

Sistema bioinformático ganadero para la toma de decisiones en procesos de transferencia de embriones*¹

[Cattle's bioinformatics system for decision making in embryo transfer processes]

NÉSTOR JAIME CASTAÑO PÉREZ², FÉLIX ANTONIO CÉSPEDES GIRALDO³, OCTAVIO ISAZA LONDOÑO⁴, JHON FREDY BETANCUR PÉREZ⁵

RECIBO: 20.11.2013 – APROBACIÓN: 15.03.2014

Resumen

La transferencia de embriones al útero de hembras receptoras bovinas, ha sido demostrada como una práctica que aumenta la incidencia de gestaciones. El estudio tuvo como objetivo el desarrollo de un sistema informático que permite la captura, análisis y gestión de la información de los procesos en la transferencia de embriones para la toma de decisiones. Se recolectaron, monitorearon y analizaron los datos del proyecto de 'super-ovulación y transferencia de embriones en bovinos', en relación a todas las variables biológicas antes, durante y después de un tratamiento,

* **Modelo para la citación de este artículo:**

CASTAÑO PÉREZ, Néstor Jaime; CÉSPEDES GIRALDO, Félix Antonio; ISAZA LONDOÑO, Octavio & BETANCUR PÉREZ, Jhon Fredy (2014). Sistema bioinformático ganadero para la toma de decisiones en procesos de transferencia de embriones. En: Ventana Informática No. 30 (ene-jun). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 217-231. ISSN: 0123-9678

- 1 Artículo de investigación científica y tecnológica proveniente del proyecto *Procesos de súper ovulación y transferencia de embriones en bovinos*, ejecutado en el periodo 04.2012-07.2013, inscrito en el CIMAD, de la Universidad de Manizales
- 2 Ingeniero electrónico, MSc., PhD(c) en Ingeniería Informática. Docente Investigador, Grupo de investigación y desarrollo en Informática y Telecomunicaciones. Universidad de Manizales (Manizales, Colombia). Correo electrónico: ncastano@umanizales.edu.co
- 3 Estudiante de Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones, Universidad de Manizales (Manizales, Colombia). Correo electrónico: feances@gmail.com
- 4 Esp. reproducción bovina. Docente Investigador, Grupo de Investigaciones Biomédicas. Universidad de Manizales (Manizales, Colombia). Correo electrónico: oisazal@umanizales.edu.co
- 5 Esp. Biología molecular y biotecnología; PhD. en Ciencias, Docente Investigador, Grupo de Investigaciones Biomédicas, director de la línea de investigación en biosistemas integrados (CIMAD). Universidad de Manizales (Manizales, Colombia). Correo electrónico: jbetancur@umanizales.edu.co

en hembras donantes y receptoras. Se digitalizaron datos físicos y, en paralelo, se realizó un análisis y diseño para la construcción de un sistema informático para la captura de datos en tiempo real; utilizando las tecnologías de programación web en móviles; HTML5, JQuery Mobile, en servidor, Microsoft .NET, de sincronización con sistemas heterogéneos, AJAX, y de almacenamiento en base de datos local en móviles, SQLite y en servidor Microsoft SQL Server. Se utilizaron técnicas de minería de datos con la herramienta MATLAB® 7.10.0.499 (R2010a), y así se obtuvo un modelo matemático predictivo y fiable en la toma de decisiones con respecto a la obtención de mayores índices de preñez en bovinos.

Palabras clave: Minería de datos, transferencia de embriones bovinos, biotecnología bovina, arquitectura de software distribuida en dispositivos móviles.

Abstract

Embryo transfer to receptor female cattle has been proved as a practice that raises the incidence of gestations. This study has the objective of developing an informatics system that allows for the capture, analysis and management of information related to the process of embryo transfer that facilitates decision making in this specific process. Data related to the 'Super-ovulation and embryo transfer in cattle' was collected, monitored and analyzed, considering all biological variables ex-ante and ex-post a treatment in female donors and receptors. Physical data was digitized and in parallel a process of analysis and design was developed in order to build an information system that allows for real time data collection; using web programming technologies in mobile, HTML5, JQuery Mobile, server, Microsoft .NET, synchronization with heterogeneous systems, AJAX, and storage in mobile local database, SQLite and Microsoft SQL Server. Stored data was analyzed using data mining techniques with MATLAB® 7.10.0.499 (R2010a). By using data mining techniques on biological variables, it was possible to obtain a reliable predictive mathematical model in decision making related to the embryo transfer process that allows to raise the pregnancy success rate in cattle.

Keywords: Data mining, cattle embryo transfer, cattle biotechnology, distributed software architecture for mobile devices.

Introducción

Actualmente, Colombia afronta una gran desventaja frente a los Tratados de Libre Comercio, TLC, con la Unión Europea y Estados Unidos; principalmente en el sector ganadero y lechero, siendo este un país de economía basada en la explotación de materias primas, el cual su gobierno no aporta financieramente de manera equilibrada y efectiva en el sostenimiento de las actividades agropecuarias, dentro de las cuales impera específicamente la producción ganadera, según Fedegan (2011 y 2013) y Almario (2013). Esta, para su producción, debe desarrollar procesos efectivos de reproducción bovina; destacando los propios de la Transferencia de embriones, para así garantizar una economía sostenible en las empresas ganaderas colombianas, afirman Bolívar & Maldonado (2008, 2257).

Es indudable que los procesos en mención están o deben estar sujetos a respuestas biológicas, las cuales tienden a ser variables y de amplia dependencia individual, tal es el caso de la técnica de transferencia de embriones, tecnología utilizada, para producción de ganado genéticamente capacitado para el mejoramiento productivo de los hatos. Así mismo, señalan Rivas & Barceló (2011, 91) y Anderson (2010), que el ordenamiento de los datos recolectados a mano en los procesos de un determinado programa de transferencia de embriones, no ha permitido comprobar su eficacia y menos la efectividad en la toma de las decisiones que inciden en las empresas ganaderas; que permita obtener conocimiento valioso del análisis las variables que garanticen la predicción de la preñez en las vacas receptoras de una transferencia embrionaria.

La motivación de la utilización de técnicas de bioinformática como las minerías de datos en el sector de la ganadería, más específicamente en la reproducción bovina, es una tendencia en la actualidad, sin embargo, hasta la fecha no se ha concretado trabajos con resultados, que demuestren la predicción de la preñez, deseable en el animal receptor del embrión. Con base en lo anterior, la presente propuesta de investigación tuvo como objetivo desarrollar de un sistema informático que permite la captura, análisis y gestión de la información de los procesos en la transferencia de embriones que facilite la toma de decisiones en este proceso.

1. Fundamento teórico

1.1 Transferencia de embriones

«La transferencia de embriones es una biotecnología mediante la cual los embriones son colectados de una hembra donante y transferidos a una hembra receptora que sirve como madre sustituta durante la preñez y en la mayoría de los casos durante el proceso de lactancia. Este proceso usualmente requiere el uso de varias hormonas responsables de inducir superovulación, y sincronizar hembras receptoras y donantes para que estén en celo y ovulen al mismo tiempo. Las técnicas de transferencia han sido usadas en casi todos los animales domésticos y en muchas especies salvajes y exóticas. En los últimos años la transferencia embrionaria ha alcanzado procedimientos que permiten la completa utilización de métodos no quirúrgicos en bovinos y en pequeños rumiantes» (Tribulo, 2000, 80).

Además, de acuerdo con Tribulo (2000, 80), la técnica de transferencia de embriones producidos *in-vitro* viene creciendo aceleradamente y ha contribuido a la mejora cualitativa de la ganadería nacional aunque se ha centrado más en la formación de ganados puros y el mejoramiento de los pies de cría de los hatos, sin tener aún una fuerte tendencia al mejoramiento de los índices productivos de los rumiantes.

1.2 Administración de Procesos de Negocio – BPM

A partir del conocimiento de los procesos de la transferencia de embriones, se consultó sobre la filosofía gerencial *BPM* (*Business Process Management*) para modelar fielmente los procesos inmersos en los requerimiento de negocio, presentes en el despliegue sistema, con el objetivo de utilizar la notación internacional *BPMN* (Notación de Administración de Procesos de Negocio), que permita lograr el entendimiento de estos, sin discriminar la profesión o campo de acción de las personas ajenas al negocio, que estén interesados en implementar soluciones a partir de estos en el mejor de los casos o estar en capacidad de conocer a profundidad el *KnowHow* del negocio, expresan Prieto, Prieto & Osorio (2009, 13).

1.3 ICONIX – Metodología pesada-ligera de Desarrollo del Software

«Es una metodología pesada-ligera de Desarrollo del Software que se halla a medio camino entre un RUP (Rational Unified Process) y un XP (eXtreme Programming).

Iconix deriva directamente del RUP y su fundamento es el hecho de que un 80% de los casos pueden ser resueltos tan solo con un uso del 20% del UML, con lo cual se simplifica muchísimo el proceso sin perder documentación al dejar solo aquello que es necesario. Esto implica un uso dinámico del UML de tal forma que siempre se pueden utilizar otros diagramas además de los ya estipulados si se cree conveniente. Iconix se guía a través de casos de uso y sigue un ciclo de vida iterativo e incremental [Figura 1]» (Rosenber& Scott, 2001).

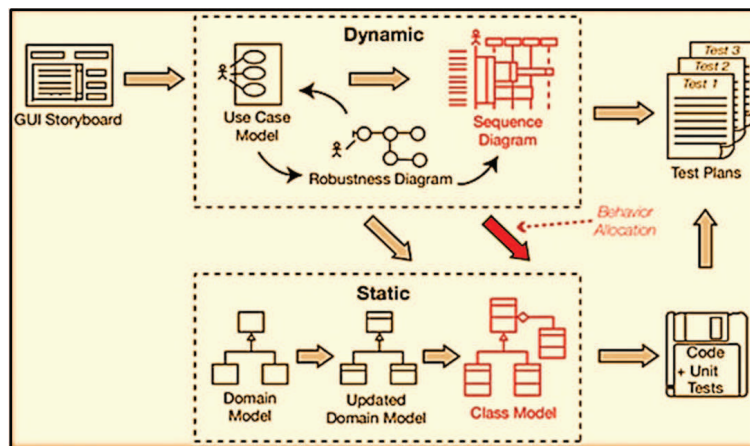


Figura 1. Resumen gráfico de la metodología ICONIX
(Rosenber& Scott, 2001)

«Los objetivos de la metodología ICONIX permiten que a partir de los casos de uso se obtenga el sistema final. Esta se encuentra conformada por las siguientes fases; fase 1 - análisis de requisitos, dentro de esta fase se realizan las siguientes tareas; modelo del dominio, elaboración rápida de prototipos, modelo de casos de usos, fase 2 - análisis y diseño preliminar, dentro de esta fase se realizan tareas tales como: descripción de los casos de uso y diagramas de robustez, fase 3 – diseño, dentro de esta fase se realiza la los diagramas de secuencia, fase 4: Implementación, dentro de esta fase se realiza la escritura y generación del código» (Rosenber & Scott, 2001).

1.4 Minería de datos

Actualmente, el mundo viene en una constante competencia empresarial, debido a la globalización, los clientes y las empresas se encuentran

cada vez más cerca, sin embargo captarlos ha sido una tarea clave para la futura existencia de la empresa, lo cual ha desencadenado una serie de cambios empresariales a nivel estratégico, a tal punto que los sistemas de operaciones transaccionales, ya no son suficientes para garantizar esta tarea.

Es así que surgen los sistemas de toma de decisiones, encargados de llevar a buen término, la rentabilidad de la empresa, sin embargo para lograr esto, la empresa debe estar consciente, que posee un historial del comportamiento de compras por parte del cliente, materializado en bases de datos históricas, las cuales debe explotar para lograr encontrar las motivaciones e intereses, que llevaron al cliente a realizar una compra en esta. Las bases de datos juegan un papel importante en lograr este objetivo, ya que se convierten en la materia prima de un estudio muy riguroso, conocido como *KDD* (Descubrimiento de conocimiento en bases de datos), el cual siguiendo una serie de fases sistémicas, permite describir grupos de clientes, conservar los más fieles y atraer a potenciales, igualmente lograr predecir, que desea este cliente para satisfacer sus necesidades de consumo, de acuerdo a lo reportado por Hernández, Ramírez & Ferri (2004, 680), que se resumen en las siguientes cinco fases: preparación de las base de datos, minería de datos, construcción del modelo, evaluación e interpretación y difusión, uso y monitorización.

2. Metodología

El proyecto se realizó en seis fases, a saber:

- Fase 1. Modelamiento del sistema actual y propuesto. Levantamiento de los requerimientos de negocios, seguida de la modelación de los procesos de transferencia de embriones bovinos en los predios del departamento de Caldas; a la vez que se estableció la arquitectura de negocio y de software del sistema propuesto; se llevó a cabo mediante el uso de la documentación en reproducción bovina y de transferencia de embriones reportadas por Tribulo (2000, 81). La metodología gerencial *BPM* se ejecutó por medio del software *Bizagi Process Modeler*, con el fin de obtener una visión holística y mejorada de los procesos de negocio y del futuro sistema software.
- Fase 2. Levantamiento de los requerimientos del sistema software. El desarrollo de los diagramas y casos de uso se realizó a partir de la perspectiva de interacción del usuario con el sistema software, debidamente acompañados con los *Mockups* (prototipos de inter-

faces), utilizando la herramienta *Balsamiq Mockups*, para mostrar cómo será el sistema.

- Fase 3. Análisis de modelo de clases y diseño de los diagramas del sistema software. Se examinó los modelos de análisis de clases y se diseñó los diagramas del sistema software; se estableció una arquitectura de software basada en la arquitectura Modelo Vista Controlador (MVC), y para cada Caso de Uso del sistema software, se generaron los respectivos Diagramas de Robustez (Modelos de Análisis de Clases); que representan respectivamente la interacción entre la Vista, el Controlador y el Modelo de datos. Por cada diagrama de robustez correspondiente a cada Caso de uso, se identificaron las propiedades (atributos) y responsabilidades (métodos) de las clases, para generar los respectivos diagramas de secuencia, y por último se realizó el modelo entidad - relación a partir del modelo de datos en común obtenido para cada Diagrama de Robustez de los Casos de Uso, utilizando la herramienta software *Microsoft Access 2010*.
- Fase 4. Implementación del sistema software utilizando el lenguaje de programación *HTML5* y el *Framework Microsoft ASP.NET MVC3*, y respectivamente los motores de bases de datos *SQLite* y *Microsoft SQL Server 2008*.
- Fase 5. Realización de prueba piloto del sistema software. Se desplegó el sistema software en un servidor de prueba para uso por parte del cliente.
- Fase 6. Experimentación con minerías de datos. Se aplicaron técnicas de minerías sobre la base de datos obtenida del sistema software, bajo el estándar *Cross Industry Standard Process for Data Mining*, y los procesos:- Una copia de la base de datos el sistema servidor software para obtener el *Data Ware house*, utilizando la herramienta software de gestión de base datos *Microsoft SQL Server Management Studio* de *Microsoft SQL Server 2008*, debido a que la base de datos fue la materia prima para realizar la experimentación con las técnicas de minerías de datos, y - Se analizaron las variables de los 86 registros de las tablas de hechos depuradas del *Data Ware house* de la base de datos, utilizando el software de minería de datos *WEKA*, en la obtención de correlaciones y dependencias estadísticas de las variables de influencia en la preñez de la vaca receptora y para la respectiva generación y diagramación de modelos predictivos de la variable objetivo Preñez, se utilizó el algoritmo de minería de datos J48 de árboles de decisión.

3. Resultados y discusión

3.1 Descripción de resultados

3.1.1 Descripción del sistema actual. El ganadero que desea maximizar las características productivas y reproductivas de las vacas en calidad y en cantidad de su predio para su explotación en carne y/o leche, para lo cual contrata un técnico, quien realiza la planeación técnica del programa de transferencia de embriones para la aprobación por parte del ganadero. Luego, selecciona las vacas donadoras de embriones, por lo general con un buen historial genético clínico y reproductivo en condiciones de edad madura o lisiadas por razones físicas para su aprovechamiento, realiza la selección de las vacas receptoras; en vacas jóvenes de menor calidad, la planeación nutricional y mineral de receptoras y donadoras, la selección de toros de acuerdo a cada donante, y la planeación de los protocolos/tratamientos reproductivos de sincronización de receptoras y superovulación de donadoras e insumos requeridos.

Después, hace la colecta de embriones producidos en las donadoras y transferencia de los embriones⁶ a las receptoras, incluyendo dentro de esta la evaluación de receptoras sincronizadas. Cumplidos 50 días, verifica la preñez en las receptoras transferidas. Luego, realiza un resumen técnico del programa, que incluye los formatos diligenciados en los procesos e igualmente la relación de los insumos en cada proceso, y una relación parcial y resumida de los resultados de las colectas en el programa con respecto a embriones transferidos y preñados, el porcentaje de preñez, los embriones perdidos; producto de un aborto en la receptora en el periodo de gestación, las debidas receptoras preñadas y su respectiva raza.

Los resultados, debido a fallas de manejo, pueden generar pérdidas económicas, por ejemplo: para el primer caso, si la inversión total de un programa de Transferencia de embriones, fue de 2 millones de pesos y se obtienen 10 embriones de las donadoras, ocho son viables para la transferencia en la misma cantidad de vacas receptoras, y después de transcurridos 50 días de acoplamiento y asimilación del embrión; tres receptoras alcanzaron la preñez, es decir un porcentaje del 40% de preñez de todas las receptoras transferidas, se deduce que cada embrión vale \$666.650 pesos en su producción. Para el segundo caso, si se realiza la misma inversión en el programa y el mayordomo no realiza alguna de las actividades de los protocolos reproductivos, ya fuese donadoras o receptoras, se genera una pérdida completa de lo invertido hasta ejecución de determinada actividad del respectivo protocolo.

6 Si algún embrión Calidad 1 sobra por falta de receptoras, se congelan en un termo de criogenización para futura transferencia.

3.1.2 Descripción del sistema propuesto. Con el sistema, se realiza un proceso similar, con la diferencia de que el técnico registra cada evento (incluyendo datos adicionales) en el dispositivo móvil, de manera que el sistema, mediante la validez de la información, facilita la mejor toma de decisiones, en casos como la selección de vacas donantes y receptoras.

Con la información ingresada al sistema, se tendrán alarmas (mediante mensajes SMS al teléfono celular), que permitirán la realización oportuna de las actividades requeridas. Adicionalmente, se podrán registrar diferentes aspectos de cada actividad, de manera que el sistema pueda generar reportes que faciliten las funciones de planeación, evaluación y control, es decir, que el sistema generará valor agregado a la hora de tomar decisiones trascendentales de las condiciones que afectan su labor en la Transferencia de embriones, trayendo beneficios como:

- Reducción en papel: Disminución de impresión de los formatos físicos utilizados dentro de un Programa de Transferencia de embriones para cada fase.
- Veracidad de la información registrada y entrega al técnico: Validación de los datos registrados para cada proceso involucrado dentro del Programa de Transferencia de embriones.
- Garantía en la información oportuna de las actividades de los protocolos de sincronización/superoovulación a ejecutar con el mayordomo de la finca para evitar pérdidas económicas dentro del Programa de Transferencia de embriones.
- Mayor empoderamiento del técnico en la toma de decisiones que garanticen alcanzar los objetivos de Programa de Transferencia de embriones: Generación de consultas a partir de las variables de mayor influencia en la preñez de una receptora.
- Reducción de tiempo en obtención de informes de resultados: Generación automatizada de la información y resultados involucrados en los procesos de Transferencia de embriones para entrega de resultados a los ganaderos.

3.1.3 Requerimientos No Funcionales del Sistema. En los requerimientos no funcionales, se generó una tabla (datos no mostrados) con base a criterios tales como: Identificación (ID), Autor, Fuente(s), Descripción, Tipo; y nivel de prioridad: (Alta, media y baja), datos fundamentales para el desarrollo de la arquitectura de negocio del sistema software.

3.1.4 Diagrama de Casos de Uso del paquete Gestionar Fase. La Figura 2, muestra el diagrama de Casos de Uso del paquete Gestionar Fase.

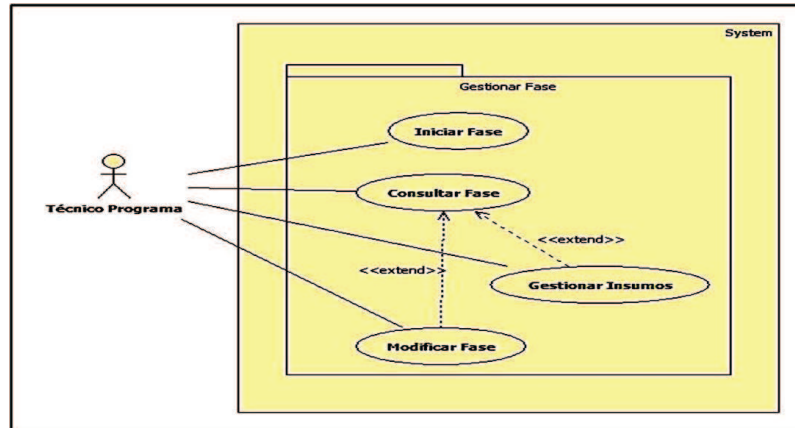


Figura 2. Diagramas de Caos de Uso del paquete Gestionar Fase

3.1.5 Caso de Uso – Consultar Fase. En el Caso de Uso - Consultar Fase, se generó una tabla (datos no mostrados) con base a criterios tales como: Identificación (ID), Nombre, Descripción, Autor, Fuente(s), Actores, Precondiciones, Poscondiciones, Flujo normal de eventos, Flujos alternos, Excepciones, Objetivos relacionados, Otras referencias, Anotaciones

3.1.6 Mockup del Caso de Uso – Consultar Fase. En la Figura 3, presenta el Mockup del Caso de Uso - Consultar Fase.



3.1.7 Diagrama de Robustez Caso de Uso – Consultar Fase. En la Figura 4a, se presenta a manera de resultado de ejemplo el Diagrama de Robustez del Caso de Uso - Consultar Fase.

3.1.8 Diagrama de Secuencia Caso de Uso – Consultar Fase. En la Figura 4b, se presenta a manera de resultado de ejemplo el Diagrama de Secuencia del Caso de Uso - Consultar Fase.

3.1.9 Modelo Entidad Relación – Base de datos. En la figura 4c, se presenta el Modelo Entidad Relación de la base de datos, consecuencia de los modelos de datos en común del conjunto de los Diagramas de Robustez de los Casos de Uso del sistema software.

Figura 3. Mockup del Caso de Uso – Consultar Fase

3.1.10 Fase 4. Implementación del sistema software. En la figura 4d, se presenta el diagrama de despliegue con las respectivas comunicaciones entre los componentes del sistema: - Se implementó y desplego un sistema software bioinformático distribuido con sincronización entre el sistema móvil y servidor por medio de la tecnología AJAX, y - Se generó una estrategia de gestión de datos unificada, convergente en las instancias del sistema software distribuido, para realizar el *ETL* (Extracción, Transformación y Limpieza) en el proceso de Minería de datos, satisfaciendo los requerimientos No Funcionales del negocio, y evitando redundancia de datos en la respectiva base de datos.

3.1.11 Fase 5. Realización de prueba piloto del sistema software. En la figura 5a, se presenta a manera de resultado de ejemplo la captura funcional del Caso de Uso - Consultar Fase de Biogan Móvil, en tanto en la Figura 5b aparece la captura funcional del Caso de Uso - Consultar Preñez por Condición Corporal de Donadoras de Biogan Server.

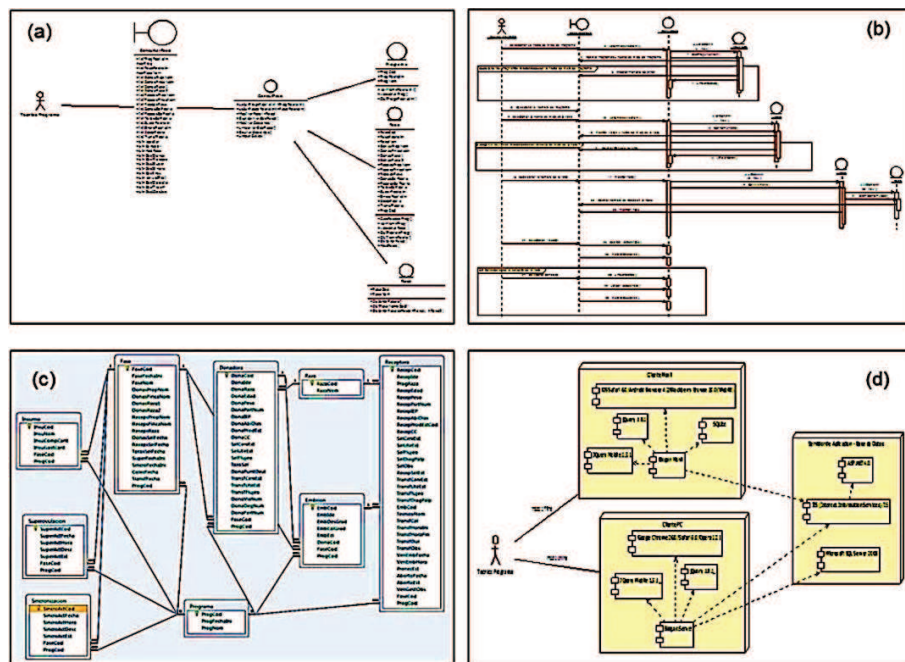


Figura 4. Diagrama de Robustez, Diagrama de secuencia, Modelo entidad relación y Diagrama de despliegue del sistema.

3.1.12 Fase 6. Experimentación con minerías de datos. En la figura 5c, se presenta el árbol de decisión J48, producto de la minería de datos. Se generó un modelo matemático predictivo, a partir de los 86 registros

obtenidos de la tabla de hechos Preñez, utilizando el algoritmo J48 de árboles de decisión de Minería de datos en *Weka*, y se encontró que las variables Calidad del embrión, puntos de ovulación en la donantes y el Diagnóstico de palpación D4, influyen en la variable objetivo Preñez del Programa de Transferencia de Embriones.

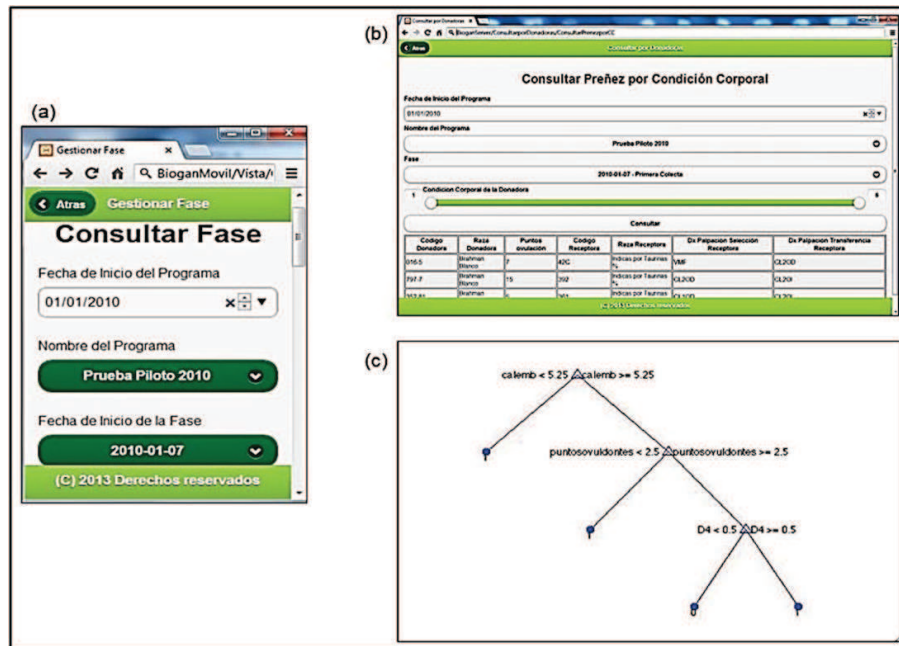


Figura 5. Capturas funcionales de Casos de Uso y Árbol de decisión J48

3.2 Discusión de resultados

El desarrollo de los sistemas de información de software, cada día deben estar más enfocados a satisfacer las necesidades de negocio del cliente y acorde a las tendencias del sector tecnológico, que impacten costo, alcance y tiempo, de forma efectiva para garantizar el cumplimiento de los objetivos de este; por lo tanto comenzar desde una visión orientados a los procesos, fundamentando el pensamiento sistémico de la organización, que permita detectar lo que realmente necesita el cliente, y es así que *BPM*, juega un papel importante, al permitir ser interfaz entre lo que realiza el cliente y lo que percibe el Ingeniero de Sistemas del Negocio. Es imperante, comenzar el proceso de Ingeniería de Software, desde este enfoque, debido a que una mala interpretación de lo que necesita el cliente, inevitablemente generará software innecesario para el cliente. Es así que, comenta Peña (2006, 100), entra a jugar la metodología *ICONIX*, en el desarrollo de software orientado a las experiencias de

usuario con el sistema y materializados en el desarrollo de Casos de Uso robustos, que permitan determinar los componentes necesarios de una implementación de sistemas de información software.

En el proceso de descubrimiento de conocimiento en las bases de datos, uno de los procesos más críticos es la obtención de fuentes de datos de calidad, sin ruido, ni redundancias innecesarias, que permiten la implementación efectiva de algoritmos de minerías de datos para la obtención y evaluación de modelos matemáticos predictivos; es así que la implementación y despliegue de arquitecturas modernas (software), permiten alcanzar este objetivo, como es una arquitectura distribuida con base de datos unificada, se garantiza desde la captura de datos a través de dispositivos; datos validados acordes a los procesos de negocio y a partir de la sincronización en un repositorio único, se gestiona de manera ágil la obtención de diferentes fuentes de información, las cuales, según Popescu & Xu (2009, 64), si fuesen de sistemas heterogéneos a priori, se debería realizar un escrito proceso de ETL, para su validación y realización de minería de datos.

El análisis comparativo de resultados obtenidos en programas de inseminación artificial a tiempo fijo y resincronización de celos en rodeos de carne, basado en Isaza (2009), ha permitido obtener resultados con distintos sistemas de servicio (IATF; Servicio Natural; IATF y resincronización; IATF y repaso con toros; IATF, resincronización y repaso con toros) mediante la utilización de un software en lenguaje de programación Visual Basic versión 5.0; en establecimientos ganaderos de cría con características particulares, implementando distintos protocolos de sincronización y resincronización, en distintas categorías de animales, de acuerdo con Isaza (2009, 14) y Obregón (2009, 62).

Cada vez el estudio histórico de las bases de datos, está arrojando resultados fascinantes, con una base matemática impecable (Colazo y Mapletoft. 2007), que permiten tomar decisiones de orden estadístico, que muestran tendencias y comportamientos en la población objetivo o para este caso variable objetivo preñez, la cual arroja dependencia a sus variables de influencia y por lo tanto generó conocimiento práctico y novedoso en el campo de la Transferencia de Embriones en bovinos.

4. Conclusiones

La generación de una herramienta software efectiva, que hace frente a las condiciones precarias del negocio en las fincas ganaderas y la comunidad, que satisface sus necesidades a partir de la explotación

ganadera; impacta positivamente en relación los procesos de trazabilidad de un Programa de Embriones, para así garantizar calidad de información para la toma de decisiones, que generen mayores márgenes de rentabilidad a los involucrado en la cadena de producción.

Los requerimientos No Funcionales y una arquitectura robusta del sistema de software a partir de un análisis minucioso de los requerimientos de negocio, permitieron la generación de un modelo de datos unificado, capaz de servirse de una arquitectura distribuida, para la recolección de los datos en caliente en las fincas ganaderas, para así generar informes más precisos y modelos matemáticos predictivos, que no se vean gravemente afectados en su generación por el ruido de los datos, en la conversión de información a conocimiento valioso para el sector ganadero en Colombia.

Se demostró que por medio de aplicación de minería de datos en variables del orden biológico, se obtienen modelos matemáticos predictivos fiables en la toma de decisiones del negocio.

6. Referencias bibliográficas

- ALMARIOC., M. (2013). Sector ganadero requiere inversión de \$5 billones para no sucumbir ante TLC [en línea]. En: Vanguardia Liberal (22/02/2013). Bucaramanga (Santander, Colombia): Vanguardia Liberal. <<http://www.vanguardia.com/santander/barrancabermeja/197195-sector-ganadero-requiere-inversion-de-5-billones-para-no-sucumbir-a>> [consulta: 22/02/2013].
- ANDERSON, L. O. (2010). Análisis comparativo de resultados obtenidos en programas de inseminación artificial a tiempo fijo y resincronización de celos en rodeos de carne [en línea]. Trabajo final (Especialista en Reproducción bovina). Córdoba (Argentina): Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC), Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 61 p. <<http://iracbiogen.com.ar/lin.arvixe.com/admin/biblioteca/documentos/Monograf%C3%ADa%20Anderson.pdf>> [consulta: 12/03/2012].
- BOLÍVAR, P. A. & MALDONADO E., J. G. (2008). Análisis de costos de esquemas de transferencia de embriones bovinos utilizados en Colombia [en línea]. En: Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, Vol. 21, No. 3 (sep). Medellín (Antioquia, Colombia): Universidad de Antioquia. p. 351-364. e-ISSN: 2256-2958 <<http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/view/355/353>> [consulta: 02/10/2013]
- COLAZO, M. G & MAPLETOFT, R. J. (2007). Estado actual y aplicaciones de la transferencia de embriones en bovinos. Ciencia Veterinaria, Vol. 9, No 1. General Pico (La Pampa, Argentina): Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Ciencias Veterinarias. p. 20-37. ISSN: 1515-1883 <http://www.vet.unlpam.edu.ar/archivos/revistas/Revista_Ciencia_Veterinaria_Volumen_9.pdf> [consulta: 17/10/2013]
- FEDERACIÓN COLOMBIANA DE GANADEROS, FEDEGAN (2013). Impacto del TLC con la Unión Europea: Un debate que recorre el país [en línea]. En: Carta Fedegan No. 134 (Informe Especial: Foros lácteos), (ene-feb). Bogotá (Colombia): Federación Colombiana de Ganaderos. p. 16-32. ISSN: 0123-2312 <<http://www.slideshare.net/Fedegan/impacto-deltlcconlaunineuropeacartafedegan134>> [consulta: 02/10/2013]
- FEDERACIÓN COLOMBIANA DE GANADEROS, FEDEGAN (2011). México: Cultura milenaria, 16 años de TLC con Estados Unidos [en línea]. En: Carta Fedegan No. 127 (Informe Especial: V Gira Técnica internacional), (nov-dic). Bogotá (Colombia): Federación Colombiana de Ganaderos. p. 14-27. ISSN: 0123-2312 <<http://www.slideshare.net/Fedegan/mxico-ysutratadodelibrecomercioconestadosunidosfedegancarta127>> [consulta: 02/10/2013]

- HERNÁNDEZ ORALLO, J.; RAMÍREZ QUNITANA, M. J. & FERRI RAMÍREZ, C. (2004). *Introducción a la Minería de datos*. Madrid, España: Pearson Educación S.A. 680 p. ISBN: 978-84-205-4091-8.
- ISAZA LONDOÑO, O. (2009). Efecto del manejo eficiente sobre los índices reproductivos y productivos de un hato lechero de trópico bajo del eje Cafetero Colombiano [en línea]. Tesis de grado (Especialista en reproducción bovina). Córdoba (Argentina): Universidad Nacional de Córdoba. 14 p. <<http://www.iracbiogen.com.ar/admin/biblioteca/documentos/TRABAJO%20FINAL%20ESPECIALIZACION%20ISAZA%20LONDO%C3%91O.pdf>> [consulta: 05/23/2013].
- OBREGÓN POLO, D. A. (2009). Utilización de dos métodos de sincronización de celos en cuyas multíparas. Tesis de grado (Ingeniero Zootecnista). Riobamba (Ecuador): Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela de Ingeniería Zootécnica. 136 p. <<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1393/1/17T0890.pdf>> [consulta: 12/03/2012].
- PEÑAYALA, A. (2006). *Ingeniería de Software: Una Guía para Crear Sistemas de Información*. México D.F. (México): Instituto Politécnico Nacional. 100 p. ISBN: 970-94797-0-9 <http://www.wolnm.org/apa/articulos/Ingenieria_Software.pdf> [consulta: 06/11/2013].
- POPESCU, M., & XU, D. (ed.) (2009). *Data Mining in Biomedicine Using Ontologies*. Series: Artech House Series Bioinformatics & Biomedical Imaging. 262 p. ISBN: 978-1-59693-370-5
- PRIETO MAZUERA, V., PRIETO MAZUERA, M. & OSORIO, P. A. (2009). *Guía para la Creación de un Plan de Negocio: Ganadería Jaicana*. Tesis (Administrador de Empresas). Medellín (Colombia): Universidad de la Empresa Ceipa, Facultad de Administración de Empresas. 53 p. <http://aplicaciones.ceipa.edu.co/biblioteca/biblio_digital/virtualteca/monografias/ganaderia_jaicana.pdf> [consulta: 07/23/2013].
- RIVAS CÁCERES, R. & BARCELÓ FIMBRES, M. (comp.) (2011). *Manual de prácticas biología de la reproducción* [en línea]. Ciudad Juárez (Chihuahua, México): Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. 98 p. <<http://www.uacj.mx/ICB/cqb/licenciaturaenbiolog%C3%ADa/Documents/Manuales/optativas/BIOLOGIA%20DE%20LA%20REPRODUCCION.pdf>> [consulta: 06/23/2013].
- ROSENBER, D. & SCOTT, K. (2001). *Introduction to the ICONIX Process of Software Modeling* [online]. In: InfomIT (12/10/2011). Indianapolis (Indiana, USA): Pearson Education. <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=167902> [consult: 22/02/2013].
- TRIBULO, H. E. (2000). Transferencia de embriones (curso). En: *Especialización en reproducción bovina*. Córdoba (Argentina): Instituto de Reproducción Animal Córdoba, IRAC. p. 78-80