilidad con respecto al atributo {tierra seca (TS)}, {atención (A)}, {temperatura (T)} y {TS, A, T} sería:

1. **IND** ({ TS }): {{X1, X4, X6}, {X2, X3, X5}}
2. **IND** ({ A }): {{X1, X3, X4, X6}, {X2, X5}}
3. **IND** ({ T }): {{X1, X2, X5}, {X3, X6}, {X4}}
4. **IND** ({ DC, DM, T }): {{X1}, {X2, X5}, {X3}, {X4}, {X6}}

También se puede realizar la relación de indiscernibilidad para el atributo de decisión:

- **IND** ({floreció}): {{X1, X2, X3, X6}, {X4, X5}}

Se puede observar en la Tabla 2 que los objetos X2 y X5 presentan los mismos atributos condicionales sin embargo el atributo de decisión es distinto, cuando ocurre esto es porque existe ambigüedad y se realiza la aproximación de conjuntos.

Objeto	Tierra Seca	Atención	Temperatura	Floreció
X1	No	Si	Alta	Si
X2	Si	No	Alta	Si
X3	Si	Si	Muy alta	Si
X4	No	Si	Normal	No
X5	Si	No	Alta	No
X6	No	Si	Muy alta	Si

Tabla 2 Ejemplo donde X2 y X3 presentan iguales atributos condicionales pero difieren en el atributo de decisión

2.3.3 Conjuntos Aproximados

La aproximación de conjuntos es clasificada en tres partes: la **aproximación alta**, la **aproximación baja** y la **región límite**, cada una de estas tiene una forma distinta de tratarse:

2.3.3.1 Aproximación Alta y Aproximación Baja

La **aproximación alta** es una descripción del dominio de objetos que **posiblemente** pertenecen al subconjunto de interés, esta se denota:

$$B^*(X) = \{x \in U : B(x) \cap X \neq \emptyset\}$$

La **aproximación baja** es una descripción del dominio de objetos que son conocidos que con **certeza** pertenecen al subconjunto de interés y se representa de la forma:

$$B_-(X) = \{x \in U : B(x) \subset X\}$$

Un ejemplo de cómo se hallarían tales aproximaciones utilizando la información de la Tabla 1, sería agrupando los valores mediante el atributo de decisión (**floreció**), así la relación de indiscernibilidad quedaría (Tabla 3) de la siguiente manera:

Objeto	Tierra Seca	Atención	Temperatura	Floreció
X1	No	Si	Alta	Si
X2	Si	No	Alta	Si
X3	Si	Si	Muy alta	Si
X6	No	Si	Muy alta	Si
X4	No	Si	Normal	No
X5	Si	No	Alta	No

Tabla 3 Sistema de Información agrupado por el atributo de decisión

Entonces ambas aproximaciones quedarían:

Aproximación alta

- $B^*(X) = \{X1, X2, X3, X6\}$ → Plantas que posiblemente pueden florecer.
- $B_-(X) = \{X4, X5\}$ → Plantas que posiblemente no pueden florecer.

Aproximación baja

- $B_-(X) = \{X1, X3, X6\} \rightarrow$ Plantas que con certeza pueden florecer.
- $B_-(X) = \{X4\} \rightarrow$ Plantas que con certeza no pueden florecer.

2.3.3.2 Región Límite

La región límite está definida por aquellos objetos que no son clasificados y no pertenecen a la alta o baja aproximación, son aquellas variables imprecisas o vagas, que se incluyen en la región límite, y está denotado por:

$$BR = B(X) - B_-(X)$$

Quedaría entonces:

$$BR = \{X1, X2, X3, X6\} - \{X1, X3, X6\} = \{X2\}$$

$$BR = \{X4, X5\} - \{X4\} = \{X5\}$$

La región límite sería el conjunto $\{X2, X5\}$

Nota: Si la región límite de X está vacía no estamos en presencia de un conjunto rugoso, de lo contrario hay rugosidad.

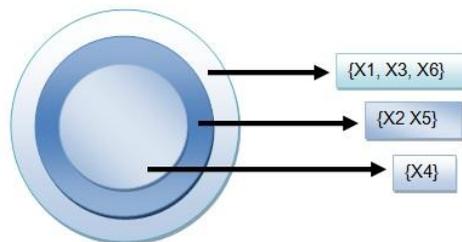


Figura 4 Representación de los conjuntos aproximados

Como se observa en la Figura 4, la aproximación alta y baja de un conjunto, está en el interior (los que con certeza no están) y clausura (los que con certeza están) respectivamente y en el centro se encuentra la región límite o rugosidad. En la topología generada por la relación de indiscernibilidad se pueden definir

las siguientes cuatro clases básicas de los conjuntos rugosos (*rough sets*) o cuatro categorías de la vaguedad:

1. X es rugosamente B- definible, si y solo si $B_-(X) \neq \emptyset$ y $B^+(X) \neq U$.
2. X es internamente B- indefinible, si y solo si $B_-(X) = \emptyset$ y $B^+(X) \neq U$.
3. X es externamente B- indefinible, si y solo si $B_-(X) \neq \emptyset$ y $B^+(X) = U$.
4. X es totalmente B- indefinible, si y solo si $B_-(X) = \emptyset$ y $B^+(X) = U$.

Ejemplo:

Según las definiciones anteriores, si se tiene en cuenta el atributo de decisión “floreció”, el conjunto es:

- $B^+(X) = \{X1, X2, X3, X6\} \neq U$
- $B_-(X) = \{X1, X3, X6\} \neq \emptyset$

Por tanto se puede decir que el ejemplo expuesto anteriormente es rugosamente definible de acuerdo a la regla número uno.

2.3.4 Calidad de Aproximación

Los conjuntos rugosos pueden ser caracterizados numéricamente, estos presentan dos coeficientes de calidad de aproximación que son: el **coeficiente de imprecisión** y el **coeficiente de alta y baja aproximación**:

2.3.4.1 Coeficiente de imprecisión

$$\alpha_B(X) = \frac{B_-(X)}{B^+(X)}$$

Donde X denota la cardinalidad de $X \neq \emptyset$. Por tanto si $0 \leq \alpha_B(X) \leq 1$. Si $\alpha_B(X) = 1$, X es precisa con respecto a B , de otro modo si $\alpha_B(X) < 1$, X es rugosa o vaga con respecto a B .

2.3.4.2 Calidad del coeficiente de aproximación alta y baja

Calidad de la aproximación alta

Se calcula hallando el porcentaje de todos los elementos clasificados que posiblemente pertenecen a X, y se denota por:

$$\alpha_B(B^*(X)) = \frac{B^*(X)}{A}$$

Donde **A** es la cantidad de casos u objetos existentes en el sistema de información.

Calidad de la aproximación baja

Es el porcentaje de todos los elementos que con certeza son clasificados que pertenecen a X y es denotado como:

$$\alpha_B(B_-(X)) = \frac{B_-(X)}{A}$$

Al cociente entre el número cardinal de la aproximación alta y baja se le denomina precisión. Si lo que se tiene es una clasificación en varios grupos, para cada clase se puede calcular la aproximación alta y baja. Al cociente de la suma de las aproximaciones por debajo de todas las clases, dividido por el total de los elementos se denomina **calidad de aproximación**.(Vargas, Fana et al. 2003)

Un ejemplo de cómo se aplican estas fórmulas es:

Coeficiente de imprecisión

- Plantas que posiblemente pueden florecer $\alpha_B(X) = 3 \div 4 = 75\%$
- Plantas que posiblemente no pueden florecer $\alpha_B(X) = 1 \div 2 = 50\%$

Coeficiente de calidad de la alta y baja aproximación

- Plantas que posiblemente pueden florecer $\alpha B(X) = 4 \div 6 = 66\%$.
- Plantas que posiblemente no pueden florecer $\alpha B(X) = 2 \div 6 = 33\%$.
- Plantas que con certeza pueden florecer $\alpha B(X) = 3 \div 6 = 50\%$.
- Plantas que con certeza no pueden florecer $\alpha B(X) = 1 \div 6 = 16\%$.

2.3.5 Dependencia de Atributos

En el análisis de los datos, es importante descubrir las dependencias que existen entre los atributos. Intuitivamente un conjunto de atributos **D**, depende totalmente sobre un conjunto de atributos **C**, denotado

$C \rightarrow D$, si todos los atributos del conjunto de **D** son únicamente determinados por el conjunto de atributos de **C**, entonces **D** depende totalmente de **C**, si existe una dependencia funcional entre los valores de **D** en **C**.

De acuerdo a la Tabla 1 la dependencia de atributos se expresaría de la siguiente forma: si (tierra seca, si) y (atención, no) y (temperatura, alta) implica (floreció, Si), similarmente si (tierra seca, no) y (atención, si) y (temperatura, normal) implica (floreció, no)). Otro tema importante en la dependencia de atributos es la dependencia parcial, puesto que solamente algunos valores de **D** son determinados por valores de **C**.

Por tanto la dependencia puede ser definida formalmente de la siguiente forma:

1. **D** depende totalmente de **C** en un **grado k** ($0 \leq k \leq 1$), denotado $k = \gamma(C, D)$. Si $k = 1$ **D** depende totalmente de **C**; si $k < 1$ **D** depende parcialmente de **C**.

2.3.6 Reducción de Atributos

Uno de los aspectos más importantes de la investigación de los conjuntos rugosos es la reducción de atributos, puesto que permite, al analizar un sistema de información reducir el conjunto de atributos que sean redundantes.

El proceso de reducción de la información, permite ver que los datos observados son de tipos discretos:

1. **Verificación inconclusa de datos.**
2. **Verificación de información equivalente.**

A continuación se muestra un ejemplo de cómo se reducen los datos en un sistema de información sin afectar la calidad de clasificación.

2.3.6.1 Verificación inconclusa de datos

Analizando los datos de la Tabla 1 se muestra que posee información inconclusa, es decir los valores de los objetos X2 y X5 son ambiguos, debido a que presentan los mismos atributos condicionales pero el atributo decisión es distinto, por lo que ambos valores son excluidos y la tabla reducida quedaría como se muestra en la Tabla 4.

2.3.6.2 Verificación de información equivalente

Analizando los atributos de la Tabla 4 se muestra que no posee información equivalente.

Objeto	Tierra Seca	Atención	Temperatura	Floreció
X1	No	Si	Alta	Si
X3	Si	Si	Muy alta	Si
X4	No	Si	Normal	No
X6	No	Si	Muy alta	Si

Tabla 4 Sistema de Información sin la información inconclusa

Una vez que se reduce la Tabla 4 eliminando las redundancias, lo próximo a realizar es, analizar cada atributo de condición con el atributo de decisión.

En la Tabla 5 se agrupa el atributo condicional (tierra seca) con el atributo decisión (floreció).

Objeto	Tierra seca	Floreció
X1	No	Si
X3	Si	Si
X4	No	No
X6	No	Si

Tabla 5 Analizando el atributo condicional (tierra seca) con el atributo de decisión (floreció)

En la Tabla 6 se analiza el atributo condición(atención) con el atributo decisión (floreció):

Objeto	Atención	Floreció
X1	No	Si
X3	Si	Si
X4	No	No
X6	No	Si

Tabla 6 Analizando el atributo condicional (atención) con el atributo de decisión (floreció)

En la Tabla 7 se agrupa el atributo condicional (temperatura) con el atributo de decisión (floreció).

Objeto	Temperatura	Floreció
X1	No	Si
X3	Si	Si
X4	No	No
X6	No	Si

Tabla 7 Analizando el atributo condicional (temperatura) con el atributo de decisión (floreció)

Al ser analizados cada atributo condicional con el atributo de decisión no aportan ninguna información, es decir la decisión final no depende de cada atributo por sí solo por lo que se debe realizar un análisis entre dos o más atributos con la decisión.

En la siguiente Tabla 8 se analizan los atributos condicionales (tierra seca y atención) con el atributo de decisión (floreció).

Objeto	Tierra seca	Atención	Floreció
X1	No	Si	Si
X3	Si	Si	Si
X4	No	Si	No
X6	No	Si	Si

Tabla 8 Analizando los atributos condicionales (tierra seca) y (atención) con el atributo de decisión (floreció)

Los objetos X2 y X6 muestran iguales atributos condicionales por lo que se elimina una de estas filas de la tabla, el resultado se muestra en la Tabla 9:

Objeto	Tierra seca	Atención	Floreció
X1	No	Si	Si
X3	Si	Si	Si
X4	No	Si	No

Tabla 9 Reducción de los atributos de la Tabla 8

En la Tabla 10 se analizan los atributos condicionales (tierra seca y temperatura) con el atributo de decisión (floreció).

Objeto	Tierra seca	Temperatura	Floreció
X1	No	Alta	Si
X3	Si	Muy alta	Si
X4	No	Normal	No
X6	No	Muy alta	Si

Tabla 10 Analizando los atributos condicionales (tierra seca y temperatura) con el atributo de decisión (floreció)

Después de analizar la Tabla 10 se puede concluir que no hay relaciones equivalentes por lo que se mantienen los mismos casos. En la Tabla 11 se analizan los atributos condicionales (atención y temperatura) con el atributo de decisión (floreció).

Objeto	Atención	Temperatura	Floreció
X1	Si	Alta	Si
X3	Si	Muy alta	Si
X4	Si	Normal	No
X6	Si	Muy alta	Si

Tabla 11 Analizando los atributos condicionales (atención y temperatura) con el atributo de decisión (floreció)

Al analizar los objetos se puede concluir que X3 y X6 poseen la misma información por lo que se elimina de los dos una fila de la Tabla 11 la información quedaría de la siguiente forma:

Objeto	Atención	Temperatura	Floreció
X1	Si	Alta	Si
X4	Si	Normal	No
X6	Si	Muy alta	Si

Tabla 12 Reducción de atributos de la Tabla 11

Luego una vez analizado cada uno de los atributos condicionales con el atributo decisión observamos cuáles de los valores de las tablas generadas (Tabla 9, Tabla 10, Tabla 12) son los que coinciden y estas serían las reglas que se generarían.

Objeto	Tierra seca	Atención	Temperatura	Floreció
X1	No	Si	Alta	Si
X4	No	Si	Normal	No

Tabla 13 Reglas de decisión obtenidas de la intersección de las tablas reducidas

2.3.7 Reglas de decisión

Un sistema de información reducido permite la obtención de reglas de decisión, este es el tema más importante de los conjuntos rugosos. Las reglas determinan si un objeto pertenece a un subconjunto particular denominado clases de decisión. La definición de esta clase es conocida puesto que, por ejemplo lo ha definido algún experto.

Una regla de decisión puede expresarse como una sentencia lógica, que relaciona la descripción de condiciones y las clases de decisión. Toma la siguiente forma:

Si <se cumplen condiciones> ENTONCES <el objeto pertenece a una clase de decisión tabla>.

Las reglas generadas pueden ser **deterministas** o **no deterministas**. Por determinista (consistente, precisa, exacta) y no determinista (inconsistente, aproximada), que sería cuando las condiciones pueden conducir a varias decisiones.

El conjunto de las reglas de decisión y la información sobre los atributos más significativos para la clasificación de los objetos puede considerarse como una representación del conocimiento adquirido por un especialista o experto sobre todos los casos u objetos contenidos en un sistema de información sin las redundancias típicas de la base de datos reales. Al conjunto de reglas para todas las clases de decisión se denomina **algoritmo de decisión**.

Como resultado de la reducción de las tablas se generaron las siguientes reglas:

1. **Si** (tierra seca, No) **y** (atención, Si) **y** (temperatura, alta) **entonces** (floreció, si)
2. **Si** (tierra seca, No) **y** (atención, Si) **y** (temperatura, normal) **entonces** (floreció, no)

2.4 Conclusiones parciales

Se describió el modelo de información para la agricultura resaltando las diversas y complejas relaciones existentes, se propuso y describió el modelo matemático a utilizar para evaluar la incertidumbre, además de explicarse con un ejemplo sencillo cada uno de los pasos a realizar en el próximo capítulo con cultivo. Todo ello estructura el Metamodelo de Información en lo relativo a su funcionamiento.

Capítulo 3. Caso de estudio

3.1 Introducción

En este capítulo se realiza un estudio sobre el boniato, sus exigencias para cultivarlo para así sentar las bases de cómo se debiera cultivar y los cuidados a tener con el mismo para así evitar ambiente de riesgos e incertidumbres. Además se realiza un ejercicio aplicando la propuesta matemática para el tratamiento de la incertidumbre.

3.2 Cultivo del boniato

La *Ipomoea batata*, más conocida para los cubanos como **boniato**, constituye uno de los cultivos alimenticios más importante en Cuba después del arroz, la papa, los plátanos y la yuca. Se caracteriza por ser un cultivo con mayor rango de adaptación y estabilidad a las variadas condiciones climáticas de la isla de Cuba, particularmente por su poca exigencia en cuanto a la fertilización y otros aspectos agro-técnicos. Constituye un alimento importante, fundamentalmente como fuente de carbohidratos dentro de la dieta del pueblo cubano.(Valderá 2011)

Debido a su naturaleza rústica, amplia adaptabilidad, corto ciclo y a que su material de plantación puede ser multiplicado fácilmente, el boniato se planta durante todo el año y en todas las regiones del país.(IIVT and ACTAF 2007)

Varios factores inciden en los bajos rendimientos del boniato, entre los factores más importantes se destaca el daño producido por el **Cylas formicarius F** (Tetuán del boniato), el cual es prácticamente la única plaga de importancia en este cultivo. El adulto se alimenta de hojas, esquejes, tallos y raíces tuberosas, pero el daño de más consideración lo causa la larva, abriendo galerías en todas las direcciones del tubérculo, este boniato infestado queda inutilizado para el consumo humano y animal.(IIVT and ACTAF 2007)

3.2.1 Exigencias para el cultivo del boniato

Las condiciones adecuadas para el cultivo del boniato son:

- Una temperatura media durante el período de crecimiento superior a los 21°C.
- Es un cultivo exigente en humedad, pero soporta bien la sequía. Es resistente a las precipitaciones, pero las intensas lluvias o bien pueden echar a perder gran parte de la cosecha o traen consigo plagas que afectan la producción.
- Se adapta a suelos con distintas características físicas, desarrollándose mejor en los arenosos, pero pudiendo cultivarse en los arcillosos con tal de que estén bien granulados y la plantación se haga en caballones. Los suelos de textura gruesa, sueltos, desmenuzables, granulados y con buen drenaje, son los mejores. La textura ideal es franco-arenosa, junto a una estructura granular del suelo. Tolera los suelos moderadamente ácidos, con pH comprendidos entre 4,5 a 7,5; siendo el pH óptimo 6.
- La distancia de plantación estará en función de la época (frío y primavera) ya que las plantas tienen respuestas diferentes de desarrollo en las distintas estaciones.
 - En la época de frío (septiembre-febrero) la distancia será de 0,90m x 0,23m.
 - Para la época de primavera (marzo-agosto) la distancia será de 0,90m x 0,30m.

3.3 Descripción de las variables

Debido a que en la agricultura interaccionan una gran cantidad de relaciones las cuales son muy complejas, se decidió aplicar el método **rough set** para cada una de las etapas del cultivo. Para esto se tomaron como casos las opiniones de expertos sobre diferentes parcelas ubicadas en nueve regiones del país. En el Anexo 3 se encuentra la relación de parcelas escogidas.

Como atributos condicionales se escogieron las actividades más significativas realizadas en cada etapa y como atributo de decisión, la ocurrencia o no de Vulnerabilidades. A continuación se listan las actividades escogidas por cada etapa.

Preparación de la tierra:

1. Chapea: {Si, No}
2. Roturar: {Bien, Mal, Regular}
3. Surcar: {Aceptable, Poco aceptable, No aceptable}
4. Mullir: {Si, No}
5. Riego: {Si, No}

Atención cultural:

1. Riego: {Si, No}
2. Aplicación de Gesagar: {Aplicado, No aplicado}
3. Aporque: {Si, No}
4. Fertilizar FC: {Aplicado, No aplicado}
5. Limpia narigón: {Si, No}

Siembra:

1. Partir el surco: {Profundo, Poco profundo}
2. Plantación: {Si, No}
3. Tape del surco: {Si, No}

Cosecha:

1. Extracción: {Oportuna, No oportuna}
2. Separación de raíces: {Si, No}
3. Envasado: {Si, No}
4. Transporte de raíces: {Sin retraso, Con retraso}

3.4 Aplicando el método a la etapa: Preparación de la Tierra.

Esta etapa constituye la primera en el proceso del sistema de cultivo, prepara las condiciones necesarias de la tierra para poder sembrar el cultivo y lograr una producción exitosa, las actividades que aquí se realicen, deben hacerse con eficiencia y la calidad requerida pues de ella depende el éxito de la producción. En la Tabla 14 se muestra el Sistema de Información de esta primera etapa.

Sistema de información

Parcelas/Act	Chapear	Roturar	Surcar	Mullir	Riego	Vulnerabilidad
X1	Si	Bien	Aceptable	No	Si	No
X2	No	Regular	Aceptable	Si	No	Si
X3	Si	Regular	No aceptable	Si	No	Si
X4	No	Bien	Aceptable	No	Si	No

X5	No	Bien	Poco aceptable	Si	Si	No
X6	Si	Mal	Poco aceptable	No	Si	Si
X7	No	Regular	Aceptable	Si	No	No
X8	No	Bien	Poco aceptable	Si	No	Si
X9	Si	Bien	Poco aceptable	Si	Si	No

Tabla 14 Sistema de información de la etapa de Preparación de la Tierra

Factor de consistencia:

$$\gamma(C, D) = C/D$$

$$\gamma(C, D) = 5/9$$

$$\gamma(C, D) = 0,56$$

Entonces como el $\gamma(C, D) < 1$, el sistema de información es **Inconsistente**.

Relación de indiscernibilidad

- $IND(\{\text{Chapear}\}) = (\{X1, X3, X6, X9\} \{X2, X4, X5, X7, X8\})$.
- $IND(\{\text{Roturar}\}) = (\{X1, X4, X5, X8, X9\} \{X2, X3, X7\} \{X6\})$.
- $IND(\{\text{Surcar}\}) = (\{X1, X2, X4, X7\} \{X3\} \{X5, X6, X8, X9\})$.
- $IND(\{\text{Mullir}\}) = (\{X2, X3, X5, X7, X8, X9\} \{X1, X4, X6\})$.
- $IND(\{\text{Riego}\}) = (\{X1, X4, X5, X6, X9\} \{X2, X3, X7, X8\})$.
- $IND(\{\text{Vulnerabilidad}\}) = (\{X1, X4, X5, X7, X9\} \{X2, X3, X6, X8\})$.

Se puede observar entonces que la ambigüedad en la Tabla 14 está en las parcelas X2 y X7.

Conjuntos aproximados

Al realizar la aproximación alta y baja al atributo decisión (Vulnerabilidad) resultó de la siguiente forma:

- **Aproximación Alta (posibilidad)**

$B^*(X) = \{X2, X3, X6, X8\}$ posiblemente son vulnerables.

$B^*(X) = \{X1, X4, X5, X7, X9\}$ posiblemente no son vulnerables.

- **Aproximación Baja (certeza)**

$B_-(X) = \{X3, X6, X8\}$ con certeza son vulnerables.

$B_-(X) = \{X1, X4, X5, X9\}$ con certeza no son vulnerables.

- **Región límite**

$BR = B^*(X) - B_-(X)$

$BR = \{X2, X3, X6, X8\} - \{X3, X6, X8\} = X2$

$BR = \{X1, X4, X5, X7, X9\} - \{X1, X4, X5, X9\} = X7$

La región límite esta denotada por las parcelas X2 y X7.

Teniendo en cuenta el atributo de decisión y aplicando las categorías de la vaguedad, se tiene que X es rugosamente definible de acuerdo a la primera categoría.

Calidad de aproximación

Coficiente de imprecisión

- Para los vulnerables = 0,75
- Para los no vulnerables = 0,8

Por tanto como $\alpha B(X) < 1$ X es rugosa o vaga con respecto a B.

Coefficiente de calidad de alta y baja aproximación.

Calidad del coeficiente de aproximación alta:

- Para los vulnerables = 0,4
- Para los no vulnerables = 0,56

Calidad del coeficiente de aproximación baja:

- Para los vulnerables = 0,3
- Para los no vulnerables = 0,44

Dependencia de atributos

Como $k =$ entonces $k=0,56$ por lo tanto **D** depende parcialmente de **C**.

Reducción de atributos

Verificación inconclusa de datos

Parcelas/Act.	Chapear	Roturar	Surcar	Mullir	Riego	Vulnerabilidad
X1	Si	Bien	Aceptable	No	Si	No
X2	No	Regular	Aceptable	Si	No	Si
X3	Si	Regular	No aceptable	Si	No	Si
X4	No	Bien	Aceptable	No	Si	No
X5	No	Bien	Poco aceptable	Si	Si	No
X6	Si	Mal	Poco aceptable	No	Si	Si
X7	No	Regular	Aceptable	Si	No	No
X8	No	Bien	Poco aceptable	Si	No	Si
X9	Si	Bien	Poco aceptable	Si	Si	No

Tabla 15 Verificando información inconclusa o ambigua

Al observar la Tabla 15 se muestra que las parcelas **X2** y **X7** tienen los mismos atributos condicionales pero su atributo de decisión es diferente por lo que se eliminan. La información quedaría como se muestra en la Tabla 16:

Parcelas/Act	Chapear	Roturar	Surcar	Mullir	Riego	Vulnerabilidad
X1	Si	Bien	Aceptable	No	Si	No
X3	Si	Regular	No aceptable	Si	No	Si
X4	No	Bien	Aceptable	No	Si	No
X5	No	Bien	Poco aceptable	Si	Si	No
X6	Si	Mal	Poco aceptable	No	Si	Si
X8	No	Bien	Poco aceptable	Si	No	Si
X9	Si	Bien	Poco aceptable	Si	Si	No

Tabla 16 Sistema de Información sin información inconclusa o ambigua

Verificación de información equivalente

De la Tabla 16 reducida anteriormente, se procede entonces a analizar la información para eliminar la información equivalente. Analizando la tabla se muestra que no posee información equivalente por lo que la información se mantiene. Se procede a analizar cada atributo condicional de la Tabla 16 con el atributo de decisión.

Parcelas/Act	Chapear	Vulnerabilidad
X1	Si	No
X3	Si	Si
X4	No	No
X5	No	No
X6	Si	Si
X8	No	Si
X9	Si	No

Tabla 17 Analizando el atributo de condición Chapear con el atributo de decisión Vulnerabilidad

Al observar la información contenida en la Tabla 17 se muestra que el atributo condicional Chapear no influye en el atributo de decisión Vulnerabilidad, así ocurre con los demás atributos condicionales al ser analizados con el atributo de decisión, por lo que se analiza entonces dos atributos condicionales con el atributo de decisión.

Se analizan los atributos condicionales **Chapear** y **Roturar** con el atributo de decisión **Vulnerabilidad**.

Parcelas/Act.	Chapear	Roturar	Vulnerabilidad
X1	Si	Bien	No
X3	Si	Regular	Si
X4	No	Bien	No
X5	No	Bien	No
X6	Si	Mal	Si
X8	No	Bien	Si
X9	Si	Bien	No

Tabla 18 Analizando los atributos de condición Chapear y Roturar con el atributo de decisión Vulnerabilidad

Analizando la información contenida en la Tabla 18 se puede observar que (X1 y X9) y (X4 y X5) tienen la misma información, por lo que se elimina una fila de cada conjunto de la tabla.

Parcelas/Act	Chapear	Roturar	Vulnerabilidad
X1	Si	Bien	No
X3	Si	Regular	Si
X4	No	Bien	No
X6	Si	Mal	Si
X8	No	Bien	Si

Tabla 19 Resultado de eliminar la información equivalente de Tabla 18

Se analizan ahora los atributos condicionales **Chapear** y **Surcar** con el atributo de decisión **Vulnerabilidad**.

Parcelas/Act	Chapear	Surcar	Vulnerabilidad
X1	Si	Aceptable	No
X3	Si	No aceptable	Si
X4	No	Aceptable	No
X5	No	Poco aceptable	No
X6	Si	Poco aceptable	Si
X8	No	Poco aceptable	Si
X9	Si	Poco aceptable	No

Tabla 20 Analizando los atributos de condición Chapear y Surcar con el atributo de decisión Vulnerabilidad

Al analizar la información contenida en la Tabla 20 se puede observar que no posee información equivalente por lo que la información se mantiene.

Se analizan ahora los atributos condicionales **Chapear** y **Mullir** con el atributo de decisión **Vulnerabilidad**.

Parcelas/Act	Chapear	Mullir	Vulnerabilidad
X1	Si	No	No
X3	Si	Si	Si
X4	No	No	No
X5	No	Si	No
X6	Si	No	Si
X8	No	Si	Si
X9	Si	Si	No

Tabla 21 Analizando los atributos de condición Chapear y Mullir con el atributo de decisión Vulnerabilidad

Al analizar la información contenida en la Tabla 21 se observa que no posee información equivalente por lo que la información se mantiene de la misma forma.

Se analizan ahora los atributos condicionales **Chapear** y **Riego** con el atributo de decisión **Vulnerabilidad**.

Parcelas/Act	Chapear	Riego	Vulnerabilidad
X1	Si	Si	No
X3	Si	No	Si
X4	No	Si	No
X5	No	Si	No
X6	Si	Si	Si
X8	No	No	Si
X9	Si	Si	No

Tabla 22 Analizando los atributos de condición Chapear y Riego con el atributo de decisión Vulnerabilidad

Analizando la información contenida en la Tabla 22 se puede observar que (X1 y X9) y (X4 y X5) tienen la misma información por lo que de cada conjunto se elimina una fila.

Parcelas/Act	Chapear	Riego	Vulnerabilidad
X1	Si	Si	No
X3	Si	No	Si
X4	No	Si	No
X6	Si	Si	Si
X8	No	No	Si

Tabla 23 Resultado de eliminar la información equivalente de Tabla 22

Se analizan ahora los atributos condicionales **Roturar** y **Surcar** con el atributo de decisión **Vulnerabilidad**.

Parcelas/Act	Roturar	Surcar	Vulnerabilidad
X1	Bien	Aceptable	No
X3	Regular	No aceptable	Si
X4	Bien	Aceptable	No
X5	Bien	Poco aceptable	No
X6	Mal	Poco aceptable	Si

X8	Bien	Poco aceptable	Si
X9	Bien	Poco aceptable	No

Tabla 24 Analizando los atributos de condición Roturar y Surcar con el atributo de decisión Vulnerabilidad

Analizando la información contenida en la Tabla 24 se puede observar que (X1 y X4) y (X5 y X9) tienen la misma información por lo que de cada conjunto se elimina una fila.

Parcelas/Act	Roturar	Surcar	Vulnerabilidad
X1	Bien	Aceptable	No
X3	Regular	No aceptable	Si
X5	Bien	Poco aceptable	No
X6	Mal	Poco aceptable	Si
X8	Bien	Poco aceptable	Si

Tabla 25 Resultado de eliminar la información equivalente de Tabla 24

Se analizan ahora los atributos condicionales **Roturar** y **Mullir** con el atributo de decisión **Vulnerabilidad**.

Parcelas/Act	Roturar	Mullir	Vulnerabilidad
X1	Bien	No	No
X3	Regular	Si	Si
X4	Bien	No	No
X5	Bien	Si	No
X6	Mal	No	Si
X8	Bien	Si	Si
X9	Bien	Si	No

Tabla 26 Analizando los atributos de condición Roturar y Mullir con el atributo de decisión Vulnerabilidad

Analizando la información contenida en la Tabla 26 se puede observar que (X1 y X4) y (X5 y X9) tienen la misma información por lo que de cada conjunto se elimina una fila.

Parcelas/Act	Roturar	Mullir	Vulnerabilidad
X1	Bien	Aceptable	No
X3	Regular	No aceptable	Si
X5	Bien	Poco aceptable	No
X6	Mal	Poco aceptable	Si
X8	Bien	Poco aceptable	Si

Tabla 27 Resultado de eliminar la información equivalente de la Tabla 26

Se analizan ahora los atributos condicionales **Roturar** y **Riego** con el atributo de decisión **Vulnerabilidad**.

Parcelas/Act	Roturar	Riego	Vulnerabilidad
X1	Bien	Si	No
X3	Regular	No	Si
X4	Bien	Si	No
X5	Bien	Si	No
X6	Mal	Si	Si
X8	Bien	No	Si
X9	Bien	Si	No

Tabla 28 Analizando los atributos de condición Roturar y Riego con el atributo de decisión Vulnerabilidad

Analizando la información contenida en la Tabla 28 se puede observar que (X1, X4, X5 y X9) tienen la misma información por lo que del conjunto se eliminan tres filas. Ver Tabla 29.

Parcelas/Act	Roturar	Riego	Vulnerabilidad
X1	Bien	Si	No
X3	Regular	No	Si
X6	Mal	Si	Si
X8	Bien	No	Si

Tabla 29 Resultado de eliminar la información equivalente de la Tabla 28

Se analizan los atributos condicionales **Surcar** y **Mullir** con el atributo de decisión **Vulnerabilidad**.

Parcelas/Act	Surcar	Mullir	Vulnerabilidad
X1	Aceptable	No	No
X3	No aceptable	Si	Si
X4	Aceptable	No	No
X5	Poco aceptable	Si	No
X6	Poco aceptable	No	Si
X8	Poco aceptable	Si	Si
X9	Poco aceptable	Si	No

Tabla 30 Analizando los atributos de condición Surcar y Mullir con el atributo de decisión Vulnerabilidad

Analizando la información contenida en la Tabla 30 se puede observar que (X1 y X4) y (X5 y X9) tienen la misma información por lo que de ambos conjuntos se elimina una fila.

Parcelas/Act	Surcar	Mullir	Vulnerabilidad
X1	Aceptable	No	No
X3	No aceptable	Si	Si
X5	Poco aceptable	Si	No
X6	Poco aceptable	No	Si
X8	Poco aceptable	Si	Si

Tabla 31 Resultado de eliminar la información equivalente de la Tabla 30

Se analizan los atributos condicionales **Surcar** y **Riego** con el atributo de decisión **Vulnerabilidad**.

Parcelas/Act	Surcar	Riego	Vulnerabilidad
X1	Aceptable	Si	No
X3	No aceptable	No	Si
X4	Aceptable	Si	No
X5	Poco aceptable	Si	No
X6	Poco aceptable	Si	Si
X8	Poco aceptable	No	Si

X9	Poco aceptable	Si	No
----	----------------	----	----

Tabla 32 Analizando los atributos de condición Surcar y Riego con el atributo de decisión Vulnerabilidad

Analizando la información contenida en la Tabla 32 se puede observar que (X1 y X4) y (X5 y X9) tienen la misma información por lo que de ambos conjuntos se elimina una fila.

Parcelas/Act	Surcar	Riego	Vulnerabilidad
X1	Aceptable	Si	No
X3	No aceptable	No	Si
X5	Poco aceptable	Si	No
X6	Poco aceptable	Si	Si
X8	Poco aceptable	No	Si

Tabla 33 Resultado de eliminar la información equivalente de la Tabla 33

Se analizan los atributos condicionales **Mullir** y **Riego** con el atributo de decisión **Vulnerabilidad**.

Parcelas/Act	Mullir	Riego	Vulnerabilidad
X1	No	Si	No
X3	Si	No	Si
X4	No	Si	No
X5	Si	Si	No
X6	No	Si	Si
X8	Si	No	Si
X9	Si	Si	No

Tabla 34 Analizando los atributos de condición Mullir y Riego con el atributo de decisión Vulnerabilidad

Analizando la información de la Tabla 34 se puede observar que (X1 y X4), (X3 y X8) y (X5 y X9) tienen la misma información por lo que se elimina una fila de cada conjunto.

Parcelas/Act	Mullir	Riego	Vulnerabilidad
X1	No	Si	No
X3	Si	No	Si
X5	Si	Si	No
X6	No	Si	Si

Tabla 35 Resultado de eliminar la información equivalente de la Tabla 34

Una vez analizados cada uno de los atributos condicionales con el atributo decisión se observa cuáles de los valores de las tablas generadas (Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21, Tabla 23, Tabla 25, Tabla 27, Tabla 29, Tabla 31, Tabla 33, Tabla 35) son los que coinciden y estas serían las reglas que se generarían.

Parcelas/Act.	Chapear	Roturar	Surcar	Mullir	Riego	Vulnerabilidad
X1	Si	Bien	Aceptable	No	Si	No
X3	Si	Regular	No aceptable	Si	No	Si
X6	Si	Mal	Poco aceptable	No	Si	Si

Tabla 36 Reglas de decisión obtenidas de la intersección de las tablas reducidas

Reglas de decisión

Una vez eliminada toda la información equivalente e inconclusa se obtuvieron tres reglas de decisión:

1. **Si** (Chapear, Si) y (Roturar, Bien) y (Surcar, Aceptable) y (Mullir, No) **y** (Riego, Si) **entonces** (Vulnerabilidad, No).
2. **Si** (Chapear, Si) y (Roturar, Regular) y (Surcar, No aceptable) y (Mullir, Si) y (Riego, No) **entonces** (Vulnerabilidad, Si).
3. **Si** (Chapear, Si) y (Roturar, Mal) y (Surcar, Poco aceptable) y (Mullir, No) y (Riego, Si) **entonces** (Vulnerabilidad, Si).

Este método se aplicó a las tres restantes etapas del cultivo (Siembra, Atención Cultural y Cosecha) y como resultado proporcionó las vulnerabilidades en cada una resultando más vulnerables las parcelas X3 con multiplicidad y X2 con multiplicidad 2.

A continuación se muestra la relación de las vulnerabilidades resultantes:

Vulnerabilidades resultantes en la etapa de Siembra

Parcelas/Act	Partir el surco	Plantación	Tape del surco	Vulnerabilidad
X2	Profundo	No	Si	Si
X3	Poco Profundo	Si	Si	Si
X7	Profundo	Si	Si	No

Tabla 37 Reglas de decisión obtenidas de la intersección de las tablas reducidas en la etapa de Siembra

Vulnerabilidades resultantes en la etapa de Atención Cultural

Parcelas/ Act	Riego	Aplicación Gesagar	Aporque	Fertilizar FC	Limpia de Narigón	Vulnerabilidad
X1	Si	Aplicado	Si	No Aplicado	Si	No
X2	No	No Aplicado	Si	No Aplicado	No	Si
X3	Si	Aplicado	No	Aplicado	No	Si
X5	No	No Aplicado	No	Aplicado	Si	No

Tabla 38 Reglas de decisión obtenidas de la intersección de las tablas reducidas en la etapa de Atención Cultural

Vulnerabilidades resultantes en la etapa de Cosecha

Parcelas/Act	Extracción	Separación de raíces	Envasado	Transporte de raíces	Vulnerabilidad
X1	Oportuna	No	No	Con retraso	Si
X5	Oportuna	Si	Si	Con retraso	No

Tabla 39 Reglas de decisión obtenidas de la intersección de las tablas reducidas en la etapa de Cosecha

3.5 Vulnerabilidad-Peligro-Riesgo

Para pasar al estudio del sistema secuencial Vulnerabilidad-Peligro-Riesgo se requiere construir el sistema de relaciones y asociaciones de las componentes del Metamodelo para el sistema de cultivo seleccionado en el caso de estudio. En la Figura 5 se muestran dichas relaciones.



Figura 5 Concepción integrada del Metamodelo en la Evaluación de Riesgos Agrícolas

En el epígrafe anterior se obtuvieron las REGLAS asociadas a las VULNERABILIDADES y correspondientes a cada una de las etapas (Preparación de la Tierra, Siembra, Atención Cultural y Cosecha) del sistema de cultivo teniendo en cuenta la naturaleza “rugosa” de los criterios obtenidos en las consultas a los expertos. A continuación se explican los pasos del proceso de cálculo.

1. Identificación de las reglas de decisión con VULNERABILIDADES positivas.

En el epígrafe anterior del presente capítulo se culminó el análisis de las reglas de decisión de VULNERABILIDADES. Las Tabla 36, Tabla 37, Tabla 38 y la Tabla 39 muestran dichos resultados para cada una de las etapas del proceso clave de la entidad agrícola: el sistema de cultivo.

A continuación se resume la información de reglas con VULNERABILIDADES POSITIVAS. Ver Tabla 40, Tabla 41, Tabla 42 y Tabla 43.

Se puede comprobar que las situaciones asociadas a los casos X3 y X2 poseen una degeneración o multiplicidad en la solución por cuanto se repiten el primero tres veces y el segundo dos veces.

La Tabla 44 revela la pertinencia de crear un grafo finito, direccionado en todos sus arcos, donde los nodos (asociados a aspectos internos de la entidad agrícola) son: las cuatro etapas del sistema de cultivo y los cuatro casos significativos del ejemplo de estudio. La Figura 6 representa este grafo, donde los nodos son de tipo interno (asociados a las VULNERABILIDADES) y que externamente podrán estar relacionados con otros característicos de los PELIGROS y los RIESGOS.

Vulnerabilidades de preparación de la tierra.

Parcelas/Act	Chapear	Roturar	Surcar	Mullir	Riego	Vulnerabilidad
X3	Si	Regular	No aceptable	Si	No	Si
X6	Si	Mal	Poco aceptable	No	Si	Si

Tabla 40 Vulnerabilidad positiva en la etapa de Preparación de la Tierra

Vulnerabilidades de siembra.

Parcelas/Act	Partir el surco	Plantación	Tape del surco	Vulnerabilidad
X2	Profundo	No	Si	Si
X3	Poco Profundo	Si	Si	Si

Tabla 41 Vulnerabilidad positiva en la etapa de Siembra

Vulnerabilidades de atención cultural.

Parcelas/ Act	Riego	Aplicación Gesagar	Aporque	Fertilizar FC	Limpia de Narigón	Vulnerabilidad
X2	No	No Aplicado	Si	No Aplicado	No	Si
X3	Si	Aplicado	No	Aplicado	No	Si

Tabla 42 Vulnerabilidad positiva en la etapa de Atención Cultural

Vulnerabilidades de cosecha.

Parcelas/Act	Extracción	Separación de raíces	Envasado	Transporte de raíces	Vulnerabilidad
X1	Oportuna	No	No	Con retraso	Si

Tabla 43 Vulnerabilidad positiva en la etapa de Cosecha

Fases del sistema de cultivo más vulnerables.

FASES DEL SISTEMA DE CULTIVO		CASOS
Preparación de la tierra	1	X3
		X6
Siembra	2	X2
		X3
Atención cultural	3	X2
		X3
Cosecha	4	X1

Tabla 44 Etapas y parcelas de mayor vulnerabilidad.

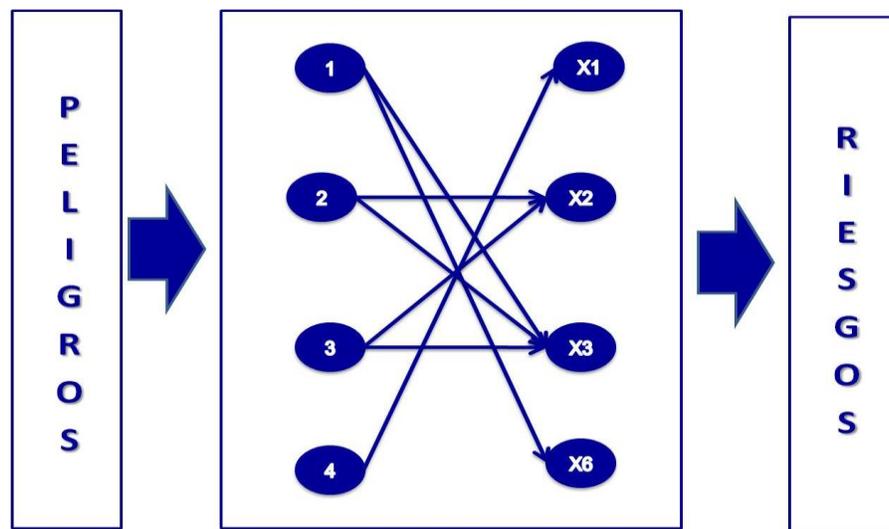


Figura 6 Grafo dirigido con nodos asociados a las cuatro etapas del proceso sistema de cultivo y los casos de vulnerabilidades positivas

2. Precisión de las dimensiones del PELIGRO y el RIESGO:

En opinión de las autoras, independientemente del sistema de cultivo, tanto el PELIGRO como el RIESGO, para el caso de las decisiones agrícolas, son de naturaleza multifactorial y están muy relacionadas, si se intentara cuantificarlas de alguna manera, a la experiencia del experto, a su vivencia y a su conocimiento de la entidad agrícola que se investiga.

Pero en todos los casos, tanto el PELIGRO como el RIESGO, independientemente de sus especificidades, trascienden a tres dimensiones superiores en la concepción del presente Metamodelo y deben integrar los aspectos agro-meteorológico, tecnológico y organizacional, por lo que la potencialidad del Peligro puede clasificarse en: **PA** (Peligro Agro-meteorológico), **PT** (Peligro Tecnológico) y **PO** (Peligro Organizacional). Ver Figura 7.

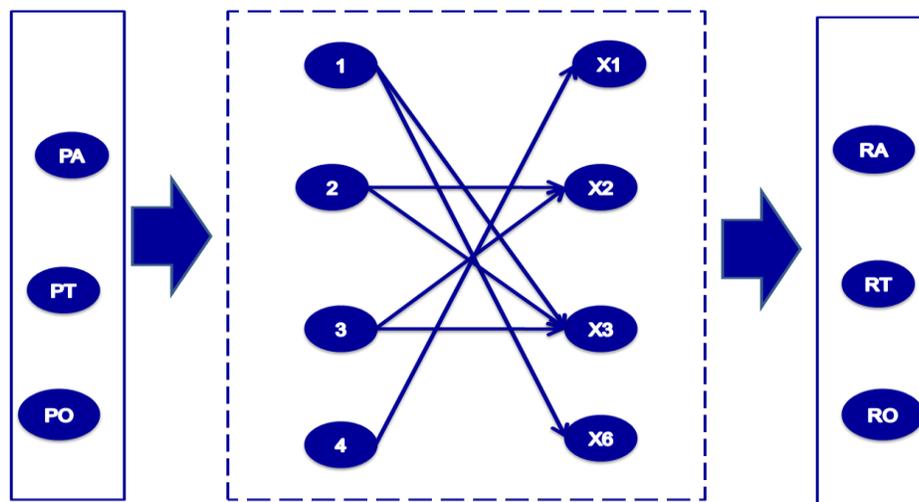


Figura 7 Identificación de los nodos en las componentes PELIGROS y RIESGOS atendiendo a las dimensiones del modelo

3. Valoración de las relaciones entre nodos externos e internos del grafo.

Este discernimiento que presupone el Metamodelo que se está construyendo, permite revelar la existencia de tres nodos pertenecientes a la componente estructural PELIGRO, externa al dominio de la entidad agrícola, por lo que se extiende el grafo (característico de la entidad en su valor interno) a uno extendido

en lo externo. Del sistema de información existente, se valoran en una primera aproximación los aspectos más relevantes del PELIGRO que inciden en las diferentes etapas del sistema de cultivo, lo cual se detalla en la Tabla 45.

	Preparación de la Tierra			Siembra			Atención Cultural			Cosecha		
	PA	PT	PO	PA	PT	PO	PA	PT	PO	PA	PT	PO
X1										M	P	A
X2				M	A		P					
X3				A	M	M	M	A	A			
X6	M	A	A									

Tabla 45 Datos extraídos del Sistema de Información en relación a la percepción de PELIGROS para el análisis de RIESGO a través de las Reglas de Decisión obtenidas con el tratamiento rugoso para los diferentes casos. Leyenda: Apreciable, Medio, Poco

A continuación, puede construirse la ampliación del grafo en dependencia también de los datos existentes, sin necesidad de hacer inferencias, cosa que caracteriza este modelo matemático de tratamiento de la ambigüedad o vaguedad. El grafo extendido, también finito y direccionado en todos sus arcos, muestra ya de manera diferenciada nodos internos y nodos externos. Ver Figura 8.

3(a): **Nodos externos de PELIGRO.** En opinión de los especialistas se obtiene una percepción de las influencias de cada aspecto del PELIGRO con las etapas del sistema de cultivo. Nótese los vínculos detectados como apreciables en su influencia.

3(b): **Nodos externos de RIESGO.** Aquí se realiza, a través del análisis de la Vulnerabilidad desarrollada en el epígrafe anterior, un discernimiento de los tipos de PELIGRO que más afectan a las diversas situaciones de VULNERABILIDADES positivas en cada etapa del sistema de cultivo.

4. Evaluación de RIESGOS.

A partir del tratamiento de la incertidumbre y el procesamiento de los datos que serán tenidos en consideración - Tabla 45 - se puede apreciar que es el Riesgo Organizacional el que mayor asociación

tiene con todos los casos, seguido del Riesgo Tecnológico en dos casos y el Riesgo Agro-meteorológico, no pocas veces sobredimensionado, solamente en uno de ellos.

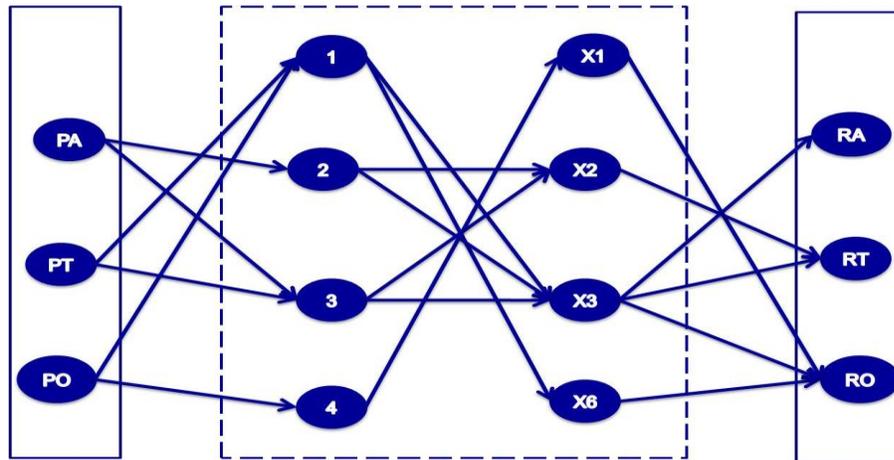


Figura 8 Grafo asociado a las situaciones de PELIGRO Y VULNERABILIDAD el sistema bajo estudio

La posibilidad de llevar el análisis hasta el grafo de la Figura 8, permite estructurar en esta primera aproximación, un Metamodelo que podría ser utilizado en cualquier otro tipo de cultivo.

3.6 Metamodelo propuesto

Realmente el conjunto de opiniones de los expertos son simplemente datos, que relacionan diferentes condiciones para las diferentes etapas del sistema de cultivo. Puede decirse que la información se encuentra dispersa y desorganizada, independientemente que pudiera estar ya en una Base de Datos. El Metamodelo de Información pretende estructurar la información que se extraiga de los datos y esclarecer los detalles individuales de las componentes, sin dejar de tener en cuenta la concepción sistémica de integración de las mismas. En la Figura 9 y la Figura 10 se ilustran dos fases intermedias del proceso del conocimiento gradual que fue desarrollado para la solución del problema que dio origen a esta investigación. El esquema triangular va ganando en transparencia y con ello esclareciendo la integración de datos, modelos tanto estructurales como matemáticos, así como el detalle del objeto de estudio: los procesos de decisión agraria ante los PELIGROS externos y las VULNERABILIDADES internas de la

entidad agraria. La Figura 11 ilustra el producto final de este proceso de análisis que posibilita una metodología genérica para otros sistemas de cultivo.

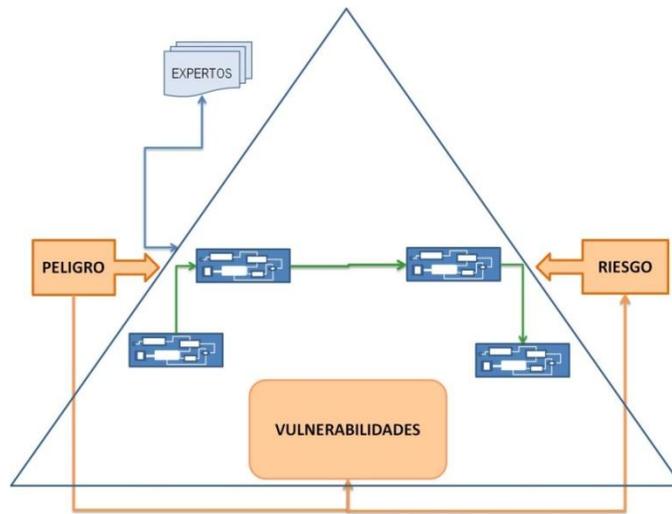


Figura 9 Fase inicial de construcción del Metamodelo

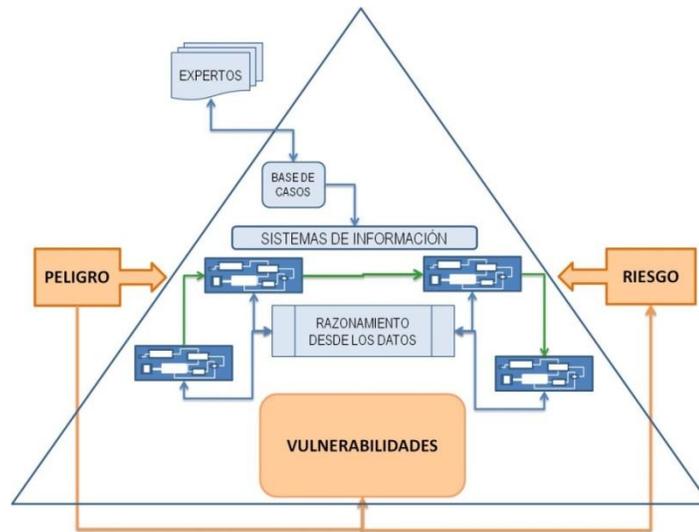


Figura 10 Fase intermedia que ilustra el proceso de estructuración de la información

Como la base del Razonamiento a partir de Datos exige que éstos respondan, tanto en relación al tipo de experto, al momento de la consulta y de hecho su opinión en cierto instante de tiempo, la localidad de la que hace referencia, etc. es imprescindible incorporar otros datos que, sin pertenecer propiamente al Sistema de Información, permiten agrupar los diferentes casos o Base de Casos en una Base de Datos a la cual se accede a través de un Repositorio de datos de otra índole denominados METADATOS. (Lichilín and Rodríguez 2008)

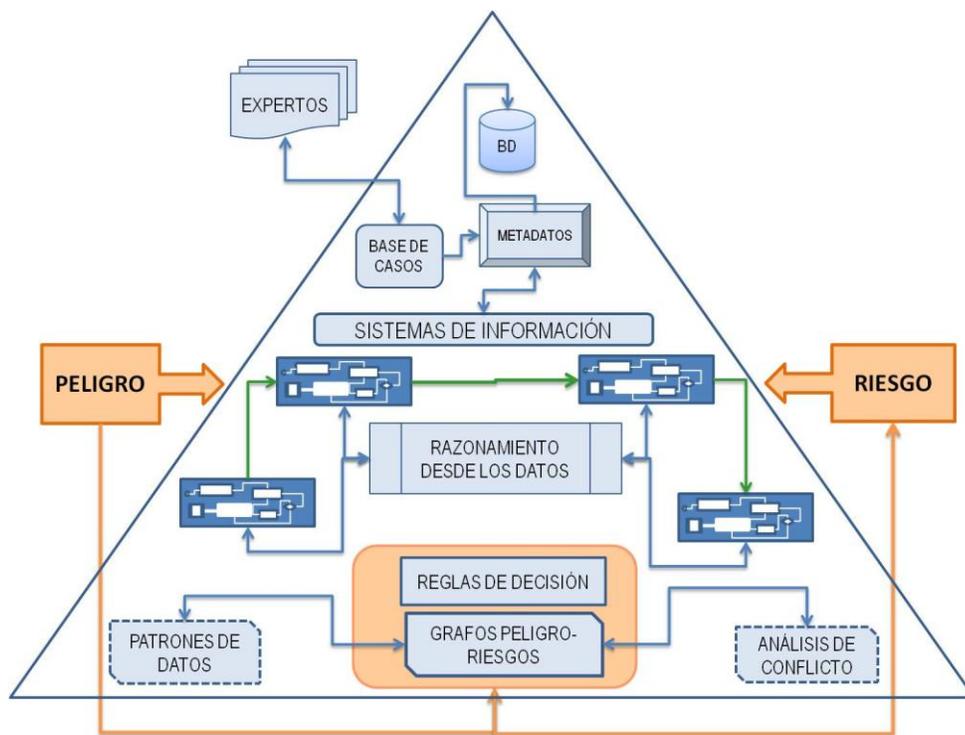


Figura 11 Metamodelo de Información propuesto para realizar los estudios sobre VULNERABILIDAD para una entidad agrícola

Es de señalar que el Sistema de Información cambiará en dependencia del tipo de estudio que desee hacerse y esta posibilidad de trabajar con los Metadatos le conferirá a la aplicación a desarrollar en el futuro un valor agregado de extraordinario valor.

3.7 Conclusiones parciales

Se ilustró manualmente la aplicación del Metamodelo a un caso de estudio o sistema de cultivo (boniato) encontrándose resultados interesantes. A pesar de impresionar inicialmente que las relaciones de vulnerabilidad apuntaban a dos situaciones o casos donde primaba la Vulnerabilidad Agro-meteorológica, después de realizar el estudio de Peligro-Riesgo se concluyó que el Riesgo más significativo - y por tanto el que requiere la mayor atención - es el Riesgo Organizacional; sin restarle importancia le siguen el Riesgo Tecnológico y Riesgo Agro-meteorológico en ese orden.

La factibilidad de ampliación de la metodología utilizada, la previsión de metadatos necesarios incluir para poder concebir otras aplicaciones diferenciadas en lo espacial y lo temporal, tipos de expertos, etc. se concibió el Metamodelo de Información pertinente al problema de investigación.

Conclusiones

Los objetivos previstos en este trabajo han sido cumplidos.

- Se demostró la pertinencia de la aplicación de la Teoría de los Conjuntos Rugosos para tratar la incertidumbre asociada a la naturaleza heterogénea de los datos aportados por los expertos.
- Fue elaborada una metodología genérica para cualquier sistema de cultivo, acorde con el sistema de variables y el conjunto de relaciones identificadas y las exigencias de un Metamodelo de Información.
- El modelo matemático y el sistema de inferencia basado en datos son pertinentes a la determinación de las Vulnerabilidades y el análisis del Riesgo permitiendo estudiar no solamente la dimensión agro-meteorológica, sino también la tecnológica y la organizacional.
- Se aplicó el Metamodelo de Información a un caso real y se demuestra su factibilidad.

Recomendaciones

- Se recomienda aplicar el Metamodelo propuesto a otros cultivos para realizar un estudio de las vulnerabilidades generadas y así determinar cuáles son los riesgos más representativos.
- Implementar el Metamodelo propuesto con el objetivo de informatizar todo el proceso puesto que actualmente se realiza manualmente.

Bibliografía

- Andreina, Z. (2006). Control de calidad de indicadores de alerta temprana determinados mediante modelos de ecuaciones estructurales. Caso: riesgo financiero en la banca nacional. Mérida, Venezuela, Universidad de Los Andes. **Tesis de Grado**.
- Artacho, M. R. (2000). Modelos y Metamodelos.
- Atanassov, K. (1986). "Intuitionistic Fuzzy Sets. Fuzzy Sets and Systems." **Volumen 20**: pp 87-96.
- Benson, C. and J. Twigg (2008). "Measuring Mitigation: Methodologies for assessing natural hazard risks and the net benefits of mitigation - A scoping study." Tomado de www.proventionconsortium.org 10 de marzo 2011.
- Bermell-García, P. (2007). A metamodel to annotate knowledge based engineering codes as enterprise knowledge resources. Dr. Ip-Shing Fan, tutor, Universidad Cranfield. **Tesis Doctoral**.
- Borgia, A., R. Humees, et al. (2008). Rapad Agricultural Assesment Routine (RADAR) Environment Natural Resources of the United Status, Roma 2008.
- Caballero, Y., R. Bello, et al. (2009). "La Teoría de los conuntos aproximados para el descubrimiento de conocimiento." Revista DYNA ISSN 0012-7353.
- Cardona, O. (2000). Modelación numérica para la estimación holística del riesgo sísmico urbano, considerando variables técnicas, sociales y económicas. Memorias en CD-ROM. I Congreso Internacional de Métodos Numéricos en Ciencias Sociales. Barcelona. España.
- Carrazana, Y. R., M. G. Garcés, et al. (2009). "Modelo de identificación de los riesgos de control interno para la actividad empresarial." Contribuciones a la Economía: ISSN 16968360.
- CE, C. E. (2002). DG Mercado Interior. ENTIDADES FINANCIERAS. "Modelos de riesgos de empresas o grupos de seguros". Consultado en www.europa.eu.int/comm/ 15 de enero 2011.
- CEPAL (1999). "América Latina y el Caribe: Impacto de los desastres Naturales en el Desarrollo."
- Cruz, F. L. and E. Vicens (2006). Modelos conceptuales en Planificación Colaborativa en la Red/Cadena de Suministro (R/CdS) en un contexto de modelado de Procesos de Negocio. Memorias en CD ROM X Congreso de Ingeniería de Organización. Valencia, España.
- Cuba, E. M. N. D. C. R. (2005). Guía para la realización de estudios de riesgos para situaciones de desastres. D. Protección.
- Dangel-[a], A. D. (2009). "Gestión del Conocimiento: Una Herramienta Esencial para el Diseño de Sistemas de Información
- ", from <http://www.econlink.com.ar/sistemas-informacion/definicion/>.
- Dangel-[b], A. D. (2009). "Gestión del Conocimiento: Una Herramienta Esencial para el Diseño de Sistemas de Información." from <http://www.econlink.com.ar/sistemas-informacion/>.

-
- Escalante, C. and G. Arango (2004). Aspectos básicos del modelo de riesgo colectivo. Cali. Colombia, Universidad del Valle: pp 3-15.
- España, B. d. E. (2005). Dossier de seguimiento para modelos de Riesgo de Mercado. BE-DG SUPERVISION. R.-A. 2005.
- FIDA, F. I. D. A. (2005). Consulta sobre la séptima reposición de recursos del Órgano. Memorias en CD-ROM. IV Período de Sesiones, Doha. Qatar.
- Freyre, E. R. (1997). "Los factores sociales de la sustentabilidad agraria. En Agroecología y Desarrollo Rural Sostenible."
- García-Legaz, M. and C. Vacer (2003). "Riesgos climáticos e impacto ambiental." Editorial Complutense de Madrid.
- Hans-Martin, F. and R. J. T. Klein (2002). Evaluaciones de Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: una evolución del pensamiento conceptual. PNUD. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Un enfoque de manejo de riesgo climático para la reducción de desastres y adaptación al cambio climático., La Habana.
- Hoffmann, O. and E. Velázquez (1993). Sistemas de producción e historia: una propuesta para el análisis regional. Enfoques de sistemas, perspectivas disciplinarias y desarrollo agrícola. Veracruz, México, ORSTOM/CONACYT/C.P.
- IIVT, I. I. V. T. and A. C. T. A. F. ACTAF (2007). INSTRUCTIVO TÉCNICO DEL CULTIVO DEL BONIATO. Primera edición.
- ISO (1993). Statistics-Vocabulary and Symbols. Part 1: Probability and general statistical terms.
- Izquierdo, J. (2010). "Modelos Estadísticos del Riesgo y Riesgo de los Modelos Estadísticos: del error a la imprudencia en la modelización econométrica del riesgo financiero." Tomado de www.uned.es. Mayo 2011.
- Julián, J. A. M. (2008). Guía metodológica para el análisis de riesgo La Habana. Cuba, Universidad de las Ciencias Informáticas. **Trabajo de Diploma**.
- Koller, G. (2000). Risk modeling for determining value and decision making, Chapman and Hall/CRC.
- Komorowski, J., L. Polkowski, et al. (1998). Rough Sets: A Tutorial.
- Labatut, G., R. Molina, et al. (2005). La utilización de los métodos de calificación interna para el cálculo del Riesgo de Crédito en el marco de Basilea II. R. V. E. H. N.-. I/2005, Universidad de Valencia.
- Laplante, P. A. and C. J. Neill (2005). "Modeling uncertainty in software engineering using rough sets. Innovations Syst Softw Eng." Springer-Verlag Volumen 1: pp 71–78.
- Lichilín, Y. and Y. Rodríguez (2008). Propuesta de un Sistema de Información para el Control Interno. La Habana. Cuba, Universidad de las Ciencias Informáticas. **Trabajo de Diploma**.

-
- Marcos, E. (1997). MIMO: Propuesta de un Metamodelo de Objetos y su Aplicación al Diseño de Bases de Datos. Madrid. España, Facultad de Informática. Universidad Politécnica de Madrid. **Tesis Doctoral**.
- Martínez, I. G., R. E. B. Pérez, et al. (2002). "Un sistema basado en casos para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre."
- Martínez, O. (2007). Intervención sobre temas del plan y presupuesto de la economía nacional en la Asamblea Nacional del Poder Popular. Periódico Granma. Ciudad Habana. Cuba.
- Martínez, R. G. (2002). "Algoritmos TDIDT aplicados a la minería de datos inteligentes." Revista del Instituto Tecnológico de Buenos Aires **Volumen 26**: pp 39-57.
- Mendoza, Y. P. (2009). Propuesta de técnicas de apoyo a las decisiones para la gestión de riesgos. La Habana. Cuba, Universidad de las Ciencias Informáticas. **Trabajo de Diploma**.
- Moraga, C. (2005). "Lenguajes Formales Borrosos." ÁGORA **Volumen 24**: ISSN 0211-6642. pp 75-95.
- Pawlak, Z. (1991). Rough Sets -Theoretical Aspects of Reasoning About Data, Kluwer Academic. Dordrecht.
- Pawlak, Z. and A. Skowron (2007). "Rough sets: Some extensions." Information Sciences: pp 28-40.
- Project Management Institute (2004). Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos. Guía del PMBOK. Pennsylvania. EEUU.
- Rachev, S. T., S. V. Stoyanov, et al. (2008). Advanced Stochastic Models, Risk Assessment, and Portfolio Optimization. The Ideal Risk, Uncertainty, and Performance Measures. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-0-470-05316-4.
- Rissino, S. and G. Lambert-Torres (2009). Data Mining and Knowledge Discovery in Real Life Applications. Brasil.
- Rivera, C. A. G., L. R. B. Ayala, et al. (2004). "Investigación sobre los temas: Incertidumbre, Factores de la Incertidumbre, Razonamiento Aproximado y Razonamiento Inexacto."
- Rodríguez, M. C. M. T. and L. Y. Marrero (2008). "La estimación de las pérdidas agrícolas en condiciones de riesgo." (Tomado de <http://www.gestiopolis.com/economia/estimacion-de-perdidas-y-riesgos.htm> 20 de mayo 2011).
- Ruiz-Schulcloper, J. (2007). Clasificación de datos mezclados e incompletos. Revista Cubana de Ciencias Informáticas. **Volumen 1**: pp 4-17.
- Trujillo, G. (2009). El Riesgo Agroclimático ante los efectos de las variables meteorológicas en la producción papera de Güines. La Habana. Cuba, ISBN 978-959-7167-20-4.
- Valderá, N. F. (2011). INFLUENCIA DE LOS FACTORES AGROCLIMÁTICOS EN EL RENDIMIENTO DE PAPA Y BONIATO EN EL MUNICIPIO DE GÜINES. Facultad de Gestión de la Ciencia, la Tecnología y el Medio Ambiente. La Habana, Cuba, Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías

Aplicadas. **Tesina del Diplomado: Evaluación de riesgos ecológicos y climáticos impacto ambiental.**

- Vallez, M. and R. Pedraza-Jímenez (2007). "El Procesamiento del Lenguaje Natural en la Recuperación de Información Textual y áreas afines." **Volumen 5.**
- Vargas, M. J. S., J. A. G. Fana, et al. (2003). "Predicción de insolvencias con el método Rough Set."
- Véliz, Y. Z. and Y. R. Contanten (2007). "Tendencias actuales de la Gestion de Riesgos." Revista Ciencias.
- Winston, P. H. (1994). Inteligencia Artificial., Adison Wesley Publishing - Iberoamericana. Edición Tercera.
- Yao, Y. Y. (1996). "Two views of the theory of rough sets in finite universes." International Journal of Approximation Reasoning **Volumen 15**: pp 291-317.
- Zadeh, L. A. (1968). "Probability Measures of Fuzzy Events." Journal of Mathematical nalysis and Applications **Volumen 23**: Pág 421-427.
- Zadeh, L. A. (1994). Fuzzy logic, neural networks, and soft computing. Communications of the ACM. **Volume 37.**
- Zhu, P. (2011). "Covering rough sets based on neighborhoods: An approach without using neighborhoods." Tomado de www.arxiv.org/abs/0911.5394v2 10 de marzo del 2011.

Glosario de Términos

- **Aproximación alta:** Conjunto de objetos que posiblemente pertenecen a un subconjunto de interés.
- **Aproximación baja:** Conjunto de objetos que con certeza pertenecen a un subconjunto de interés.
- **Conjuntos Aproximados:** Se define como un par de conceptos precisos llamados aproximación alta y aproximación baja.
- **Conjuntos Rugosos (*Rough Set*):** Es una colección de objetos que, en general, no pueden ser clasificados de manera precisa en términos de los valores del conjunto de atributos.
- **Gestión de Riesgo:** Es un proceso de análisis, identificación, caracterización, estudios y control de los disimiles riesgos vinculados a un territorio, institución o actividad.
- **Incertidumbre:** Significa duda o indecisión pues no se conoce la suficiente información como para tomar una decisión que pueda resultar positiva.
- **Metamodelo:** Modelo de información que contiene las entidades abstractas necesarias para describir el conjunto de conceptos, relaciones y reglas en diversos dominios del conocimiento asociados a un problema real.
- **Reducción de Atributos:** Es lograda por la comparación de las clases equivalentes generadas por un **Conjunto de atributos**. Los atributos son eliminados de tal forma que el conjunto de atributos contenga la misma calidad de clasificación que la original.
- **Regla de decisión:** Una regla de decisión puede expresarse como una sentencia lógica, que relaciona la descripción de condiciones y las clases de decisión.
- **Relación de indiscernibilidad:** Es considerada como una relación entre dos o más objetos, donde todos los valores son idénticos en relación a un subconjunto de atributos considerados.
- **Riesgo Agrícola:** Es el conjunto de eventos adversos potenciales que afectan a este sector.

- **Sistema de Información:** Conjunto de procesos operando sobre una colección de datos, estructurados de acuerdo con las necesidades de una organización, que recopilan, elaboran y distribuyen la información necesaria para las actividades de dicha organización.

Anexos

Anexo 1. Riesgos identificados por cada tipo de sistema.

Sistema de recursos
1. Suelo
1.1 Tipo de suelo
1.2 Propiedades físicas
1.2.1 Profundidad
1.2.2 Porosidad
1.2.3 Textura
1.3 Propiedades químicas
1.3.1 PH
1.3.2 Salinidad
1.3.3 Disponibilidad de nutrientes
1.4 Degradación de los suelos
1.4.1 Antrópica o natural
1.4.2 Erosión hídrica
1.4.3 Compactación
1.4.4 Contaminación
1.4.5 Otros
1.4.5.1 Actividad minera
1.4.5.2 Sobre pastoreo
1.4.5.3 Incendios forestales
1.4.5.4 Poca vegetación
2. Agua
2.1 Disponibilidad
2.2 Contaminación

2.2.1 Radioactividad
2.2.2 Fertilizantes
2.2.3 Plaguicidas y pesticidas
2.2.4 Metales
3. Recursos Humanos
1.1 Edad
1.2 Sexo
1.3 Nivel escolar
1.4 Experiencia de trabajo

Anexo 1 Riesgos identificados por cada tipo de sistema

Anexo 2. Descripción del modelo de información.

Entidades
dominio (agrícola)
entidad (Peligro)
entidad (Categoría)
entidad (Riesgo)
entidad (Vulnerabilidad)
entidad (Entidad Agrícola)
entidad (SistemaRecursos)
entidad (SistemaApoyo)
entidad (SistemaCultivo)
entidad (PreparacionTierra)
entidad (Siembra)
entidad (ActCultural)
entidad (Cosecha)
relación (tiene)
relación (afecta_a)

relación (pueden_ser)
relación (expuesta_a)
relación (tiene_un)
relación (apoya_al)
atributo (categoría, string)
atributo (tecnológico, string)
atributo (nombre, string)
atributo (ubicación, string)
atributo (listaActividades, string)
atributo (agro-meteorológicos, string)
atributo (organizacionales, string)
Relaciones
tiene_relación (tiene, agrícola)
tiene_relación (afecta_a, agrícola)
tiene_relación (pueden_ser, agrícola)
tiene_relación (expuesta_a, agrícola)
tiene_relación (tiene_un, agrícola)
tiene_relación (apoya_al, agrícola)
tiene_atributo (nombre, entidad agrícola)
tiene_atributo (categoría, peligro)
tiene_atributo (ubicación, entidad agrícola)
tiene_atributo (agro-meteorológicos, categoría)
tiene_atributo (tecnológicos, categoría)
tiene_atributo (organizacionales, categoría)
tiene_atributo (listaActividades, preparaciontierra)
tiene_atributo (listaActividades, siembra)
tiene_atributo (listaActividades, actcultural)

tiene_atributo (listaActividades, cosecha)
tiene_entidad (peligro, agrícola)
tiene_entidad (riesgo, agrícola)
tiene_entidad (categoría, agrícola)
tiene_entidad (entidad agrícola, agrícola)
tiene_entidad (vulnerabilidades, agrícola)
tiene_entidad (sistemarecursos, agrícola)
tiene_entidad (sistemaapoyo, agrícola)
tiene_entidad (sistemacultivo, agrícola)
tiene_entidad (preparaciontierra, agrícola)
tiene_entidad (siembra, agrícola)
tiene_entidad (actcultural, agrícola)
tiene_entidad (cosecha, agrícola)
relación_binaria (tiene, categoría, peligro)
relación_binaria (pueden_ser, categoría, riesgo)
relación_binaria (tiene, categoría, vulnerabilidades)
relación_binaria (tiene, vulnerabilidades, entidad agrícola)
relación_binaria (expuesta_a, riesgo, entidad agrícola)
relación_binaria (afecta_a, entidad agrícola, peligro)
relación_binaria (tiene_un, sistemaapoyo, entidad agrícola)
relación_binaria (tiene_un, sistemacultivo, entidad agrícola)
relación_binaria (tiene_un, sistemarecursos, entidad agrícola)
relación_binaria (apoya_al, sistemacultivo, sistemarecursos)
relación_binaria (apoya_al, sistemacultivo, sistemaapoyo)
relación_binaria (tiene, preparaciontierra, sistemacultivo)
relación_binaria (tiene, siembra, sistemacultivo)
relación_binaria (tiene, actcultural, sistemacultivo)

relación_binaria (tiene, cosecha, sistemacultivo)

Anexo 2 Descripción del modelo de información

Anexo 3. Relación de parcelas ubicadas en diferentes lugares del país, sobre los cuales los expertos opinaron.

X1: Güira de Melena
X2: Batabanó
X3: Güines
X4: Melena del Sur
X5: Tapaste
X6: Bainoa
X7: Bauta
X8: Casa Blanca
X9: Santiago de las Vegas

Anexo 3 Relación de parcelas ubicadas en diferentes lugares del país, sobre los cuales los expertos opinaron

Anexo 4. Sistema de información de la etapa de Siembra.

Parcelas/Act	Partir el surco	Plantación	Tape del surco	Vulnerabilidad
X1	Profundo	Si	No	No
X2	Profundo	No	Si	Si
X3	Poco Profundo	Si	Si	Si
X4	Profundo	Si	No	Si
X5	Poco Profundo	No	Si	Si
X6	Poco Profundo	Si	No	Si
X7	Profundo	Si	Si	No
X8	Poco Profundo	No	No	Si
X9	Profundo	Si	No	No

Anexo 4 Sistema de Información de la etapa de Siembra

Anexo 4. Sistema de información de la etapa de Atención Cultural.

Parcelas/ Act	Riego	Aplicación Gesagar	Aporque	Fertilizar FC	Limpia de Narigón	Vulnerabilidad
X1	Si	Aplicado	Si	No Aplicado	Si	No
X2	No	No Aplicado	Si	No Aplicado	No	Si
X3	Si	Aplicado	No	Aplicado	No	Si
X4	No	Aplicado	Si	No Aplicado	Si	No
X5	No	No Aplicado	No	Aplicado	Si	No
X6	Si	Aplicado	Si	Aplicado	Si	Si
X7	No	Aplicado	Si	No Aplicado	Si	Si
X8	No	No Aplicado	No	Aplicado	No	Si
X9	Si	No Aplicado	No	No Aplicado	Si	No

Anexo 5 Sistema de Información de la etapa de Atención Cultural

Anexo 5. Sistema de información de la etapa de Cosecha.

Parcelas/Act	Extracción	Separación de raíces	Envasado	Transporte de raíces	Vulnerabilidad
X1	Oportuna	No	No	Con retraso	Si
X2	No oportuna	Si	No	Sin retraso	Si
X3	No oportuna	Si	No	Sin retraso	No
X4	No oportuna	No	No	Sin retraso	Si
X5	Oportuna	Si	Si	Con retraso	No
X6	No oportuna	Si	Si	Sin retraso	Si
X7	Oportuna	Si	Si	Con retraso	No
X8	Oportuna	Si	No	Con retraso	No
X9	No oportuna	No	Si	Sin retraso	Si

Anexo 6 Sistema de Información de la etapa de Cosecha