

APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS (SIG) PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE GANADERÍA DE PRECISIÓN

Holmes Rodríguez Espinosa, Anderson Bastidas Duque y Javier Evelio Naranjo Arroyave¹. 2016. Livestock Research for Rural Development 28(8).

Grupo GAMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia (UdeA), Calle 70 N° 52-21, Medellín, Colombia.

holmes.rodriguez@udea.edu.co

1) Soluciones Agropecuarias Integrales, Medellín, Colombia.

www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Índice verde](#); [teledetección ambiental](#); [SIG](#); [drones](#)

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta importante para optimizar la toma de decisiones en la producción animal a partir del análisis de la información geo-referenciada recopilada en la finca. Sin embargo, su uso en el contexto colombiano no ha sido muy extendido; razón por la cual el objetivo de este estudio es identificar la aplicación potencial de los SIG para la implementación de sistemas de precisión en la producción ganadera de leche. Se analizaron bajo un ejercicio interpretativo 50 artículos, identificados a partir de la consulta de bases de datos bibliográficas especializadas; se utilizó análisis de correspondencia simple, y análisis de clúster, complementándose con distribuciones de frecuencia unidimensional.

Los resultados del presente estudio permitieron identificar aspectos de uso potencial de los SIG en ganadería de precisión tal como optimización del pastoreo; optimización de la fertilización y el riego; vigilancia epidemiológica; y prospección del impacto ambiental generado por el proceso productivo.

Palabras clave: geo-referenciación, producción de leche, tecnología agropecuaria

APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS) FOR THE IMPLEMENTATION OF PRECISION FARMING

ABSTRACT

The Geographic Information Systems (GIS) are an important tool to optimize decision-making in animal production based on the analysis of geo-referenced information collected on the farm. However, its use in the Colombian context is not widespread. The objective of this study was to identify the potential of GIS to implement precision systems on dairy cattle. Fifty articles identified from the consultation of specialized bibliographic databases, under an interpretive exercise, were analyzed; and simple correspondence analysis and cluster analysis, complemented with one-dimensional frequency distributions was used.

Grazing optimization, fertilization and irrigation optimization, epidemiological surveillance as well as environmental impact prospecting, were identified as areas of potential use of GIS in precision farming.

Keywords: agricultural technology, dairy cattle, geo-referencing

INTRODUCCIÓN

Un sistema de información geográfica (SIG) es una tecnología de manejo de información cartográfica, por medio de programas computacionales que permiten el manejo y análisis de datos espaciales (Parra-Henao 2010); convirtiéndose en una herramienta que permite integrar información de manera rápida y sencilla con el fin de realizar un análisis detallado de las variables de forma independiente o de la interacción entre ellas (Adrian et al 2005). Los programas de SIG pueden agruparse de acuerdo con su funcionalidad en sistemas para la gestión de datos en aspectos como creación, almacenamiento, edición, visualización y exploración; integración de datos de diferentes fuentes; consulta de datos para seleccionar subconjuntos de ellos; análisis de datos para la creación de información nueva; transformación de datos y creación de mapas (Lamb et al 2008; Pina et al 2010).

Desde la introducción de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS por su sigla en inglés) de bajo costo, se ha incrementado su uso en actividades como la agricultura (Stafford 2000), originando el concepto de agricultura de precisión (AP), referida ésta a la recolección de la información geo-referenciada necesaria para supervisar o administrar espacialmente explotaciones agrícolas (Zhang et al 2002; Lamb et al 2008). La AP busca optimizar el manejo de la producción agrícola para disminuir los costos y aumentar la eficiencia, teniendo en cuenta la va-

riabilidad de los agro-ecosistemas, en los cuales se establecen estrategias para usar los insumos necesarios en la cantidad requerida, en el sitio adecuado y en el momento oportuno (Neményi et al 2003).

La AP se basa en tecnologías electrónicas, de telecomunicación y de informática, las cuales se conjugan con equipos agrícolas especialmente adaptados que permiten usos como la aplicación diferenciada de insumos según las necesidades del cultivo o del suelo, permitiendo mejorar la eficiencia de la producción por área e incrementar la productividad. La AP tiene diversos beneficios potenciales en la gestión de los cultivos: aumento en el rendimiento del cultivo; reducción en el uso de insumos como semillas, fertilizantes y agroquímicos y focalización más precisa de productos químicos agrícolas (Nahry et al 2011) y determinación de la vulnerabilidad de los suelos a la erosión (Zamudio y Méndez 2011).

De manera similar a la AP, surge el concepto de ganadería de precisión (GP) el cual se refiere de acuerdo con Day (2005) a un enfoque del sistema de producción basado en el uso intensivo e integrado de los avances en ciencias animales y la tecnología de la información y la comunicación. Según Cox (2002) y Laca (2009) se centra en el componente animal y explota la heterogeneidad en el espacio y entre los animales individuales hacia una producción más eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

Por tanto, la inclusión de todas las herramientas tecnológicas utilizadas en la AP a la ganadería, permitirá la generación de datos para mejorar la objetividad en la toma de decisiones, favoreciendo la optimización del manejo de cada uno de los componentes de los hatos ganaderos (Pomar et al 2011), además de la ubicación exacta de las áreas que lo conforman, permitiendo la aplicación de prácticas enfocadas en las necesidades específicas de cada sitio, lo cual contribuirá a mejorar la competitividad por medio del aumento de la producción y la reducción de los costos de producción. Por esta razón el propósito de este estudio fue identificar la aplicación potencial de los SIG para la implementación de ganadería de precisión en la producción de leche.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio de carácter cualitativo para establecer las tendencias del concepto de agricultura de precisión y sus aplicaciones al tema central del estudio que es la ganadería de precisión. Se llevó a cabo una búsqueda de artículos científicos relacionados con agricultura de precisión y el uso en la producción agropecuaria de SIG, sensores remotos, GPS, análisis georeferenciado e imágenes satelitales; en las bases de datos bibliográficas Science Direct, Scielo y Dialnet, en el período 1996-2015. Se encontraron 50 artículos que se ajustaron a los criterios de búsqueda establecidos, los cuales fueron analizados bajo un ejercicio interpretativo, utilizando el método comparativo constante (Glaser 1965), para lograr un análisis temático del contenido (Krippendorf 2004), clasificando los resultados con una definición operativa de la categoría de análisis, ganadería de precisión.

METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

Se empleó análisis de correspondencia simple, con clasificación jerárquica indexada, tomando como variable activa el tema principal del artículo con relación a la categoría de análisis, ganadería de precisión; y como variables ilustrativas la región: Africa, América, Asia, Europa y Oceanía y el período de publicación del artículo: antes de 2005, 2006-2010 y 2011-2015 (Tabla 1). Evaluando la calidad de la representación por medio de los cosenos cuadrados, se utilizó análisis comparativo con factor de ajuste por tema principal, complementándose con distribuciones de frecuencia unidimensional. Se utilizaron los paquetes estadísticos SAS University Virtual Application y SPAD versión 3.5. Se realizaron análisis de clúster jerárquico con los procedimientos hclust de la librería stat y hclustvar de la librería ClustOfVar (Chavent et al 2012) del R-project (R Core Team 2014).

Tabla 1. Variables utilizadas

Variable	Tipo	Distribución	Carácter
Tema principal	Cualitativa	Multinomial	Activa
Región	Cualitativa	Multinomial	Suplementaria
Período	Cualitativa	Multinomial	Suplementaria

Fuente: Elaboración propia, 2015

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de las tendencias en agricultura de precisión

El análisis temático del contenido arrojó un total de 10 temas relacionados con la investigación sobre el uso de los SIG para la implementación de sistemas de precisión en el sector agropecuario y permitió identificar el manejo de praderas como tópico principal, presentando una diferencia significativa con el resto de áreas (Tabla 2).

Tabla 2. Uso de los SIG para la implementación de sistemas de precisión en el sector agropecuario

Área del conocimiento	Nº Artículos	Porcentaje*
Manejo de praderas	11	22 a
Fertilización	8	16 ab
Planificación ambiental	7	14 ab
Epidemiología	6	12 b
Adopción de SIG	5	8 bc
Optimización de la producción	4	8 bc
Riego	3	6 c
Energía alternativa	3	6 c
Nutrición	2	4 c
Erosión	2	4 c
Total	50	

Fuente: Elaboración propia, 2015.

* Letras distintas indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$)

Por otra parte, el análisis de clúster permitió identificar el agrupamiento de los temas de investigación en: manejo de praderas, fertilización y riego, planificación ambiental, epidemiología y otros (Figura 1).

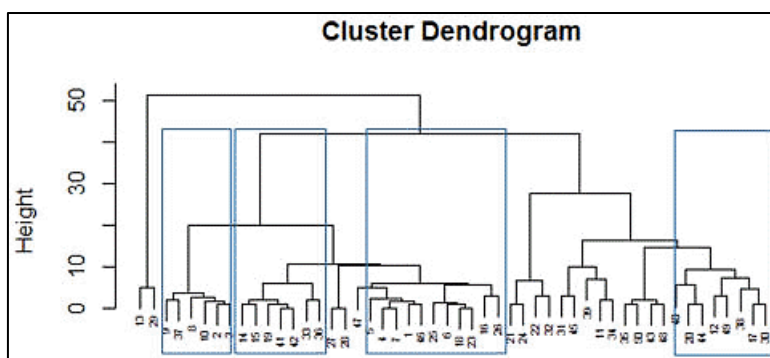


Figura 1. Agrupamiento de temas de investigación sobre uso de SIG en agricultura

El análisis de factores principales, permitió identificar el factor de impacto de cada uno de los temas de investigación agrupados, encontrando como de alto impacto el manejo de praderas, fertilización y riego y de medio impacto planificación ambiental y epidemiología (Tabla 3).

Tabla 3. Factores principales de peso asociados a los temas

Tema	Impacto	Factor de Impacto
Manejo de praderas	Alto	0.35
Fertilización y Riego	Alto	0.27
Planificación ambiental	Medio	0.18
Epidemiología	Medio	0.12
Otros temas	Bajo	0.08

Fuente: Elaboración propia, 2014

Manejo de praderas

Con respecto al tema de manejo de praderas, los estudios se han orientado a la optimización del pastoreo, identificación de áreas productivas y el comportamiento de los animales. Con relación a la optimización, se han reportado estudios (Bollig y Feller 2014) sobre la evaluación de pasturas afectadas por condiciones de sequía para la identificación de las zonas de mayor impacto. Otros estudios (Farruggia et al 2014) reportan la comparación de sistemas de pastoreo continuo y rotacional para evaluar su impacto en la producción de leche, encontrando que el sistema de pastoreo continuo es mejor en condiciones de gran disponibilidad de forraje, mientras el sistema rotacional dio mejores resultados cuando se vio disminuida la cantidad del forraje, debido a la optimización del consumo del mismo.

Por su parte, Amiri et al (2012) y Petropoulos et al (2015) evaluaron la utilización de los SIG para planificar el manejo sostenible de las praderas teniendo en cuenta las pendientes y las fuentes de agua disponibles para de-

terminar cuales tienen mayor influencia en la degradación del suelo y así prevenir los procesos erosivos en los mismos.

Otros autores (De Faccio et al 2009; Ramos et al 2012) han estudiado el uso de la información detallada y geo-referenciada de potreros para la toma de decisiones sobre los métodos más eficientes de manejo para mejorar la productividad. Esto ha conllevado al concepto de pastoreo de precisión, consistente en la utilización de los SIG para el estudio del comportamiento animal y la fisiología para mejorar la producción en pastoreo de: leche, carne, lana y para minimizar el sobrepastoreo de las zonas sensibles (Laca 2009).

Yu et al (2010) realizaron estudios en ovejas para estimar el rendimiento de las pasturas y la capacidad de carga máxima por año, utilizando datos de sensores remotos, imágenes de espectrorradiómetro y datos geospaciales para el cálculo de índices de vegetación; Rutter et al (1997) y Díaz Falú et al (2014) realizaron seguimientos mediante GPS, para identificar áreas de distribución y zonas de pastoreo preferidas por las ovejas. En esta misma línea, Putfarken et al (2008) y Laca (2009) realizaron estudios para identificar cuáles eran los tipos de vegetación preferidos por el ganado y las ovejas, con la ayuda de la tecnología de precisión, se logró identificar que el ganado prefiere hábitats húmedos y productivos, mientras las ovejas los prefieren secos y de baja calidad nutricional, cuando había buena disponibilidad de alimento.

Schlecht et al (2004) por su parte, evaluaron el comportamiento de los animales en campo, utilizando GPS para medir la velocidad de pastoreo y los períodos de descanso. En este mismo sentido, Barbari et al (2006) y Ganskopp et al (2000) encontraron que el seguimiento del ganado en campo mediante la utilización de herramientas como GPS facilita la identificación de áreas donde éste prefiere pastorear y caminos que recorre con mayor frecuencia, toda esta información permite obtener herramientas de planificación para la suplementación y distribución de áreas en los potreros, que aumentan la rentabilidad del sistema productivo.

Del mismo modo, Godwin et al (2003) evaluaron las condiciones de pastoreo para sectorizar las áreas de mayor aprovechamiento de pasturas y aquellas en las cuales probablemente las malezas ocupen un espacio considerable, disminuyendo la disponibilidad de los pastos, para su control mediante la aplicación localizada de herbicidas.

Los resultados anteriores permiten inferir que los SIG pueden ser una herramienta muy útil para optimizar el manejo de los sistemas de pastoreo mediante una mejor toma de decisiones con base en el análisis de la información geo-localizada para mejorar la producción de leche gracias al seguimiento de los animales, la distribución adecuada de áreas para el pastoreo, el manejo sostenible de las praderas para evitar su degradación, cálculos de rendimiento de la pradera y capacidad de carga, la selección del sistema más apropiado de pastoreo acorde con las condiciones climáticas, el control localizado de malezas y la planificación de estrategias para afrontar situaciones climáticas severas.

Fertilización y Riego

El conocimiento de las condiciones físico-químicas del suelo para cualquier cultivo, permite desarrollar mecanismos para el máximo aprovechamiento de los recursos presentes en él además de programar la aplicación de elementos que no se encuentren y sean requeridos por el cultivo; al respecto, Pilehforooshha et al (2014) plantearon un modelo para la planificación del uso de las tierras rurales, de acuerdo con las características del suelo para identificar el cultivo adecuado a establecer en cada zona. A su vez, Amiama-Ares et al (2011) analizaron alternativas que en la actualidad son de uso común en sistemas de fertilización, como el sistema guiado por GPS, que mediante su utilización permite identificar zonas que requieren diferentes cantidades de fertilizante, hacer más eficiente la aplicación y evitar pérdidas económicas.

Pringle et al (2014) evaluaron el requerimiento de fertilizantes en cultivos como las gramíneas, acordes al desarrollo de su sistema radicular en los perfiles superficiales del suelo; encontrando una mayor cantidad de pérdida de nutrientes en los primeros 10 cm de su perfil en los suelos utilizados en la ganadería. Otros autores reportan las ventajas de la fertilización por sitio con nitrógeno y materia orgánica, para aumentar el desarrollo y calidad del cultivo (Auernhammer 2001; Neményi et al 2003; Tobasura-Acuña and Ospina 2012).

Morari et al (2004) por su parte, evaluaron simuladores para seleccionar mejores prácticas en el manejo de la fertilización y la planificación de sistemas de riego; demostrando que controlar el flujo de agua en el sistema riego permite reducir la contaminación, al reducir el desperdicio del fertilizante. De Paz y Ramos (2004) reportan, sin embargo, que la mezcla de los fertilizantes con el agua de riego de los cultivos puede cambiar las propiedades físico-químicas del fertilizante, debido a esto, es importante tener en cuenta factores que pueden intervenir en la eficiencia de la fertilización como: el contenido de nitratos del suelo, la evapotranspiración del cultivo, la tasa de lixiviación y la precipitación.

Elbeih (2014) encontró que los SIG son una herramienta poco invasiva que permite la identificación y el estudio de aguas subterráneas, consideradas como una de las reservas de agua dulce más grandes del planeta. Peragón et al (2015) analizaron un sistema de riego con dos fuentes de agua superficial y subterránea; mediante análisis hidro-químicos y la modelación de la información en un SIG, obtuvieron mapas para el análisis de distintos

riesgos: degradación de suelos, trastornos nutricionales de las plantas, obstrucción de los sistemas de riego, permitiendo con esta información optimizar la irrigación en el cultivo.

El análisis de los resultados mencionados anteriormente permite determinar que la utilización de los SIG en los planes de fertilización y riego aportan al sistema producción un mejor aprovechamiento de los suelos, mediante el conocimiento de las condiciones físico-químicas, la identificación del uso de la tierra, el uso de diferentes sistemas de fertilización, la cantidad de fertilizante aplicado por sitio y la optimización en los sistemas de riego.

Epidemiología

La adopción de tecnologías que brinden una visión amplia de lo que puede estar sucediendo en las explotaciones ganaderas, dan una gran ventaja para la detección temprana de problemas no solo sanitarios, sino también productivos, reproductivos y las causas que puedan estarlos generando. De las pocas ramas de la producción animal que han incursionado en el uso de los SIG, está la Medicina Veterinaria que ha utilizado la información de los sistemas remotos para estudios epidemiológicos (Parra-Henao 2010).

En este sentido Raizman et al (2013) han evidenciado que los SIG han sido utilizados para la focalización y control de las enfermedades del ganado bovino, al ser considerado el movimiento de los animales como una de las principales causas de la propagación de las enfermedades infecciosas. Los SIG se han utilizado para la detección, vigilancia y control de enfermedades, como la malaria, dengue, fiebre aftosa, tuberculosis entre otras, relacionadas con el movimiento de los animales (Eagleson et al 2006; Parra-Henao 2010). Tum et al (2007) analizaron en bovinos y búfalos la integración de otros factores para identificar la distribución y prevalencia de las enfermedades, mostrando como la cercanía a fuentes de agua, el uso del suelo, la pendiente, la elevación y la densidad de los animales, influyó en la propagación de la enfermedad.

Un estudio realizado sobre la tuberculosis bovina por Zendejas et al (2007), combinando los SIG con el método geo-estadístico de Krigeaje permitió predecir la distribución y la prevalencia de la enfermedad, para finalmente determinar la eficacia del método de predicción comparando el mapa de la predicción basado en una muestra de 2.287 hatos con el mapa de la distribución municipal incluyendo el total de 48.766 hatos, encontrando una gran similitud de las zonas de prevalencia de tuberculosis bovina en ambos mapas.

El uso de los SIG es una herramienta útil en los sistemas de producción ganadera ya que permiten hacer un seguimiento sanitario al hatos para la identificación temprana de problemas no solo sanitarios, si no todos aquellos asociados a éstos, que pueden ser reproductivos y nutricionales, la detección, focalización y control de las enfermedades, así como, su distribución y prevalencia a nivel predial y regional.

Planificación ambiental

En la actualidad es fácil hacer un análisis de eventos que han sucedido y entregar reportes sobre algo que afectó la producción o que pasó en el desarrollo de un proceso, pero es difícil prever a futuro como va a ser el comportamiento de una situación. La integración de información a un SIG, permite realizar un análisis profundo de los datos y entrega herramientas para crear un modelo en el cual este muestre alertas tempranas sobre el comportamiento de nuestra producción o sobre situaciones que se puedan llegar a presentar en el trabajo o estudio que se esté realizando (Smith et al 2014).

En estudios realizados en sistemas agrícolas y de pastoreo, con el conocimiento de la edad, duración y tipo de cultivo, se identificaron zonas y se crearon mapas predictivos, para mostrar cómo puede evolucionar la producción en el espacio y tiempo (Cecchi et al 2010; Bolívar et al 2013).

Rodríguez de Paiva et al (2007) encontraron que el uso de los SIG permite la estimación de parámetros climáticos con alta probabilidad, lo cual permite realizar caracterizaciones para definir unidades agroecológicas; permitiendo a los SIG ser utilizados en el cálculo de la diversidad ecológica del paisaje (Rocchini et al 2013). Para Nardone et al (2010) el conocimiento de las condiciones climáticas y agroecológicas que rodean los cultivos ayuda a predecir el comportamiento de la producción; debido a que el cambio climático cada vez es más acelerado, los animales y plantas tienen que enfrentarse a situaciones de estrés periódicamente, disminuyendo su producción.

Montoya-Ayala et al (2004) por otra parte, evaluaron el uso de los SIG como medida de planificación, para predecir el impacto generado en determinadas zonas ante el desarrollo de una actividad y poder descartar procesos que puedan afectar el entorno en el que serán realizados, determinando así, de acuerdo a la actividad a implementar una serie de factores y variables que deben ser analizados para determinar el impacto que se pueda generar.

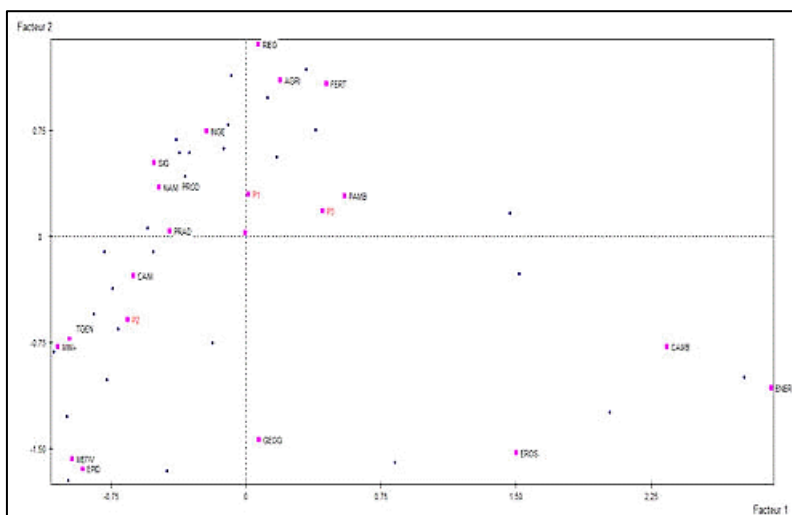
La planificación de procesos en el sistema productivo ganadero puede dar mejores resultados, si se vincula la información a los SIG, como lo muestran los estudios anteriores, el análisis de la información por medio de un SIG permite modelar cómo puede ser el comportamiento de una situación a futuro, crear alertas tempranas, estimar parámetros que dependen o influyen en algún proceso, prever como va a ser el comportamiento de la producción y finalmente hacer algunas predicciones del impacto generado por la realización de las actividades en el proceso productivo.

Otras aplicaciones de los SIG

El uso de los SIG en la localización y cuantificación de las fuentes potenciales de energía en la actualidad, es una alternativa de aprovechamiento debido a la creciente demanda de energías renovables y a la protección del medio ambiente, como lo indica (Zambelli et al 2012) existen regiones muy boscosas como los Alpes, que cuentan con grandes fuentes de energía renovable como la madera, que por medio del análisis en un software de la biomasa forestal, permiten determinar la disponibilidad de los recursos y dar un manejo forestal adecuado. Batzias et al (2005) analizaron el uso del estiércol del ganado en la producción de biogás, estimando la cantidad de energía que se podría producir en una región determinada, mediante la localización de zonas de alta influencia ganadera con el uso de SIG. Del mismo modo, Hiloidhari y Baruah (2014) analizaron la utilización de residuos agrícolas, mediante la evaluación temporal de su disponibilidad con el uso de la teledetección.

Para Rodríguez et al (2015) el uso del SIG es una herramienta útil para la planificación de la asistencia técnica con enfoque territorial, ya que esta tecnología permite la identificación de niveles de adopción tecnológica por sectores dentro del territorio, contribuyendo a mejorar la eficiencia en el uso de los recursos al disminuir la subjetividad en la toma de decisiones a partir de la definición de alternativas de solución ajustadas a las necesidades locales y el manejo de la información para realizar seguimiento y evaluación del servicio de asistencia técnica.

Por otra parte, el análisis de correspondencia simple asociado con el período, permitió identificar el manejo de praderas como tendencia en la investigación sobre el uso de SIG en los períodos 1 (antes de 2005) y 2 (2006-2010), mientras la planificación ambiental se identifica como tendencia en el período 3 (2011-2015) (Figura 2). A su vez, el análisis de correspondencia simple asociado con la región, permitió identificar el manejo de praderas como tema de interés en la investigación en África, América y Oceanía, mientras la planificación ambiental se identifica como tema de interés en Europa (Figura 3).



Plano factorial de correspondencias simples, asociado con el período

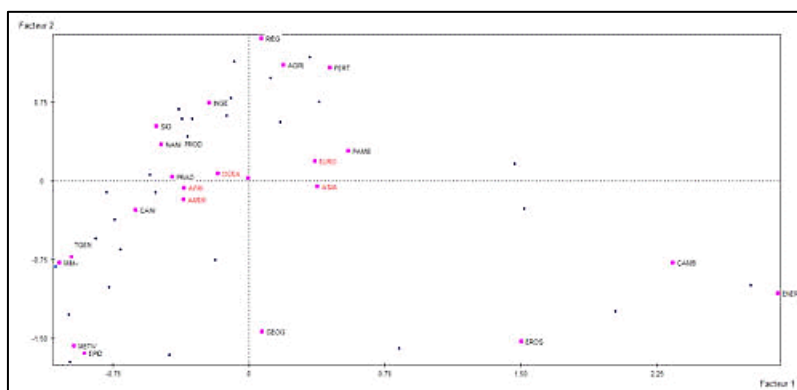


Figura 2. Planos factoriales de correspondencias simples relacionados con el período y la región

CONCLUSIONES

- ◆ Los resultados del presente estudio identificaron el potencial de los SIG para la implementación de sistemas de precisión en la producción ganadera de leche; esto significa que en la planificación de la producción debe incorporarse la ganadería de precisión como un nuevo enfoque para la optimización de los sistemas productivos.

- ◆ La optimización del pastoreo es uno de los aspectos en los cuales los SIG tendrían mayor utilidad permitiendo mejorar la toma de decisiones con base en el análisis de la información geo-localizada mejorando así la producción de leche gracias a la optimización del rendimiento de la pradera, la capacidad de carga, manejo sostenible de los recursos, la selección del sistema más apropiado de pastoreo, el control localizado de malezas y la planificación de estrategias para afrontar situaciones climáticas severas.
- ◆ Las investigaciones sobre el uso de los SIG hacen énfasis en la aplicación por sitio de lo estrictamente necesario, ya sea en fertilización, aplicación de fungicidas, siembra de semillas o sistemas de riego. El concepto de precisión es lo que hace de este enfoque un sistema que mediante su aplicación, proporcione resultados satisfactorios en cada uno de los procesos en que interviene, permitiendo optimizar el uso de los recursos para aumentar la rentabilidad del sistema productivo.
- ◆ Adicionalmente, la vinculación de la información a los SIG permite modelar el comportamiento de una situación a futuro, crear alertas tempranas, estimar parámetros que dependen o influyen en algún proceso, prever el comportamiento de la producción y hacer predicciones del impacto generado por la realización de las actividades en el proceso productivo.

REFERENCIAS

- Adrian A M, Norwood S H and Mask P L 2005** Producers perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 48, 256–271.
- Amiama-Ares C, Bueno-Lema J, Alvarez-Lopez C J and Riveiro-Valiño J 2011** Manual GPS guidance system for agricultural vehicles. *Spanish Journal of Agricultural Research*, Volume 9, Number 3, 702–712.
- Amiri F, Mohamed Shariff A R B and Tabatabaie T 2012** Monitoring Land Suitability for Mixed Livestock Grazing Using Geographic Information System (GIS), Retrieved may 15, 2015, from: <http://www.intechopen.com/books/application-of-geographic-information-systems/monitoring-land-suitability-for-mixed-livestock-grazing-using-geographic-information-system-gis>
- Auernhammer H 2001** Precision farming - The environmental challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 30, 31–43.
- Barbari M, Conti L, Koostra B K, Masi G, Guerri F S and Workman S R 2006** The Use of Global Positioning and Geographical Information Systems in the Management of Extensive Cattle Grazing. *Biosystems Engineering*, Volume 95, 271–280.
- Batzias F, Sidiras D K and Spyrou E K 2005** Evaluating livestock manures for biogas production: A GIS based method. *Renewable Energy*, Volume 30, 1161–1176.
- Bolívar K, Dominguez J A, Arroyo A T, Perret J y Soto M 2013** Análisis geo-referenciado de la distribución del número de manos por racimo en un área bananera. *Agronomía costarricense*, Volume 37, Number 2, 105–113.
- Bollig C and Feller U 2014** Impacts of drought stress on water relations and carbon assimilation in grassland species at different altitudes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 188, 212–220.
- Cecchi G, Wint W, Shaw A, Marletta A, Mattioli R and Robinson T 2010** Geographic distribution and environmental characterization of livestock production systems in Eastern Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Volume 135, 98–110.
- Chavent M, Kuentz V, Lique B and Saracco J 2012** . ClustOfVar: An R Package for the Clustering of Variables. *Journal of Statistical Software*, Volume 50, Number 2, 1–16.
- Cox S 2002** Information technology: The global key to precision agriculture and sustainability. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 36, 93–111.
- Day W 2005** Engineering precision into variable biological systems. *Annals of Applied Biology*, Volume 146, 155–162.
- De Faccio P C, Da Trindade J K, Mezzalira J C, Candal C H, Nabinger C, Moraes T C e Gonda H L 2009** . Do bocado ao pastoreio de precisão: Compreendendo a interface planta-animal para explorar a multi-funcionalidade das pastagens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Volume 38, supl. especial, 109–122
- De Paz J M and Ramos C 2004** Simulation of nitrate leaching for different nitrogen fertilization rates in a region of Valencia (Spain) using a GIS-GLEAMS system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Volume 103, 59–73.
- Díaz Falú E M, Brizuela M Á, Cid M S, Cibils A F, Cendoya M G and Bendersky D 2014** Daily feeding site selection of cattle and sheep co-grazing a heterogeneous subtropical grassland. *Livestock Science*, Volume 161, 147–157.
- Eagleson S, Veenendaal B, Watkins R, Wright G and Plant A 2006** Spatial algorithm for detecting disease outbreaks in Australia. *Serie Geográfica*, Volume 12, 39 – 55.
- Elbeih S F 2014** An overview of integrated remote sensing and GIS for groundwater mapping in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, Volume 6, Number 1, 1–15.
- Farruggia A, Pomiès D, Coppa M, Ferlay A, Verdier-Metz I, Le Morvan A and Martin B 2014** Animal performances, pasture biodiversity and dairy product quality: How it works in contrasted mountain grazing systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Volume 185, 231–244.
- Ganskopp D, Cruz R and Johnson D E 2000** Least-effort pathways?: A GIS analysis of livestock trails in rugged terrain. *Applied Animal Behaviour Science*, Volume 68, 179–190.
- Glaser B G 1965** . The constant comparative method of qualitative analysis. *Social Problems*, Volume 12, Number 4, 436–445.
- Godwin R J, Richards T E, Wood G A, Welsh J P and Knight S M 2003** An economic analysis of the potential for precision farming in UK cereal production. *Biosystems Engineering*, Volume 84, 533–545.

- Hiloidhari M and Baruah D C 2014** GIS mapping of rice straw residue for bioenergy purpose in a rural area of Assam, India. *Biomass and Bioenergy*, Volume 71, 125–133.
- Krippendorf K 2004** . Reliability in content analysis: Some common misconceptions and recommendations. *Human Communication Research*, Volume 30, 411–433.
- Laca E 2009** Precision livestock production: tools and concepts. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Volume 38, 123–132.
- Lamb D W, Frazier P and Adams P 2008** Improving pathways to adoption: Putting the right P's in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 61, 4–9.
- Montoya Ayala R, García Palomares J C y Padilla Ramírez J 2004** Utilización de un SIG para la determinación del impacto ambiental generado por actividades agrícolas, ganaderas e industriales: el caso del Valle de Zapotitlán en la RBTC. *Boletín de La A. G. E.*, 115–129.
- Morari F, Lugato E and Borin M 2004** An integrated non-point source model-GIS system for selecting criteria of best management practices in the Po Valley, North Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Volume 102, 247–262.
- Nahry A H, El Ali R R and Baroudy A A 2011** An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques. *Agricultural Water Management*, Volume 98, Number 4, 517–531.
- Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri M S and Bernabucci U 2010** Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, Volume 130, 57–69.
- Neményi M, Mesterházi P Á, Pecze Z and Stépán Z 2003** The role of GIS and GPS in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 40, 45–55.
- Parra-Henao G 2010** Sistemas de información geográfica y sensores remotos. Aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores. *Revista CES Medicina*, Volume 24, 75–89.
- Peragón J M, Delgado A and Pérez-Latorre F J 2015** A GIS-based quality assessment model for olive tree irrigation water in southern Spain. *Agricultural Water Management*, Volume 148, 232–240.
- Petropoulos G P, Kalivas D P, Griffiths H M and Dimou P P 2015** Remote sensing and GIS analysis for mapping spatio-temporal changes of erosion and deposition of two Mediterranean river deltas: The case of the Axios and Aliakmonas rivers, Greece. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 35, 217–228.
- Pilehforooshha P, Karimi M and Taleai M 2014** A GIS-based agricultural land-use allocation model coupling increase and decrease in land demand. *Agricultural Systems*, Volume 130, 116–125.
- Pina M F, Ferreira S, Correia A S y Castro A 2010** Epidemiología espacial: nuevos enfoques para viejas preguntas. *Univ Odontol*, Volume 29, Number 63, 47-65.
- Pomar J, López V and Pomar C 2011** Agent-based simulation framework for virtual prototyping of advanced livestock precision feeding systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 78, Number 1, 88–97.
- Pringle M J, Allen D E, Phelps D G, Bray S G, Orton T G and Dalal R C 2014** The effect of pasture utilization rate on stocks of soil organic carbon and total nitrogen in a semi-arid tropical grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Volume 195, 83–90.
- Putfarken D, Dengler J, Lehmann S and Härdtle W 2008** Site use of grazing cattle and sheep in a large-scale pasture landscape: A GPS/GIS assessment. *Applied Animal Behaviour Science*, Volume 111, 54–67.
- R Core Team 2014** R: A language and environment for statistical computing. Retrieved may 16, 2015, from: <http://www.r-project.org>
- Raizman E A, Rasmussen H B, King L E, Ihwagi F W and Douglas-Hamilton I 2013** Feasibility study on the spatial and temporal movement of Samburu's cattle and wildlife in Kenya using GPS radio-tracking, remote sensing and GIS. *Preventive Veterinary Medicine*, Volume 111, 76–80.
- Ramos L F, Barros C, McManus C and Amaral J P 2012** . Use of satellite images for geographical localization of livestock holdings in Brazil. *Preventive Veterinary Medicine*, Volume 103, 74–77.
- Rocchini D, Delucchi L, Bacaro G, Cavallini P, Feilhauer H, Foody G M and Neteler M 2013** Calculating landscape diversity with information-theory based indices: A GRASS GIS solution. *Ecological Informatics*, Volume 17, 82–93.
- Rodríguez de Paiva M F, Cortez Marín A L y Parra Pérez R M 2007** Los sistemas de información geográfica aplicados a la climatología. *Revista Digital Ceniap Hoy*, Volume 13, 1–12. Retrieved may 14, 2015, from: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n13/pdf/rodriguez_mf.pdf
- Rodríguez H, Cerón-Muñoz M F, Palacio L G y Bedoya G I 2015** Aplicación de los sistemas de información geográfica en la planificación de la asistencia técnica con enfoque territorial en cadena láctea. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 27, Retrieved July 22, 2015, from: <http://www.lrrd.org/lrrd27/5/rodr27102.html>
- Rutter S M, Beresford N A and Roberts G 1997** Use of GPS to identify the grazing areas of hill sheep. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 17, 177–188.
- Schlecht E, Hülsebusch C, Mahler F and Becker K 2004** The use of differentially corrected global positioning system to monitor activities of cattle at pasture. *Applied Animal Behaviour Science*, Volume 85, 185–202.
- Smith A M S, Kolden C A, Tinkham W T, Talhelm A F, Marshall J D, Hudak A T and Gosz J R 2014** Remote sensing the vulnerability of vegetation in natural terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, Volume 154, 322–337.
- Stafford J V 2000** Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Volume 76, 267–275.
- Tobasura I A y Ospina C E 2012** De la transferencia de tecnología a la mediación participativa. *Agricultura de conservación en suelos de ladera del departamento de Caldas (Colombia)*. *Suelos Ecuatoriales*, Volume 42, Number 1, 50-55.
- Tum S, Puotinen M L, Skerratt L F, Chan B and Sothoeun S 2007** Validation of a geographic information system model for mapping the risk of fasciolosis in cattle and buffaloes in Cambodia. *Veterinary Parasitology*, Volume 143, 364–367.

- Yu L, Zhou L, Liu W and Zhou H K 2010** Using Remote Sensing and GIS Technologies to Estimate Grass Yield and Livestock Carrying Capacity of Alpine Grasslands in Golog Prefecture, China. *Pedosphere*, Volume 20, Number 3, 342–351.
- Zambelli P, Lora C, Spinelli R, Tattoni C, Vitti A, Zatelli P and Ciolli M 2012** A GIS decision support system for regional forest management to assess biomass availability for renewable energy production. *Environmental Modelling and Software*, Volume 38, 203–213.
- Zamudio V y Méndez E 2011** La vulnerabilidad de erosión de suelos agrícolas en la región centro-sur del estado de Nayarit, México. *Ambiente y Desarrollo*, Volume 15, 11-40.
- Zendejas H, Milián F, García L, Cruz G, Anaya A M y Huitrón G 2007** . La utilidad de los sistemas de información geográfica en la predicción de la distribución regional de la tuberculosis bovina. *Téc Pecu Méx*, Volume 45, Number 3, 279–287.
- Zhang N, Wang M and Wang N 2002** Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 36, 113–132.

Volver a: [Índice verde](#); [teledetección ambiental](#); [SIG](#); [drones](#)