

Artículo de divulgación

Aplicación de tecnologías de percepción remota para una ganadería tradicional sostenible en zonas áridas

Use of remote sensing technologies for sustainable traditional ranching in arid zones

Judith Aviña-Hernández ^{1,*} , Juan José Montes-Sánchez ² 

¹ Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación-Programa de Agricultura en Zonas Áridas, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, Baja California Sur, México, 23096.

² Programa de Agricultura en Zonas Áridas, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, Baja California Sur, México, 23096; jmontes@cibnor.mx

* Autor para correspondencia: judithavin04@gmail.com

Recibido:

31/12/2025

Aceptado:

20/04/2026

Publicado:

1/05/2026

RESUMEN

La ganadería extensiva tradicional en las regiones áridas y semiáridas enfrenta importantes retos ecológicos, climáticos, sociales y económicos que requieren soluciones eficientes para mejorar la productividad y gestión de los recursos. Las tecnologías de percepción remota, como los vehículos aéreos no tripulados (VANT) y los dispositivos GPS, generan información con múltiples aplicaciones en la gestión del pastoreo extensivo. La resolución espacial fina (cm) y multiespectral (luz visible e infrarroja cercana) de las imágenes aéreas tomadas con VANT permite el análisis de características de la vegetación, tales como verdor, cobertura y biomasa. Por otro lado, la frecuencia (s) y precisión (m) con la que los dispositivos GPS registran la ubicación del ganado en tiempo real facilitan determinar el comportamiento durante el pastoreo, e.g., rutas de pastoreo, sitios de mayor abundancia, distancia recorrida diaria y gradientes de pastoreo. La información colectada permite adaptar las estrategias de manejo, como seleccionar áreas y tiempos de pastoreo, áreas y tiempos de descanso, modificación de rutas de pastoreo, reducción de gastos de energía por actividad, complementación alimenticia y distribución de instalaciones (e.g., bebederos, comederos y salas de ordeña). Esto con la meta de fortalecer la sostenibilidad de la ganadería extensiva tradicional en zonas áridas y semiáridas de México.

Palabras clave: Ganadería de precisión, ganado criollo, patrones de pastoreo, índices de vegetación, imágenes multiespectrales.

ABSTRACT

Traditional extensive livestock ranching in arid and semi-arid regions faces significant ecological, climatic, social, and economic challenges that require efficient solutions to improve productivity and resource management. Remote sensing technologies, such as unmanned aerial vehicles (UAVs) and GPS devices, generate information with multiple applications in extensive grazing management. The fine spatial resolution (cm) and multispectral (visible and near-infrared light) properties of aerial images captured with UAVs enable the analysis of vegetation characteristics, such as greenness, cover, and



biomass. Furthermore, the frequency (s) and accuracy (m) with which GPS devices record livestock's real-time location facilitate the determination of grazing behavior, e.g., grazing routes, areas of highest abundance, daily distance traveled, and grazing gradients. The collected information enables adaptation of management strategies, such as selecting grazing and rest areas and times, modifying grazing routes, reducing energy expenditure per activity, supplementing feed, and optimizing the distribution of facilities (e.g., troughs, feeders, and milking parlors). This is aimed at strengthening the sustainability of traditional extensive livestock ranching in Mexico's arid and semi-arid regions.

Keywords: Precision livestock, creole livestock, grazing patterns, vegetation indices, multispectral images.

INTRODUCCIÓN

La ganadería de precisión es un enfoque desarrollado para ofrecer sistemas de monitoreo y gestión que optimicen el manejo y la productividad ganadera a partir del aprovechamiento de información generada en tiempo real por sensores colocados en los animales (e.g., collares con GPS) o en su entorno (e.g., vehículos aéreos no tripulados, VANT) (Berckmans, 2017). Este enfoque ganadero busca mejorar la comprensión de la variabilidad del comportamiento individual y del rebaño en pastoreo, y de la vegetación donde se encuentra, proporcionando información para la toma de decisiones de manejo del ganado (Chizzotti *et al.*, 2022). En sistemas de ganadería extensiva tradicional, estas propuestas metodológicas pueden generar información que acompañe el conocimiento local de los ganaderos en la toma de decisiones de manejo (Plaza *et al.*, 2022). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es presentar una síntesis del estado del arte respecto a algunas de las principales aplicaciones de las tecnologías de observación remota como los VANT y los dispositivos de rastreo GPS en el monitoreo de la condición del agostadero y el movimiento del ganado en pastoreo extensivo, para un manejo eficiente y sostenible de la ganadería extensiva tradicional en zonas áridas como la región norte de México.

UN VISTAZO A LA GANADERÍA TRADICIONAL EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DE MÉXICO

Las regiones áridas y semiáridas representan en conjunto alrededor del 50% de la superficie de México y tienen la capacidad de proporcionar diversos recursos naturales y servicios ambientales a la sociedad. Entre estos se

encuentran la captura de carbono y el aprovisionamiento de especies forrajeras (árboles, arbustos, pastos y herbáceas) para la alimentación del ganado (Jurado *et al.*, 2022). A menudo la cría de ganado en pastoreo es la principal o única actividad económica viable que sustenta a las poblaciones rurales (Ramírez *et al.*, 2023).

Los orígenes de la ganadería en México se remontan a la introducción de animales domésticos de Europa durante las expediciones españolas en 1521. Las costumbres y formas de organización basadas en el movimiento de hatos trashumantes también fueron adoptadas (Villegas *et al.*, 2001). Actualmente, los sistemas tradicionales de producción ganadera en las regiones áridas y semiáridas de México utilizan principalmente el pastoreo extensivo basado en el uso de tierras ejidales y la mano de obra familiar. En este sistema de producción el ganado ramonea y pastorea la vegetación natural de los agostaderos (Figura 1) o modificada con especies forrajeras introducidas (e.g., pasto buffel, *Cenchrus ciliaris*). La complementación alimenticia es variable, de nula a alta, e incluye el uso de henos, esquilmos agrícolas, alimento concentrado y sales minerales. Esta complementación aumenta cuando las condiciones de sequía se acentúan (Vargas *et al.*, 2018).

Las precipitaciones erráticas, temperaturas altas y suelos con baja fertilidad que caracterizan a las zonas áridas y semiáridas representan desafíos considerables para los herbívoros en pastoreo. El uso de razas de ganado criollas favorece la adaptación de los animales para aprovechar mejor el forraje y tolerar condiciones ambientales extremas, lo que a su vez permite obtener beneficios para la diversidad vegetal y paisajística (Squires y Karami, 2015). La mayoría de las cabras mexicanas son resultados del cruce entre diversas razas como la Criolla, Nubia, Alpina, Saanen, Toggenburg y Boer (Avalos *et al.*, 2021). Por otra parte, el 90% del ganado bovino criollo del norte de México tiene un fuerte acervo genético



de *Bos taurus* y *Bos indicus* (Figura 2) (Méndez *et al.*, 2009). Por ejemplo, en regiones como la península de Baja California, la selección natural desempeñó un papel crucial para que los animales desarrollaran adaptabilidad por más de 300 años, convirtiéndose en el ganado criollo, localmente conocido como ganado Chinampo. Estos animales se caracterizan por ser pequeños y resistentes, capaces de sobrevivir y reproducirse en condiciones de extrema aridez (Álvarez *et al.*, 2024).

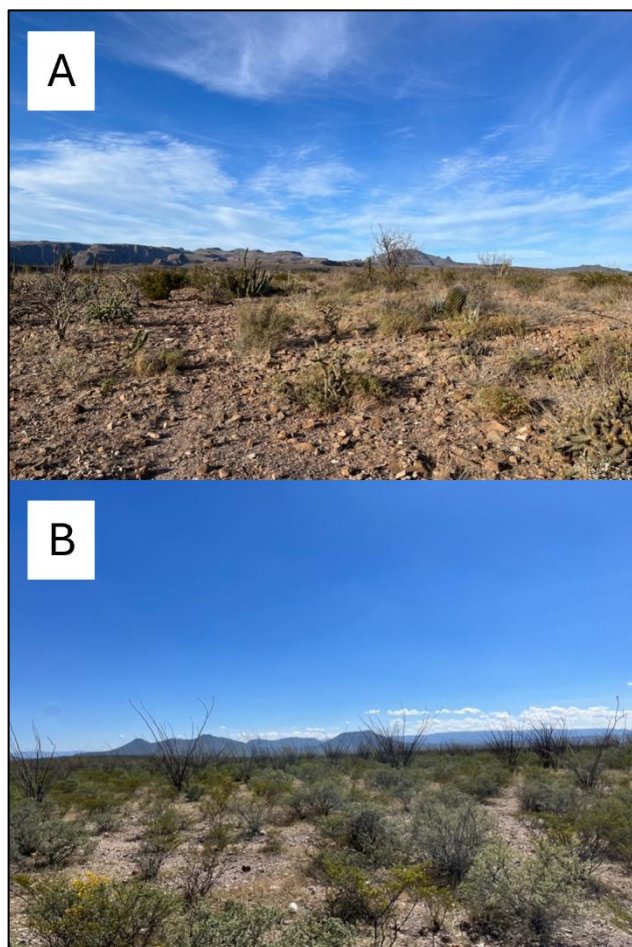


Figura 1. Matorrales en Baja California Sur (desierto sonorense, A) y en Durango (desierto chihuahuense, B) utilizados para pastoreo extensivo en tierras de uso comunal.

El pastoreo extensivo ha acumulado conocimientos ecológicos y ganaderos de diversas sociedades para convertirse en un medio de vida capaz de hacer frente a la variabilidad espacial y temporal del agostadero en las zonas áridas (Squires y Karami, 2015). Sin embargo, en las últimas décadas la creciente demanda alimenticia de la población ha intensificado el uso de pastizales y

matorrales para la producción ganadera, rebasando la capacidad de producción actual de los sistemas tradicionales (Melkamu, 2019). Cada vez es más difícil para los ganaderos realizar un seguimiento confiable de todos sus animales en grupos tan grandes y el aumento en la carga ganadera junto con los efectos del cambio climático incrementan el riesgo de sobrepastoreo, pérdida de cobertura vegetal, cambio de especies, pobre producción, hambre, pobreza y desigualdad social (Berckmans, 2017).



Figura 2. Rebaños de caprinos y bovinos en pastoreo extensivo en zonas áridas de México. Los círculos rojos muestran una cabra y una vaca acondicionadas con collares GPS.

MONITOREO REMOTO DEL AGOSTADERO

Desde una perspectiva de sostenibilidad, la estimación de la disponibilidad de vegetación es una de las medidas más importantes para la gestión adecuada de los agostaderos, ya que el cambio en la distribución y abundancia de alimento es un factor de gran influencia en el bienestar

del ganado, la capacidad de carga ganadera y, por supuesto, la salud del ecosistema.

Las estimaciones comunes *in situ* “a pie” (e.g., uso de transectos; Figura 3) de la cantidad y calidad de forraje disponible pueden ser difíciles, al requerir muchas horas de trabajo en condiciones ambientales extremas. Esto puede dar resultados limitados al abarcar un área y tiempo insuficientes para reflejar la diversidad de la vegetación, que puede incluir distribución, abundancia y composición de especies. Una opción es el uso de sistemas de monitoreo remoto para ampliar la escala espacial y temporal de la estimación de vegetación (Page *et al.*, 2025).



Figura 3. Transecto con cinta métrica para estimar la composición y cobertura de la vegetación en un matorral.

Las tecnologías de percepción remota de baja altitud, tales como los VANT (Figura 4), se han convertido en herramientas para atender a la creciente demanda de soluciones eficientes para afrontar los retos de la gestión de los agostaderos. Los VANT cuentan con cámaras que permiten la toma de imágenes aéreas de alta resolución espacial (tamaño de píxel de centímetros; e.g., 5 cm²), lo que facilita la detección de cambios en la cobertura de vegetación (Wijesingha *et al.*, 2020). Otras ventajas que ofrecen son la capacidad de realizar mediciones en múltiples ubicaciones y momentos de forma ágil y rápida, incluso en zonas de difícil acceso. Por otra parte, el acelerado desarrollo en tecnología de sensores ha

permitido complementar a los VANT con sensores multiespectrales, es decir, cámaras independientes especializadas que capturan imágenes en longitudes de onda específicas (e.g., rojo, verde, borde rojo, infrarrojo cercano), que amplían la resolución espectral de las imágenes aéreas.



Figura 4. Vuelo de un vehículo aéreo no tripulado para la toma de fotografías aéreas sobre el área de pastoreo de bovinos.

Las fotografías aéreas obtenidas con los VANT permiten la obtención de productos como ortomosaicos, mapas de índices de vegetación (IV), modelos digitales de elevación (MDE) y mapas de tipo de cobertura (Figura 5). Los ortomosaicos son imágenes de alta resolución creadas al unir múltiples fotografías aéreas organizadas en mosaico y georreferenciadas, resultando en un mapa continuo (sin fisuras) y preciso. Los mapas de IV son resultado de combinaciones de bandas espectrales para calcular un valor numérico (índice) que resalten características de la biomasa fotosintéticamente activa. Los valores más altos de IV indican mayor vigor o verdor de la vegetación que pueden ser interpretados como indicadores espaciales y temporales del estado de salud de la vegetación, y la calidad y condición nutricional de las plantas. Los MDE o modelos tridimensionales permiten calcular la altura del dosel, la estructura vertical de la vegetación o estimar biomasa (DiMaggio *et al.*, 2020; Théau *et al.*, 2021). Los mapas de tipos de cobertura son representaciones gráficas que muestran la distribución espacial de diferentes tipos de coberturas (e.g., suelo, agua, bosques, matorrales, zonas agrícolas, zonas urbanas, etc.).

El uso de esta herramienta proporciona a los productores una visión más amplia, incluso en tiempo real, de sus áreas de agostadero que les permite estimar biomasa de forraje disponible, niveles de utilización del forraje y

tasas de crecimiento de la vegetación (DiMaggio *et al.*, 2020; Sinde *et al.*, 2020). A pesar de los beneficios que proporcionan los VANT, la complejidad del procesamiento de la información, el costo inicial de adquisición, mantenimiento e inversión en programas de análisis de datos puede ser elevado, por lo que es esencial realizar análisis de costo-beneficio que destaquen cómo los VANT pueden generar ahorros a largo plazo mediante mejoras en productividad y gestión de los recursos (Santos *et al.*, 2024).

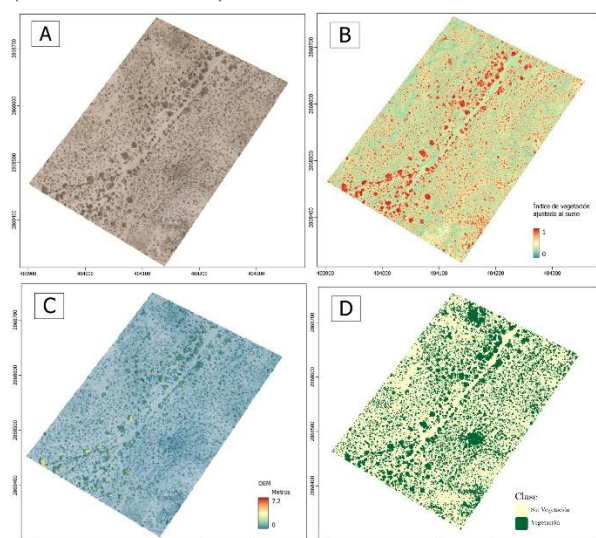


Figura 5. Productos derivados de un VANT: A) ortomosaico, B) mapa de índice de vegetación, C) modelo digital de elevación, D) mapa de tipos de cobertura. Elaboración propia.

MONITOREO REMOTO DEL MOVIMIENTO DE GANADO EN PASTOREO

Los sistemas GPS colocados en collares (Figura 2) o aretes ganaderos permiten dar seguimiento al ganado durante su estancia en el agostadero. Con esto se puede determinar las rutas de pastoreo, distancias recorridas diarias, punto más alejado de los bebederos o echaderos, sitios de mayor presencia de ganado, costos de energía por caminar y el área de pastoreo (ámbito hogareño) (Figura 6). Los dispositivos GPS se programan para que registren la ubicación de los animales de manera periódica, lo cual varía de acuerdo con los objetivos de su uso. Por ejemplo, pueden realizarse registros con diferencias de segundos o minutos (e.g., ≤ 5 min) para aumentar la precisión en estimación de la distancia recorrida y costos de energía por la actividad. En tanto, el tiempo entre registros puede ser más distante para

estimar rutas de pastoreo y sitios con mayor presencia relativa de animales. El número de GPS a utilizar en los rebaños también varía de acuerdo con los intereses del productor, pueden usarse uno o dos dispositivos GPS para las rutas de pastoreo y sitios de mayor presencia, pero si se requieren ver cambios de comportamiento por el estado de salud o reproductivo, deberá aumentarse el número de animales e, incluso, el colocar GPS a todos los animales del rebaño.

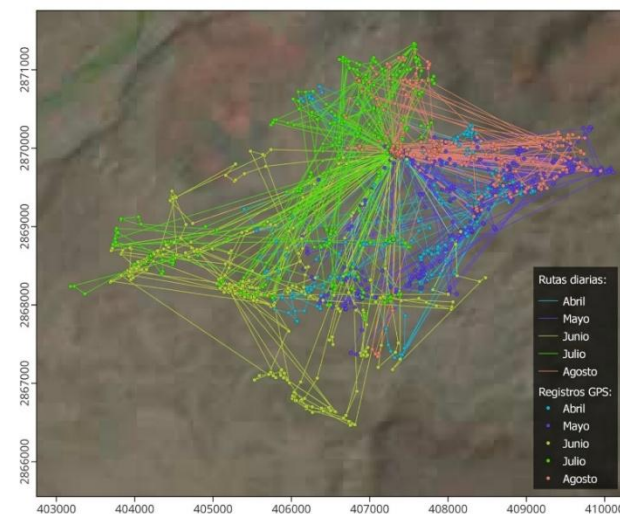


Figura 6. Ejemplo de las rutas diarias recorridas y sitios de mayor presencia de una vaca; registros de ubicación cada 60 min de un GPS. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los VANT permiten evaluar la condición y los cambios espaciales y temporales de los recursos forrajeros con gran precisión y los dispositivos GPS permiten dar seguimiento en tiempo real a los animales en pastoreo. Es importante la capacitación de los gestores de la ganadería respecto al manejo de estas tecnologías para incrementar la productividad de los sistemas ganaderos extensivos y la gestión sostenible de los recursos.

Agradecimientos

Se agradece a la Secihti por apoyar el proyecto Pronace-Pronaii 319072 y la beca de estancia posdoctoral otorgada, y al CIBNOR como institución receptora. También se agradece al M. en C. Christian Silva Bejarano por su apoyo técnico.

Literatura citada

- Avalos C.R.; Osuna, A.J.D.; Cabada, T.C.A., Medina, C.N.J., Cadena, I.P., Ariza, F.R. (2021) Productive and technological characteristics of goat farmers in Comondú, Baja California Sur. *Agro Productividad*, 14(11), 177-188. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i8.2132>
- Álvarez G.H.; Urbán, D.D.; Martínez, Q.J.A.; Román, P.S.I.; Rojas, A.E. (2024) Advances in the Characterization of Creole Cattle from Nayarit, Chihuahua, and Baja California Sur. *Agro Productividad* 17(9), 203-213. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.349266>
- Berckmans D. (2017) General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, 7(1), 6-11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>
- Chizzotti M.L.; Chizzotti, F.H.M.; Assis, G.J.F.; Bretas, I.L. (2022) Digital Livestock Farming. In: Marçal de Queiroz, D.M.; Valente, D.S.; de Assis de Carvalho, P.F.; Borém, A.; Schueller, J.K. (eds.) *Digital Agriculture*. Springer, 173-193. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14533-9_11
- DiMaggio A.M.; Perotto, B.H.L.; Ortega, S.J.A.; Walther, C.; Labrador, R.K.N.; Page, M.T.; Martinez, J.L.; Rideout, H.S.; Hedquist, B.C.; Wester, D.B. (2020) A pilot study to estimate forage mass from unmanned aerial vehicles in a semi-arid rangeland. *Remote Sensing*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/RS12152431>
- Jurado G.P.; Velázquez, M.M.; Sánchez, G.R.A.; Álvarez, H.A.; Domínguez, M.P.A.; Gutiérrez, L.R.; Garza, C.R.D.; Luna, L.M.; & Chávez, R.M.G. (2021) The grasslands and scrublands of arid and semi-arid zones of Mexico: Current status, challenges and perspectives. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12, 261-285. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875>
- Melkamu B.Y. (2019) Livestock and livestock product trends by 2050: Review. *International Journal of Animal Research*, 4(30), 1-20.
- Méndez R.D.; Meza, C.O.; Berruecos, J.M.; Garcés, P.; Delgado, E.J.; & Rubio, M.S. (2009) A survey of beef carcass quality and quantity attributes in Mexico. *Journal of Animal Science*, 87(11), 3782-3790. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1889>
- Page M.T.; Perotto, B.H.L.; Ortega, A.; Tanner, E.P.; Angerer, J.P.; Combs, R.C.; Johnston, B.K.; Ramirez, M.; Camacho, A.M.; DiMaggio, A.M.; Daniels, D.; Kimmet, T. (2025) Developing Large-Scale Pasture Approaches to Quantify Forage Mass in Rangelands Using Drones. *Rangeland Ecology & Management*, 100, 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2025.03.005>
- Plaza J.; Palacios, C.; Abecia, J.A.; Nieto, J.; Sánchez-García, M.; Sánchez, N. (2022) GPS monitoring reveals circadian rhythmicity in free-grazing sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105643>
- Ramírez S.R.; Sánchez-Brito, I.; Orduño-Cruz, A.; Cepeda-Palacios, R.; Parpal, J.; Montes, C.; Gínera, P.; Kachok-Gavarain, R.A.; Angulo C. (2023) La caprinocultura en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno y la zona de influencia (El Patrocinio), Baja California Sur, en el año 2016. *Recursos Naturales y Sociedad*, 93-107. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2023.09.09.01.0008>
- Santos W.M.; Martins, L.D.C.; Bezerra, A.C.; Souza, L.S.; Jardim, A.M.; Silva, M.V.; Souza, C.A.; & Silva, T.G. (2024) Use of unmanned aerial vehicles for monitoring pastures and forages in agricultural sciences: a systematic review. *Drones*, 8(10), 585. <https://doi.org/10.3390/drones8100585>
- Sinde I.; Yáñez, D.; Grefa, J.; Arza, M.; & Gil, M. (2020) Estimación del rendimiento del pasto mediante NDVI calculado a partir de imágenes multiespectrales de vehículos aéreos no tripulados (UAV). *Geoespacial*, 17(26005921), 25-38. <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v17i1.1640>
- Squires R.V.; Karami, E. (2015) Livestock Management in the Arid Zone: Coping Strategies. *Journal of Rangeland Science*, 5(4), 336-346.
- Théau J.; Lauzier-Hudon, É.; Aubé, L.; Devillers, N. (2021) Estimation of forage biomass and vegetation cover in grasslands using UAV imagery. *PloS one*, 16(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245784>
- Vargas L.S., Bustamante-González, A., Zaragoza Ramírez, J. L., Morales-Jiménez, J., & Vargas-Monter, J. (2018). Estrategias de adaptación de las unidades de producción ganaderas a los riesgos climáticos. *Agro Productividad* 11(2), 75-80. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.352841>
- Villegas D.G.; Bolaños, M.A.; Olguín, P.L. (eds.) (2001) *La Ganadería en México*. Instituto de Geografía UNAM.



Wijesingha J.; Astor, T.; Schulze-Brüninghoff, D.; Wengert, M.; Wachendorf, M. (2020) Predicting forage quality of grasslands using UAV-borne imaging spectroscopy. *Remote Sensing*, 12(1), 126.

Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.

