

# Inteligencia Artificial en el Sector Agropecuario

Bustos M. José Ricardo

**Abstract—** This Work shows a global vision of the use Artificial Intelligence's techniques in the Agricultural sector, showing investigation lines that had worked until nowadays, and advances in the last five years.

**Index Terms—**Agriculture, Artificial intelligence

## I. INTRODUCCIÓN

PARA el año 2020 la población mundial alcanzará 8 mil millones de habitantes. El papel de la agricultura por lo tanto ha llegado a ser cada vez más crucial en la provisión de alimentos, el manejo ambiental y el abastecimiento de energía. La naturaleza intrínsecamente compleja, dinámica, y no lineal de los sistemas agropecuarios ha requerido siempre las soluciones basadas en técnicas y tecnologías avanzadas, para proporcionar mayor exactitud, una mayor comprensión y soluciones apropiadas. El uso de la inteligencia artificial (visión computacional, robótica y control, sistemas expertos, sistemas de ayuda de decisión, etc.) y otras técnicas prometedoras de la inteligencia artificial (redes neuronales, lógica difusa, algoritmos genéticos, y bioinformática) de proporcionar soluciones a los problemas en sistemas agrícolas complejos de manera eficaz. Adicionalmente la promoción de estas tecnologías, así como una disminución de costos está promoviendo las investigaciones en el uso de la IA (Inteligencia Artificial) de diversas formas en el sector agropecuario.

El presente documento presentará una exploración a las diferentes líneas de investigación o trabajo de la Inteligencia Artificial aplicada al sector agropecuario, así mismo se hará una revisión organizada de los trabajos realizados en los últimos 5 años. Inicialmente se hace una breve descripción de la Inteligencia Artificial resaltando su posible importancia, luego se dan unas pautas sobre diferentes técnicas y campos de la IA con el motivo de orientar a lectores que no se encuentren familiarizados con los términos, posteriormente se realiza la presentación de las diferentes aplicaciones de la IA clasificados por temas de acuerdo con los diferentes sectores productivos del campo agropecuario, finalmente se realiza una conclusión general acerca del texto y el tema en general.

Documento entregado el día Noviembre 22, 2005. Este trabajo fue realizado para la materia "Seminario de Investigación I" ofrecida por el programa de Maestría en Ingeniería-Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Colombia.

J. R. Bustos M., Ingeniero Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Colombia, Candidato a Magíster en Ingeniería-Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Colombia (e-mail: jrbustosm@unal.edu.co; web site: <http://espanol.geocities.com/ricardoemilheroe/>)

## II. NOCIONES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Se puede definir la IA como la ciencia que tiene por objetivo el diseño y construcción de máquinas capaces de imitar el comportamiento inteligente de las personas.

Puede decirse que es una de las áreas más fascinantes y con más retos de las ciencias de la computación. Nació en la década de los 50 como un estudio filosófico de la inteligencia que buscaba imitar la inteligencia humana, tuvo una gran acogida en la década de los 60 (periodo romántico), en la década de los 70 y 80 se realizaron las primeras aplicaciones comerciales que aplicaban la IA dando creación a los Sistemas expertos, en este periodo surgieron a flote las limitaciones de los sistemas con IA por lo que hubo un periodo de decepción, a partir de la década de los 90 se conoce como la era moderna. Actualmente se esta en una etapa de redefinición donde se da prioridad a la comprensión de la Inteligencia Humana, existe un auge por el redescubrimiento de la Redes Neuronales, Sistemas Expertos y la Lógica Difusa, y el surgimiento de nuevas aplicaciones como la Minería de Datos, Computación Evolutiva y los Sistemas Multi-agentes.

## III. TÉCNICAS Y CAMPOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

### A. Aprendizaje Automático (*Machine Learning*)

El Aprendizaje Automático es una rama de la IA cuyo objetivo es desarrollar técnicas que permitan a las computadoras aprender. Una máquina es un sistema organizado capaz de transformar un cierto mensaje de entrada en otro de salida, de acuerdo con algún principio de transformación. Si tal principio está sujeto a cierto criterio de validez de funcionamiento, y si el método de transformación se ajusta a fin de que tienda a mejorar el funcionamiento del sistema de acuerdo con este criterio, se dice que el sistema aprende.

### B. Ingeniería del conocimiento (*Knowledge Engineering*)

El objetivo de la ingeniería del conocimiento consiste en analizar los métodos de aprendizaje y aplicarlos sobre computadores de forma que sea posible desarrollar un sistema capaz de aprender por si mismo, radica en extraer el conocimiento de los expertos humanos y en codificar el conocimiento de manera que pueda ser procesado por un sistema.

### C. Lógica difusa (*Fuzzy Logic*)

La lógica difusa es un tipo de lógica multi-valuada la cual incluye sistemas lógicos que admiten varios posibles valores de verdad, se caracteriza por querer cuantificar la siguiente incertidumbre: Si P es una proposición, se le puede asociar

un valor de verdad  $v(P)$  en el intervalo  $[0,1]$  tal que:

si  $v(P) = 0$ ,  $P$  es falso  
 si  $v(P) = 1$ ,  $P$  es verdadero (1)

La lógica difusa es entonces definida como un sistema matemático que modela funciones no lineales, que convierte unas entradas en salidas acordes con los planteamientos lógicos que usan razonamiento aproximado permitiendo al sistema comportarse menos precisa y lógicamente que los sistemas tradicionales.

#### D. Redes neuronales artificiales (*Artificial Neural Networks*)

Las redes de neuronales artificiales (RNA) son programas de aprendizaje y procesamiento automático inspirados en la forma en que funciona el sistema nervioso de los seres vivos. Consiste en simular las propiedades observadas en los sistemas neuronales biológicos a través de modelos matemáticos recreados mediante mecanismos artificiales (como un circuito integrado, un ordenador o un conjunto de válvulas).

#### E. Sistemas multi agente (*Multi Agent Systems*) o *Inteligencia Artificial Distribuida*

Un sistema multi agente es un sistema distribuido en el cual los nodos o elementos son sistemas de inteligencia artificial, o bien un sistema distribuido donde la conducta combinada de dichos elementos produce un resultado en conjunto inteligente.

#### F. Razonamiento basado en casos (*Case-Based Reasoning*)

El razonamiento basado en casos es el campo de la IA que se busca dar soluciones basándose en problemas similares ocurridos en el pasado, que se denominan casos, para encontrar soluciones a los mismos, modificar soluciones existentes y explicar situaciones anómalas. Los sistemas de razonamiento basado en casos son capaces de utilizar conocimiento específico de experiencias previas para resolver un problema. Capturan las características de dicho problema, buscan casos históricos con valores similares para dichas características, analizan las soluciones de estos casos y proponen una solución al problema, y finalmente aprenden del problema actual para problemas futuros.

#### G. Sistemas expertos (*Expert Systems*)

Los Sistemas Expertos son programas que imitan el comportamiento de un experto humano, manipulando conocimiento codificado para resolver problemas en un dominio especializado con el fin de dar solución a un problema en un dominio concreto mediante deducción lógica de conclusiones.

#### H. Redes Bayesianas (*Bayesian Networks*)

Las redes Bayesianas o probabilísticas son una representación gráfica de dependencias para razonamiento probabilístico en sistemas expertos, consta de dos componentes. El primero de ellos, más cualitativo, está

representado por un grafo acíclico dirigido  $G = (V,E)$  donde los nodos (el conjunto finito  $V$ ) son variables aleatorias del problema, y los arcos ( $E \subset V \times V$ ) indican relaciones entre variables. El segundo de ellos, cuantitativo, se trata de un conjunto de distribuciones de probabilidad condicionadas (una por nodo) donde la distribución en cada nodo está condicionada al posible valor de cada uno de los padres.

#### I. Vida artificial (*Artificial Life*)

La vida artificial es el estudio de la vida y de los sistemas artificiales que exhiben la conducta característica de los seres vivos a través de modelos de simulación, pretendiendo reproducir los procesos y comportamientos típicos con el objetivo de resolver problemas.

#### J. Computación evolutiva (*Evolutionary Computation*)

La computación evolutiva retoma conceptos de la naturaleza, la evolución y la genética para resolver problemas de computación. Esta rama de la IA tiene sus raíces en tres desarrollos relacionados pero independientes entre sí:

1) *Algoritmos Genéticos*: Estos algoritmos hacen evolucionar una población de individuos sometiendo a acciones aleatorias semejantes a las que actúan en la evolución biológica (mutaciones y recombinación genética), así como también a una selección de acuerdo con algún criterio, en función del cual se decide cuáles son los individuos más adaptados, que sobreviven y cuáles los menos aptos que son descartados.

2) *Estrategias Evolutivas*: son métodos computacionales que trabajan con una población de individuos que mediante los procesos de mutación y de recombinación, y usando técnicas de selección (probabilista o determinista) elimina las peores soluciones de la población, evolucionando para alcanzar el óptimo de la función objetivo.

3) *Programación Evolutiva*: es una variación de las estrategias evolutivas, sólo que no usa técnicas de recombinación y mutación para hallar la solución.

#### K. Minería de datos (*Data Mining*)

También conocido como KDD (Knowledge Discovery in Databases) se puede definir como "extracción no trivial de información implícita, desconocida previamente, y potencialmente útil desde los datos", y consiste en el conjunto de técnicas avanzadas para la extracción de información escondida en grandes bases de datos.

## IV. APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA AGRICULTURA

Actualmente se realizan diversos esfuerzos a nivel mundial para poder aplicar los conocimientos en IA para el sector agropecuario, dando lugar a diversas conferencias periódicas entre las que se pueden citar el "World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources", "International Workshop on Artificial Intelligence in Agriculture", "EFITA Congresses: European Federation for Information Technology in Agriculture", así mismo se han creado diversos Journals con el objetivo principal de divulgar las investigaciones acerca de este tema, entre los más importantes se pueden citar, "Agricultural Systems",

“Computers and Electronics in Agriculture“, “Biosystems”, “Biosystems Engineering”.

Algunas de las aplicaciones que usan IA en la agricultura, son las siguientes:

A. Ingeniería de Poscosecha

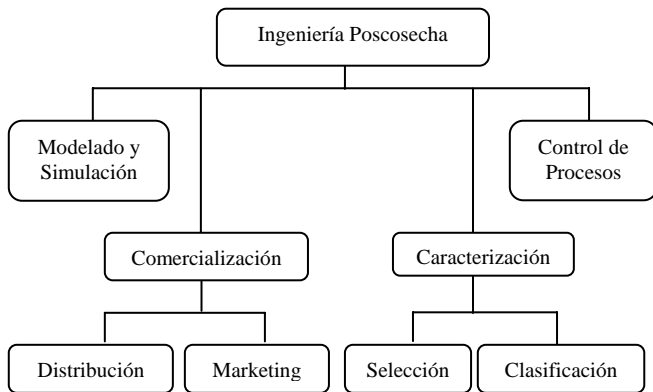


Fig. 1. Líneas de Trabajo en Ingeniería de Poscosecha

La aplicación de la IA para el modelado y la simulación de procesos industriales y fisiológicos de productos agropecuarios es un campo que se está empezando a abordar en la actualidad, algunos de los trabajos realizados en esta área son un modelo de control de predicción para procesos industriales de evaporación por medio de redes neuronales [11], una red neuronal topológica para el modelado de secado de granos [30], Modelado y optimización de temperatura en procesos térmicos usando redes neuronales y algoritmos genéticos [16], una simulación de daños a Melocotones en una línea de transporte [15], y una simulación de un proceso de secado de *Echinacea Angustifolia* con redes neuronales [26].

Las aplicaciones de la IA en la comercialización de productos agropecuarios es un campo con poco trabajo, para la distribución de alimentos se tiene reportado el desarrollo de solamente un sistema experto prototipo [75], para el mercadeo de productos agropecuarios se pueden mencionar, un sistema que pronostica series de tiempo de ventas para productos perecederos usando redes neuronales y computación evolutiva [23], un sistema multi agente para el apoyo de negociaciones en la comercialización de granos [36].

La utilización de la IA para la caracterización de productos agropecuarios es uno de los campos con mayor trabajo debido a su gran importancia, para la selección y clasificación de productos se pueden mencionar los siguientes trabajos; un sistema de clasificación de Manzanas por tamaño que usa redes Bayesianas, redes neuronales y lógica difusa [72], un sistema para la clasificación de carnes en el Reino Unido mediante el uso de luminosidad y tres diferentes algoritmos de IA [20], un sistema de inspección automática de calidad de arroz de acuerdo al contenido de proteína mediante el uso de técnicas de visión computacional [46], un sistema para la clasificación de Manzanas por medio de su consistencia usando diferentes algoritmos de clasificación como por ejemplo redes

neuronales [54], la autenticación de jugos fermentados de uvas blancas por medio de sensores de aroma, Transformadas de Fourier (IR) y espectrometría (UV) usando algoritmos genéticos, sistemas expertos y clasificación multi variable [67], una revisión de las diferentes aplicaciones de sistemas de visión de computadora por medio de tomografía para evaluar propiedades físicas de la comida [1], una base de datos de propiedades físicas de materiales provenientes del sector agropecuario como apoyo a sistemas inteligentes basados en casos [57], una revisión de literatura de técnicas de aprendizaje usadas para el uso de visión de computadora para la evaluación de calidad de comida [24].

El uso de la inteligencia artificial en el control de procesos es amplio, sin embargo en los últimos años no se ha venido realizando una gran cantidad de esfuerzo por lo que se reportan muy pocos trabajos entre los que se puede mencionar, un sistema de razonamiento cualitativo para la administración integrada de la calidad en procesos de almacenamiento de grano mediante el uso de sistemas expertos [33], un sistema de monitorización de calidad de leche usando espectroscopia infrarroja [73].

B. Control Ambiental

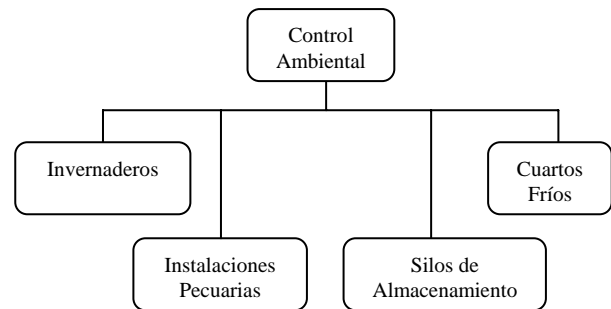


Fig. 2. Líneas de Trabajo en Control Ambiental

En la actualidad la IA a obtenido uno de sus mayores impulsos en el sector agropecuario con el manejo de ambientes, y es en estructuras tipo invernadero donde mayor auge se ha presentado, entre los trabajos que se pueden mencionar encontramos diversos esfuerzos que tratan de realizar un control ambiental no lineal con retroalimentación mediante el uso de diferentes técnicas de Inteligencia Artificial [60] [77] [52].

En cuanto a aplicaciones de IA para el control climático de instalaciones pecuarias a sido mas bien poco el desarrollo reportándose pocos trabajos en el área, en los últimos años se pueden mencionar, el desarrollo de animales virtuales para el diseño y evaluación de sistemas de control climático [3], un sistema de control de ventilación natural para instalaciones porcícolas que usa técnicas de Inteligencia Artificial [18].

Las investigaciones para el control ambiental de silos de almacenamiento en los últimos años no han sido numerosas, y se puede señalar, un sistema de control ambiental para el almacenamiento de papa usando controladores con lógica difusa [37].

El control ambiental de cuartos fríos o con atmósferas

modificadas es un área con poco estudio y no se reportan trabajos en los últimos años, en años anteriores al año 2000 se puede nombrar por ejemplo un sistema de control para el almacenamiento de papa en un cuarto frío (Marchant & Davies, 1994).

C. *Maquinaria y Mecanización Agrícola*

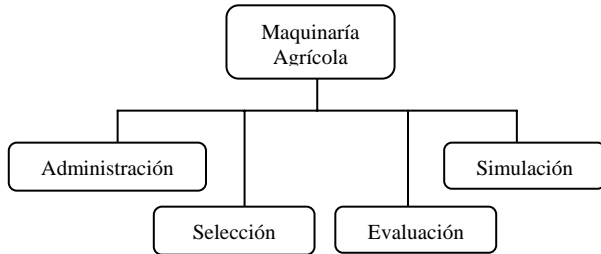


Fig. 3. Líneas de Trabajo en Maquinaria y Mecanización Agrícola

El uso de técnicas de IA en la administración de maquinaria agrícola no ha tenido auge en los últimos años, sin embargo se pueden nombrar para años anteriores al año 2000, un sistema experto para el soporte de decisiones en la administración de maquinaria agrícola (Lal et al, 1992) y un sistema basado en conocimiento para el diseño y mantenimiento de maquinaria agrícola (Kusz & Marciniak, 1995).

Para la selección de maquinaria agrícola se han desarrollado en los últimos años diversos sistemas expertos, en época mas reciente se puede mencionar, un sistema basado en conocimiento para la selección de juntas en maquinarias de tipo agrícola [19].

La evaluación de maquinaria agrícola por medio de técnicas de IA para los últimos años no se reporta ningún trabajo, sin embargo se puede señalar para los años antes del 2000, un sistema experto para el diagnóstico del sistema hidráulico en un tractor John Deere serie 50 (Gaultney, Harlow & Ooms, 1989), un sistema inteligente de diagnóstico para maquinaria agrícola (Roger, 1995).

Para la simulación de Maquinaria y Mecanización agrícola En años recientes se puede nombrar, un sistema de predicción de carga en cosechadoras combinadas usando algoritmos genéticos [44], en años anteriores al 2000 se puede mencionar un sistema experto que analiza y simula operaciones en campo de maquinaria agrícola (Lal et al, 1991).

D. *Ingeniería de Riegos*

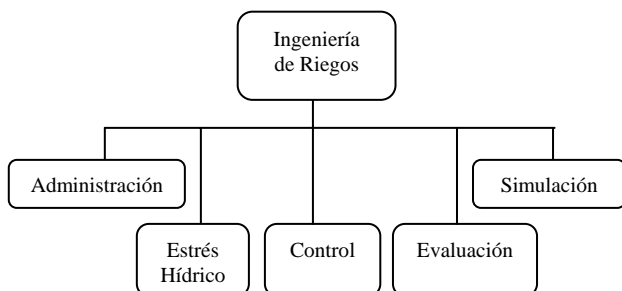


Fig. 4. Líneas de Trabajo en Ingeniería de Riegos

Las técnicas de IA para la administración de sistemas de riego han sido ampliamente usadas, logrando su mayor impulso con los sistemas expertos. Entre los trabajos realizados últimamente podemos señalar, un sistema de toma de decisiones para optimizar la programación de riego usando propiedades bio-físicas del sistema [13], un sistema para la adquisición automática de conocimiento para sistemas expertos dedicados a la irrigación y fertilización [63], un método de división jerárquica para optimización de estrategias para la irrigación de cultivos [14], un sistema experto para la configuración de la programación de riego basado en investigación de operaciones [43], una herramienta especializada en la construcción de sistemas expertos para irrigación [71].

Una de las aplicaciones más interesantes de la IA en el área de la Ingeniería de Riegos es la determinación del estrés hídrico de un cultivo, entre los trabajos realizados en los últimos años se puede nombrar, un sistema de visión de máquina para indicar el nivel de estrés hídrico de un cultivo de Tomate [27].

En los últimos años no se reporta ningún trabajo sobre control de sistemas de riego por medio del uso de la IA, para años anteriores al 2000 se realizó un sistema experto para el control de componentes (Jacucci et al, 1995), un trabajo sobre algoritmos genéticos para la optimización de sistemas de irrigación (Yuming, Ping & Fanlun, 1995).

El campo de la evaluación de sistemas de riego por medio de técnicas de IA es un área resiente de investigación reportándose en los últimos años los únicos trabajos, entre los cuales se puede mencionar un sistema para la detección de fallas y diagnóstico de un sistema hidropónico usando redes neuronales y algoritmos genéticos [31] [32].

El uso de técnicas de IA para la simulación de sistemas de irrigación no ha sido muy extendido, reportándose solamente un trabajo en este campo en los últimos años en el cual realizan una simulación con multi agentes para determinar la viabilidad de un distrito de riego en Senegal [9].

E. *Producción Vegetal*

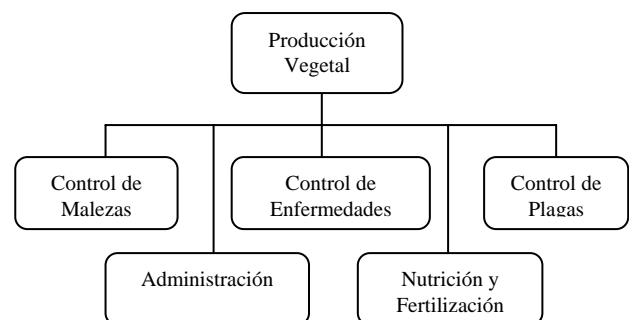


Fig. 5. Líneas de Trabajo en Producción Vegetal

La utilización de tecnologías basadas en IA como soporte en las diferentes labores de sistemas de producción vegetal ha sido de amplia utilización, y es en esta área donde se han centrado la mayor parte de esfuerzos.

El uso de IA para el control de malezas, enfermedades y

plagas en los últimos años ha tenido gran acogida debido a su importancia económica y ambiental, entre los trabajos realizados en los últimos años para el control de malezas se pueden mencionar, un sistema para discriminar las malezas del cultivo con imágenes por medio de redes neuronales [5], una clasificación de datos hiper espectrales por medio de árboles de decisión y redes neuronales para la determinación del estrés ocasionado por malezas al Maíz [36], un sistema experto para el control y manejo de malezas en Irán [6], una plataforma robótica autónoma para el descubrimiento de malezas en un cultivo el cual usa un sistema de control reactivo con retroalimentación [8].

En el control de enfermedades de cultivos se pueden nombrar, un sistema para la detección y diferenciación de champiñones enfermos por medio del color [83], un sistema experto para el diagnóstico de enfermedades en cultivos [34].

Para el control de plagas los trabajos realizados han sido variados, se puede destacar, un sistema experto para la determinación del riesgo de infestación de Polilla Gitana [62], una simulación del movimiento de insectos con respecto a la arquitectura y morfo génesis de la planta [39], una revisión de literatura de las técnicas potenciales y existentes para el modelado del movimiento de los insectos [66], un sistema de control ambiental para un invernadero con el objetivo del manejo integral de plagas [77], un sistema para manejo de bases de datos de plagas, plaguicidas y datos ambientales mediante el uso de minería de datos [4], y un sistema experto para el diagnóstico de la infestación de plagas [34].

En el campo de administración de sistemas de producción vegetal las técnicas de IA han sido ampliamente usadas y se reporta una gran cantidad de trabajos, entre los que se pueden mencionar, un sistema multi agente para la selección óptima de híbridos para el cultivo del Maíz [7], un sistema experto para la administración eficiente de invernaderos por medio de la integración de diferentes técnicas de bajo y alto nivel (lógica difusa, sistemas basado en conocimiento y control proporcional-integral-derivativo) [74], una base de datos orientada a objetos para el manejo de información de empresas agrícolas [10], una herramienta para simular la distribución de tecnología y recursos usando modelos espaciales basados en agentes [12], un sistema de ayuda en la toma de decisiones en la industria algodonera [40], un sistema para planear la administración del cultivo del Trigo en invierno [51], un artículo de revisión sobre apoyo de decisiones, aprendizaje y administración de recursos rurales [84], un sistema experto para el cultivo de Trigo que usa un acercamiento con múltiples subsistemas [25], la construcción de un modelo genérico de diagnóstico para un dominio agrícola [2], el desarrollo un sistema de apoyo de decisiones para la producción integrada en el sector agrícola [61], una revisión sobre agentes racionales y su aplicación en tareas adaptables y planeación de movimientos en cultivos agrícolas [65], el desarrollo de metodologías para la optimización de sistemas para la toma de decisiones en el desarrollo de un cultivo mediante un acercamiento ontológico [85], el estudio e implementación de sistema

experto en una plantación de Tomate bajo invernadero donde fabrican un modelo virtual del cultivo [22], una metodología para integrar los múltiples componentes en un sistema de apoyo de decisiones [58], un estudio de comparación de técnicas adaptables para la predicción de cosecha respecto a diferentes tipos de suelo y diferentes labores de mecanización [59], una revisión de técnicas de administración del conocimiento basados en indicadores para sistemas de tomas de decisiones [79], una exploración sobre la administración de conocimiento en la industria forestal [82].

La utilización de la IA en el diagnóstico y aplicación de fertilizantes es extensa, entre los trabajos mas recientes se pueden nombrar, una optimización de fertilizaciones nitrogenadas usando árboles de decisión para cultivos de Maíz [49], un sistema para la clasificación de datos hiper espectrales usando redes neuronales y árboles de decisión para determinar el estado de nitrógeno en un cultivo de Maíz [36], una aproximación mediante técnicas híbridas de IA para la optimización del nitrógeno en el cultivo de Lechuga [50].

#### F. Producción Animal

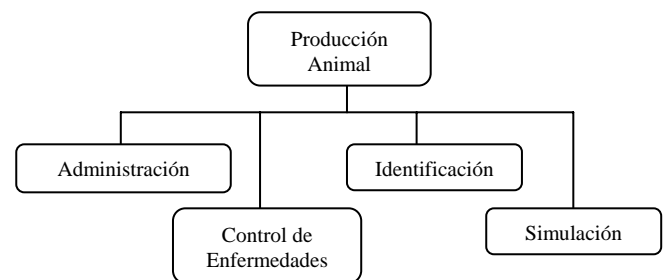


Fig. 6. Líneas de Trabajo en Producción Animal

En el área de la producción animal el uso de sistemas que usan la IA ha sido hasta la fecha escaso en comparación con los trabajos realizados en producción vegetal, sin embargo en el campo de la administración de recursos se puede mencionar, una revisión de literatura acerca de control y aplicación de técnicas de IA en la producción acuícola [48], en años anteriores al 2000 se reportan múltiples sistemas expertos para la administración de producciones pecuarias (Kerr et al, 1999) (Lokhorst, 1995) (Hennen & Kolen, 1995).

Un área de trabajo reciente es el control y diagnóstico de enfermedades, gracias a su importancia económica y social este campo puede tener una mayor dedicación de esfuerzos en los próximos años, en los años recientes los trabajos que se pueden nombrar son; un sistema experto para diagnosticar enfermedades en producciones de anguilas [38], trabajos anteriores al año 2000 tratan el diagnóstico de estrés en ganadería (Mitchell et al, 1996) (Scholten et al, 1995), el diagnóstico de mastitis en vacas de ordeños (Nielen et al, 1995) (Hogeveen et al, 1995) (Helad et al, 1995), adicionalmente del desarrollo de sistemas expertos para el diagnóstico y control de enfermedades (Jalvingh et al, 1995) (Enting et al, 1995).

El campo de la identificación es un área de investigación

inexplorada donde sólo se reporta un trabajo el cual usa redes Bayesianas para determinar el parentesco y grupo sanguíneo en ganado vacuno (Rasmussen, 1995).

Un campo interesante y con poco trabajo es la simulación del comportamiento de animales y su fisiología, donde sólo se reporta un trabajo en el cual se desarrollaron animales virtuales como ayuda para la evaluación y diseño de sistemas de control ambiental [3].

### G. Modelado y Simulación

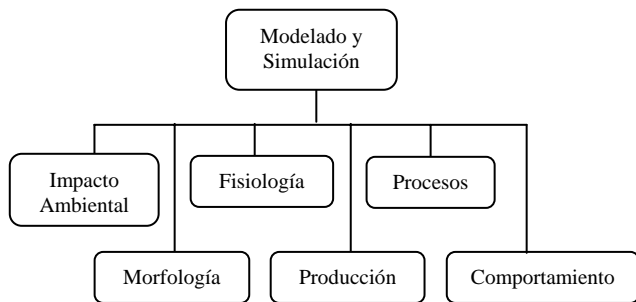


Fig. 7. Líneas de Trabajo en Modelado y Simulación

La aplicación de la IA para el modelado y la simulación de sistemas agropecuarios e industriales es un área de investigación donde se han centrado medianamente esfuerzos, en el campo del modelado de impacto ambiental se puede referenciar, el modelado de sistemas agroecológicos mediante el uso de agentes [68], y el uso de redes neuronales para el modelado de los mismos (Schultz, Baumann & wienland, 1995) (Schultz & wienland, 1997) (de la Rosa et al, 1999), la simulación y análisis de escenarios para establecer impactos ambientales [80], adicionalmente diferentes sistemas de toma de decisión para evaluar impactos ambientales (Sinclair & Walter, 1998) (Howells, Edwards & Morgan, 1998).

El modelado de la morfología de cultivos tiene una gran importancia para el diseño de equipos sin embargo en los últimos años no se presentan trabajos, entre las investigaciones realizadas antes del año 2000 se pueden señalar, un modelo de crecimiento de biomasa mediante una aproximación por redes neuronales (Jarmulak, Kerckhoffs & Rothkrantz, 1995), un modelo orientado a objetos del crecimiento de una planta (Hoshi & Fuse, 1995), la creación de un modelo 3D del canopi de una planta (Ivanov et al, 1995) y una revisión de literatura de los diferentes modelos morfológicos y sus implicaciones (Kurth, 1994).

La simulación y modelado de procesos fisiológicos es un área de trabajo muy reciente por lo que se reportan muy pocos trabajos, entre los que podemos nombrar, el modelado para predicción de la evapotranspiración de un cultivo [78], una revisión de modelos para simulación fisiológica y su reusabilidad (Top, Sloof & Akkermans, 1995).

El uso de la IA para la estimación de producción de un sistema agropecuario es un área de la cual se reportan bastantes trabajos en comparación a los otros campos del modelado, y es con los sistemas expertos donde la aplicación de la IA ha tenido mayor auge (Lal et al, 1991), (Wang et al, 1995), se han realizado diferentes

aproximaciones para el modelado de la cosecha de un cultivo (Hartog et al, 1995) (Plant, 1995), adicionalmente se han realizado dos estados del arte acerca de esta temática (Gary, Jones & Tchamitchian, 1998) (Lentz, 1998).

El uso de tecnologías que operan bajo las nociones de la IA para el control de procesos es un campo que día a día va tomando liderazgo, entre los trabajos mas recientes se pueden destacar, una red neuronal para el control de procesos de evaporación [11], una red neuronal topológica para el secado de granos [30], el control de temperaturas en procesos térmicos mediante el uso de redes neuronales [16], la simulación mediante IA de procesos en una planta de Malta (López et al, 1995), y un modelo para el diagnóstico de daños mecánicos ocasionados a Melocotones en una línea de producción [15].

Con el descubrimiento de nuevas técnicas de IA ha aparecido el área de la vida artificial y con esto se han realizado diversos esfuerzos para modelar el comportamiento de animales, entre estos esfuerzos se pueden señalar, el desarrollo de animales virtuales como ayuda para la evaluación y diseño de sistemas de control ambiental [3], y la simulación del movimiento de insectos en cultivos y plantas [39] [66].

### V. CONCLUSIÓN

La aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial en el sector agrícola es un área de investigación y desarrollo donde se han realizado una gran cantidad de esfuerzos, sin embargo aun hay muchas líneas de investigación que se pueden abordar para dar solución a problemas complejos que necesitan las habilidades de expertos.

### RECONOCIMIENTOS

Este trabajo se realizo con la colaboración de diferentes personas, entre ellas: Ing. Fabio González Ph.D. profesor titular del departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial, quien dirigió la elaboración del presente texto; Ing. Edwin Andrés Bernal candidato a Magíster en Ingeniería – Ingeniería de Sistemas y Computación, quien reviso el presente texto y sugirió correcciones.

### REFERENCIAS

- [1] Abdullah, M.Z.; Guan, L.C.; Lim, K.C. & Karim, A.A. (2004), 'The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food', *Journal of Food Engineering* 61(1), 125--135.
- [2] Abeer El-Korany, E.E. (2004), An Approach For Building Generic Diagnosis Model In Agricultural Domain, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [3] Aerts J.M, B.D. (2004), Development Of Virtual Animals For Climate Control Design, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [4] Ahsan Abdullah, S.B. (2004), Data Mining Pest, Pesticide And Metrological Data, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [5] Aitkenhead, M.J.; Dalgetty, I.A.; Mullins, C.E.; McDonald, A.J.S. & Strachan, N.J.C. (2003), 'Weed and crop discrimination using image analysis and artificial intelligence methods', *Computers and Electronics in Agriculture* 39(3), 157--171.
- [6] Atri, A. (2004), Expert System For Weed Management Of Wheat Fields In Iran, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.

- [7] Badjonski, M. & Ivanovic, M. (2000), 'A multi-agent system for the determination of optimal hybrids in crop production', *Computers and Electronics in Agriculture* 25(3), 233--243.
- [8] Bak, T. & Jakobsen, H. (2004), 'Agricultural Robotic Platform with Four Wheel Steering for Weed Detection', *Biosystems Engineering* 87(2), 125--136.
- [9] Barreteau, O.; Bousquet, F.; Millier, C. & Weber, J. (2004), 'Suitability of Multi-Agent Simulations to study irrigated system viability: application to case studies in the Senegal River Valley', *Agricultural Systems* 80(3), 255--275.
- [10] Beck, H. (2001), 'Agricultural enterprise information management using object databases, Java, and CORBA', *Computers and Electronics in Agriculture* 32(2), 119--147.
- [11] Benne, M.; Grondin- Perez, B.; Chabriat, J.-. & Herve, P. (2000), 'Artificial neural networks for modelling and predictive control of an industrial evaporation process', *Journal of Food Engineering* 46(4), 227--234.
- [12] Berger, T. (2001), 'Agent-based spatial models applied to agriculture: a simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis', *Agricultural Economics* 25(2-3), 245--260.
- [13] Bergez, J.-.; Deumier, J.-.; Lacroix, B.; Leroy, P. & Wallach, D. (2002), 'Improving irrigation schedules by using a biophysical and a decisional model', *European Journal of Agronomy* 16(2), 123--135.
- [14] Bergez, J.-.; Garcia, F. & Lapasse, L. (2004), 'A hierarchical partitioning method for optimizing irrigation strategies', *Agricultural Systems* 80(3), 235--253.
- [15] Bielza, C.; Barreiro, P.; Rodriguez-Galiano, M.I. & Martin, J. (2003), 'Logistic regression for simulating damage occurrence on a fruit grading line', *Computers and Electronics in Agriculture* 39(2), 95--113.
- [16] Chen, C.R. & Ramaswamy, H.S. (2002), 'Modeling and optimization of variable retort temperature (VRT) thermal processing using coupled neural networks and genetic algorithms', *Journal of Food Engineering* 53(3), 209--220.
- [17] Chen, Y.; Chao, K. & Kim, M.S. (2002), 'Machine vision technology for agricultural applications', *Computers and Electronics in Agriculture* 36(2-3), 173--191.
- [18] Daskalov, P.; Arvanitis, K.; Sigrimis, N. & Pitsilis, J. (2005), 'Development of an advanced microclimate controller for naturally ventilated pig building', *Computers and Electronics in Agriculture* In Press, Corrected Proof, --.
- [19] Deniz Yilmaz, I.A. (2004), Kbs-selection of universal joint used in agricultural machinery, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [20] Diez, J.; Bahamonde, A.; Alonso, J.; Lopez, S.; del Coz, J.J.; Quevedo, J.R.; Ranilla, J.; Luaces, O.; Alvarez, I.; Royo, L.J. & Goyache, F. (2003), 'Artificial intelligence techniques point out differences in classification performance between light and standard bovine carcasses', *Meat Science* 64(3), 249--258.
- [21] Ding Jing, X.F. (2004), Two Non-Classic Graphic Knowledge Representation Methods, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [22] Ding, W.; Xiong, F. & Cheng, Z. (2005), Study and Implementation of the Expert System for Greenhouse Tomato Planting, in 'ICITA '05: Proceedings of the Third International Conference on Information Technology and Applications (ICITA'05) Volume 2', IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, pp. 325--329.
- [23] Doganis, P.; Alexandridis, A.; Patrinos, P. & Sarimveis, H. (2005), 'Time series sales forecasting for short shelf-life food products based on artificial neural networks and evolutionary computing', *Journal of Food Engineering* In Press, Corrected Proof, --.
- [24] Du, C. & Sun, D. (2005), 'Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review', *Journal of Food Engineering* 72(1), 39--55.
- [25] Edrees, S.A.; Rafea, A.; Fathy, I. & Yahia, M. (2003), 'NEPER: a multiple strategy wheat expert system', *Computers and Electronics in Agriculture* 40(1-3), 27--43.
- [26] Erenturk, K.; Erenturk, S. & Tabil, L.G. (2004), 'A comparative study for the estimation of dynamical drying behavior of *Echinacea angustifolia*: regression analysis and neural network', *Computers and Electronics in Agriculture* 45(1-3), 71--90.
- [27] Farkas I., F.L. (2004), Machine Vision System For Water Shortage Indication Of Tomato Plants Using Local Orientation, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [28] Farkas, I. (2005), 'Modelling and control in agricultural processes', *Computers and Electronics in Agriculture* In Press, Corrected Proof, --.
- [29] Farkas, I. (2003), 'Artificial intelligence in agriculture', *Computers and Electronics in Agriculture* 40(1-3), 1--3.
- [30] Farkas, I.; Remenyi, P. & Biro, A. (2000), 'A neural network topology for modelling grain drying', *Computers and Electronics in Agriculture* 26(2), 147--158.
- [31] Ferentinos, K.P. & Albright, L.D. (2003), 'Fault Detection and Diagnosis in Deep-trough Hydroponics using Intelligent Computational Tools', *Biosystems Engineering* 84(1), 13--30.
- [32] Ferentinos, K.P.; Albright, L.D. & Selman, B. (2003), 'Neural network-based detection of mechanical, sensor and biological faults in deep-trough hydroponics', *Computers and Electronics in Agriculture* 40(1-3), 65--85.
- [33] Fleurat-Lessard, F. (2002), 'Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach', *Journal of Stored Products Research* 38(3), 191--218.
- [34] Ganesan, V. (2004), Agricultural Expert System For The Diagnosis Of Pests And Diseases, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [35] Goel, A.; Zobel, C.W. & Jones, E.C. (2005), 'A multi-agent system for supporting the electronic contracting of food grains', *Computers and Electronics in Agriculture* 48(2), 123--137.
- [36] Goel, P.K.; Prasher, S.O.; Patel, R.M.; Landry, J.A.; Bonnell, R.B. & Viau, A.A. (2003), 'Classification of hyperspectral data by decision trees and artificial neural networks to identify weed stress and nitrogen status of corn', *Computers and Electronics in Agriculture* 39(2), 67--93.
- [37] Gottschalk, K.; Nagy, L. & Farkas, I. (2003), 'Improved climate control for potato stores by fuzzy controllers', *Computers and Electronics in Agriculture* 40(1-3), 127--140.
- [38] Gutierrez-Estrada, J.; Sanz, E.D.P.; Lopez-Luque, R. & Pulido-Calvo, I. (2005), 'SEDPA, an expert system for disease diagnosis in eel rearing systems', *Aquacultural Engineering* 33(2), 110--125.
- [39] Hanan, J.; Prusinkiewicz, P.; Zalucki, M. & Skirvin, D. (2002), 'Simulation of insect movement with respect to plant architecture and morphogenesis', *Computers and Electronics in Agriculture* 35(2-3), 255--269.
- [40] Hearn, A.B. & Bange, M.P. (2002), 'SIRATAC and CottonLOGIC: persevering with DSSs in the Australian cotton industry', *Agricultural Systems* 74(1), 27--56.
- [41] Hirafuji, M. (2004), Qualia- Based Reasoning For Subjective Information Of Food And Environment, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [42] Hirafuji, M. & Hagan, S. (2000), 'A global optimization algorithm based on the process of evolution in complex biological systems', *Computers and Electronics in Agriculture* 29(1-2), 125--134.
- [43] Iman Hassen, M.R. (2004), Configuration Irrigation Schedule Based On Expert Systems And Operations Research, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [44] K. Maertens, J.D.B. (2004), Genetic Polynomial Regression As Input Selection Algorithm For Engine Load Prediction In Combine Harvesters, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [45] Kamel, A. (2004), An Agent-Based Framework For The Development And Deployment Of Distributed Agricultural Knowledge Based Systems, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [46] Kawamura, S.; Natsuga, M.; Takekura, K. & Itoh, K. (2003), 'Development of an automatic rice-quality inspection system', *Computers and Electronics in Agriculture* 40(1-3), 115--126.
- [47] Kim, G.; Nute, D.; Rauscher, H.M. & Loftis, D.L. (2000), 'AppBuilder for DSSTools: an application development environment for developing decision support systems in Prolog', *Computers and Electronics in Agriculture* 27(1-3), 107--125.
- [48] Lee, P.G. (2000), 'Process control and artificial intelligence software for aquaculture', *Aquacultural Engineering* 23(1-3), 13--36.
- [49] Li, M. & Yost, R.S. (2000), 'Management-oriented modeling: optimizing nitrogen management with artificial intelligence', *Agricultural Systems* 65(1), 1--27.
- [50] Lopez Cruz, I.L.; van Willigenburg, L.G. & van Straten, G. (2003), 'Optimal control of nitrate in lettuce by a hybrid approach: differential evolution and adjustable control weight gradient algorithms', *Computers and Electronics in Agriculture* 40(1-3), 179--197.

- [51] Loyce, C.; Rellier, J.P. & Meynard, J.M. (2002), 'Management planning for winter wheat with multiple objectives (1): The BETHA system', *Agricultural Systems* 72(1), 9--31.
- [52] Magdi, A. Koutb, N...M.E. (2004), Environmental Control For Plants Using Intelligent Control Systems, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [53] Mahmud Othman, K.R.K. (2004), Fuzzy Similarity Function For Ranking River Basin Planning alternatives, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [54] Moshou, D.; Wahlen, S.; Strasser, R.; Schenk, A. & Ramon, H. (2003), 'Apple mealiness detection using fluorescence and self-organising maps', *Computers and Electronics in Agriculture* 40(1-3), 103--114.
- [55] Murase, H. (2000), 'Artificial intelligence in agriculture', *Computers and Electronics in Agriculture* 29(1-2), 1--2.
- [56] Nemenyi, M.; Mesterhazi, P.A.; Pecze, Z. & Stepan, Z. (2003), 'The role of GIS and GPS in precision farming', *Computers and Electronics in Agriculture* 40(1-3), 45--55.
- [57] Nesvadba, P.; Houska, M.; Wolf, W.; Gekas, V.; Jarvis, D.; Sadd, P.A. & Johns, A.I. (2004), 'Database of physical properties of agro-food materials', *Journal of Food Engineering* 61(4), 497--503.
- [58] Nute, D.; Potter, W.D.; Cheng, Z.; Dass, M.; Glende, A.; Maierv, F.; Routh, C.; Uchiyama, H.; Wang, J. & Witzig, S. (2005), 'A method for integrating multiple components in a decision support system', *Computers and Electronics in Agriculture* 49(1), 44--59.
- [59] Park, S.; Hwang, C. & Vlek, P. (2005), 'Comparison of adaptive techniques to predict crop yield response under varying soil and land management conditions', *Agricultural Systems* 85(1), 59--81.
- [60] Pasgianos, G.D.; Arvanitis, K.G.; Polycarpou, P. & Sigrimis, N. (2003), 'A nonlinear feedback technique for greenhouse environmental control', *Computers and Electronics in Agriculture* 40(1-3), 153--177.
- [61] Perini, A. & Susi, A. (2004), 'Developing a decision support system for integrated production in agriculture', *Environmental Modelling & Software* 19(9), 821--829.
- [62] Potter, W.D.; Deng, X.; Li, J.; Xu, M.; Wei, Y.; Lappas, I.; Twery, M.J. & Bennett, D.J. (2000), 'A web-based expert system for gypsy moth risk assessment', *Computers and Electronics in Agriculture* 27(1-3), 95--105.
- [63] Rafea, A.; Hassen, H. & Hazman, M. (2003), 'Automatic knowledge acquisition tool for irrigation and fertilization expert systems', *Expert Systems with Applications* 24(1), 49--57.
- [64] Rafea, M. (2004), A Case-Based Collaborative Knowledge Acquisition Tool, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [65] Rasmus Nyholm Jørgensen, C.G.S. & Bak, T. (2004), Rational Agents For Agricultural Crop Surveying: Adaptive Task And Motion Planning, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [66] Reynolds, D.R. & Riley, J.R. (2002), 'Remote-sensing, telemetric and computer-based technologies for investigating insect movement: a survey of existing and potential techniques', *Computers and Electronics in Agriculture* 35(2-3), 271--307.
- [67] Roussel, S.; Bellon-Maurel, V.; Roger, J. & Grenier, P. (2003), 'Authenticating white grape must variety with classification models based on aroma sensors, FT-IR and UV spectrometry', *Journal of Food Engineering* 60(4), 407--419.
- [68] Sa Li, X.F. (2004), A Multi-Agent Based Cellular Automata Model Of Agroecosystem, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [69] Salgado, P. & Cunha, J.B. (2005), 'Greenhouse climate hierarchical fuzzy modelling', *Control Engineering Practice* 13(5), 613--628.
- [70] Salminen, H.; Lehtonen, M. & Hynynen, J. (2005), 'Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator', *Computers and Electronics in Agriculture* 49(1), 103--113.
- [71] Samhaa R. El-Beltagy, G.A. & Hassan, H. (2004), Towards Specialized Expert System Building Tools: A Tool For Building Irrigation Expert Systems, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [72] Shahin, M.A.; Tollner, E.W. & McClendon, R.W. (2001), 'AE--Automation and Emerging Technologies: Artificial Intelligence Classifiers for sorting Apples based on Watercore', *Journal of Agricultural Engineering Research* 79(3), 265--274.
- [73] Shuso Kawamura, M.K. (2004), Milk-Quality Monitoring By Near-Infrared Spectroscopy For Artificial Intelligence In Dairy Farming, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [74] Sigrimis, N.A.; Arvanitis, K.G. & Pasgianos, G.D. (2000), 'Synergism of high and low level systems for the efficient management of greenhouses', *Computers and Electronics in Agriculture* 29(1-2), 21--39.
- [75] Singh, N. (2004), 'Expert system prototype of food aid distribution', *Journal of the American Dietetic Association* 104(Supplement 2), 53--53.
- [76] van Straten, G. (2004), 'Field robot event, Wageningen, 5-6 June 2003', *Computers and Electronics in Agriculture* 42(1), 51--58.
- [77] Tantau, H. & Lange, D. (2003), 'Greenhouse climate control: an approach for integrated pest management', *Computers and Electronics in Agriculture* 40(1-3), 141--152.
- [78] Tawegoum R., B.S. (2004), Modeling Evapotranspiration Prediction On Nursery Area Using Recurrent Neural Networks, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [79] Thomson, A.J. (2005), 'Indicator-based knowledge management for participatory decision-making', *Computers and Electronics in Agriculture* 49(1), 206--218.
- [80] Thornton, P.K. & Herrero, M. (2001), 'Integrated crop-livestock simulation models for scenario analysis and impact assessment', *Agricultural Systems* 70(2-3), 581--602.
- [81] Tokihiro Fukatsu, M.H. (2004), The Agent System For Field Monitoring Servers To Construct Smart Sensor-Network, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.
- [82] Van Horne, C.; Frayret, J.M. & Poulin, D. (2005), 'Knowledge management in the forest products industry: the role of centres of expertise', *Computers and Electronics in Agriculture* 47(3), 167--184.
- [83] Vizhanyo, T. & Felfoldi, J. (2000), 'Enhancing colour differences in images of diseased mushrooms', *Computers and Electronics in Agriculture* 26(2), 187--198.
- [84] Walker, D.H. (2002), 'Decision support, learning and rural resource management', *Agricultural Systems* 73(1), 113--127.
- [85] Yuriy Chaplinsky, O.P. (2004), Ontology Approach And System Optimization Methodology For Decision-Making In Plant-Growing, in '5th IFAC Workshop On Artificial Intelligence In Agriculture, March 8-10 2004, Cairo, Egypt'.



**Bustos Molina, José Ricardo** (1981- ) nació en Ibagué (Colombia) el día 29 de Mayo de 1981. Se graduó de Ingeniero Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (Colombia) en el año 2004, actualmente se encuentra realizando sus estudios de Maestría en Ingeniería – Ingeniería Sistemas y Computación en la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (Colombia).