

Percepción remota como herramienta de competitividad de la agricultura*

Remote sensing as a tool for competitiveness of agriculture

Noé Aguilar Rivera[§]

Universidad Veracruzana-Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Pañuela Amatlán S/N, Centro, Amatlán de los Reyes, Veracruz, Veracruz. C. P. 94945. [§]Autor para correspondencia: naguilar@uv.mx.

Resumen

La percepción remota es un componente determinante de diversas aplicaciones a través de disciplinas transversales como sistema de soporte a la toma de decisiones, al combinar información de múltiples fuentes y puede ser útil en aplicaciones agrícolas para detectar o evaluar factores limitantes, discriminación de cultivos, inventarios, etapas de crecimiento, vigor vegetal, necesidades nutrimentales, variación espacial de la productividad, estimación de la biomasa y rendimientos, superficies y muestreo de propiedades físicas y químicas del suelo en complejos entornos biofísicos mediante imágenes satelitales. Puede proporcionar a administradores de predios datos que les permitan tomar decisiones rápidas sobre sus operaciones a distintas escalas espaciales. Sin embargo, los datos derivados de esta técnica, no se han utilizado a su máximo potencial para la gestión de los cultivos, en gran parte, debido a que estos datos no están disponibles para los investigadores y agricultores, y a la comprensión de las características de los sensores como resolución espacial, espectral y radiométrica, fecha de adquisición al integrarla con información convencional, derivada de estudio de campo con datos de percepción remota. La agricultura de precisión (PA) con el uso de percepción remota (PR), sistemas de información geográfica (SIG) y sistemas de posicionamiento global (GPS) es potencialmente, una de las más poderosas

Abstract

Remote sensing is a key component in different applications through transverse disciplines as support system for decision making, by combining information from multiple sources and may be useful in agricultural applications to detect or assess limiting factors, crop discrimination, inventories, stages of growth, plant vigor, nutrient needs, spatial variation in productivity, estimation of biomass and yields, surfaces and sampling of physical and chemical soil properties in complex biophysical environments using satellite images. It can provide land administrators data to help them make quick decisions about their operations at different spatial scales. However, data derived from this technique has not been used to its full potential for crop management, largely because these data are not available for researchers and farmers, and to the understanding of sensors characteristics like spatial, spectral and radiometric resolution, acquisition date when integrated with conventional information derived from field study with remote sensing data. Precision agriculture (PA) using remote sensing (PR), geographic information systems (GIS) and global positioning systems (GPS) is potentially one of the most powerful tools, processes and techniques for the competitiveness of agriculture. The aim of this study was to review the current situation and development of documented applications, advantages, limitations, strategies and perspectives for the future of

* Recibido: octubre de 2014
Aceptado: enero de 2015

herramientas, procesos y técnicas para la competitividad de la agricultura. El objetivo de este trabajo fue revisar la situación actual y el desarrollo de las aplicaciones documentadas, ventajas, limitaciones, estrategias y perspectivas del futuro de la percepción remota, con especial énfasis en la agricultura, la contribución de los componentes bioquímicos de la vegetación en la señal espectral y los índices espectrales, se comparan y se resumen en detalle.

Palabras clave: cultivos agrícolas, modelos, química foliar, teledetección.

La aplicación de técnicas geomáticas como percepción remota (PR), sistemas de información geográfica (SIG) y geoposicionamiento global (GPS) en el contexto de la agricultura de precisión, tienen la ventaja según Ustin *et al.* (2010) de integrar información procedente de disciplinas como climatología, edafología, agronomía, fisiología vegetal, etc. y es potencialmente útil en: 1) clasificación, mapeo y cartografía de cultivos con información georeferenciada; 2) identificación de etapas fenológicas y grados-día de crecimiento; 3) discriminación de variedades; 4) monitoreo del riego y estrés nutricional; 5) detección de daños por insectos plaga y enfermedades; y 6) predicción de rendimientos con el objetivo de incrementar la productividad (rendimientos, y calidad de la cosecha) con la reducción de los costos de producción para mercados competitivos (Seelan *et al.*, 2003; Liaghat, 2010; Meng *et al.*, 2011; Mahlein *et al.*, 2012; Mulla, 2013; Vibhute y Gawali, 2013). Sin embargo, a pesar de las ventajas que presentan, los agricultores todavía se basan en la tradición sin la interacción de consultores profesionales y/o de extensión universitaria.

En este sentido, Fourty (1996) establecieron que el conocimiento de la información bioquímica del dosel puede proporcionar información crítica para describir y predecir la productividad y los procesos de descomposición y ciclo de nutrientes en el sistema atmósfera, vegetación y el suelo en ambientes agrícolas y el conocimiento de respuestas espectrales *in situ* es útil para caracterizar las condiciones de las parcelas en producción (Gebbers y Adamchuk, 2010; Ahamed *et al.*, 2011; Lobell, 2013; Eerens *et al.*, 2014). Elwadie (2005) y Broge y Mortensen (2002) han reportado numerosos índices útiles para hacer estimaciones cuantitativas de parámetros biofísicos y bioquímicos de los cultivos tales como, área foliar, porcentaje de biomasa verde, población y altura de plantas, biomasa, productividad y actividad fotosintética del dosel.

remote sensing, with special emphasis on agriculture, the contribution of biochemical components of vegetation in spectral signal and spectral indices are compared and summarized in detail.

Keywords: agricultural crops, foliar chemistry, models, remote sensing.

The application of geomatics techniques such as remote sensing (RS), geographic information systems (GIS) and global positioning system (GPS) in the context of precision agriculture, have the advantage according to Ustin *et al.* (2010) to integrate information from disciplines like climatology, edaphology, agronomy, plant physiology, etc. and is potentially useful in: 1) classification, mapping and crop mapping with georeferenced information; 2) identification of phenological stages and growing degree days; 3) discrimination of varieties; 4) irrigation and nutritional stress monitoring; 5) damage detection by insect pests and diseases; and 6) predicting yields in order to increase productivity (yields and crop quality) with reduced production costs for competitive markets (Seelan *et al.*, 2003; Liaghat, 2010; Meng *et al.*, 2011; Mahlein *et al.*, 2012; Mulla, 2013; Vibhute and Gawali, 2013). However, despite the advantages offered, farmers still rely on tradition without the interaction of professional consultants and university extension.

In this sense, Fourty (1996) established that knowledge of biochemical information from the canopy can provide critical information to describe and predict productivity, decomposition processes and nutrient cycling in the atmosphere, vegetation and soil system in agricultural environments and knowledge of spectral responses *in situ* is useful to characterize conditions of plot production (Gebbers and Adamchuk, 2010; Ahamed *et al.*, 2011; Lobell, 2013; Eerens *et al.*, 2014). Elwadie (2005) and Broge and Mortensen (2002) have reported numerous useful indexes to make quantitative estimates of biophysical and biochemical parameters of crops such as leaf area, percentage of green biomass, population and plant height, biomass, yield and photosynthetic activity from the canopy.

For Baret *et al.* (1994); Elwadie (2005); Curran (2001; 1990); Ustin *et al.* (2010) and Jia *et al.* (2011) measure and interpret spectral properties of plants, describing the interaction of radiant energy of leaf and leaf biochemistry

Para Baret *et al.* (1994); Elwadie (2005); Curran (2001, 1990); Ustin *et al.* (2010) y Jia *et al.* (2011) medir e interpretar las propiedades espectrales de las plantas, al describir la interacción de la energía radiante de la hoja y la bioquímica foliar derivada de esta, asociados a niveles de estrés nutricional e hídrico, permitirá comprender las complejas interacciones entre los múltiples factores que afectan el crecimiento del cultivo, como base de cualquier sistema de gestión y manejo agrícola y requiere una comprensión de cómo los mecanismos físicos, ambientales y bioquímicos de las hojas y el dosel interactúan con el suelo para producir la señal medida por los sensores respectivos (Asner, 1998; Bowyer y Danson, 2004).

En consecuencia, las propiedades espectrales son función de los cambios dinámicos que se dan en la interacción suelo-vegetación; y son dependientes de la geometría del dosel agrícola y de las diferencias entre las plantas individuales, particularmente para cultivos con baja cobertura del suelo (Zarco-Hidalgo *et al.*, 2008 y Eerens *et al.*, 2014). Por lo tanto, la manipulación de la energía radiante en función de la geometría del campo de cultivo, (orientación de filas y distancia entre surcos) puede crear condiciones eficientes de saturación de luz y energía solar en el dosel del cultivo para la producción agrícola; es decir, la interacción de la radiación solar con las células foliares de las plantas define la reflectancia en el espectro visible (VIS) e infrarrojo (IR) (Hunt Jr. *et al.*, 2013).

Los componentes bioquímicos (pigmentos, proteínas, grasas, hemicelulosas, celulosa, almidón y agua), morfología de la hoja (mesófilo) y arquitectura, influyen en la tendencia de las plantas para absorber, transmitir y reflejar la radiación solar de distintas longitudes de onda desde 280 a 2800 nm y están directa o indirectamente relacionados a los ciclos biogeoquímicos, macro y micro nutrientes y la fotosíntesis (Yoder y Pettigrew-Crosby, 1995; Curran *et al.*, 2001; Shengyan *et al.*, 2002; Huber, 2008; Thorp, 2010; Hunt *et al.*, 2013). Con este fin, los mecanismos de transporte de fotones dentro del tejido foliar, hacen necesario comprender los fenómenos biológicos, características estructurales, componentes que constituyen el tejido foliar y factores, tales como la presencia y distribución de pigmentos en el interior de los tejidos que propagan y absorben la luz. Estos pigmentos son la clorofila Cl y los carotenoides.

El más importante y abundante de estos es la clorofila (considerado como un bioindicador genérico del estado de salud, productividad, estrés y senescencia de las hojas y el dosel) y se clasifican en tipo a y b (Cla y Clb). Los

derivando de esto, asociado con niveles de nutrición y estrés hídrico, permitiría comprender las complejas interacciones entre múltiples factores que afectan el crecimiento del cultivo, como base de cualquier sistema de gestión y manejo agrícola y requiere una comprensión de cómo los mecanismos físicos, ambientales y bioquímicos de las hojas y el dosel interactúan con el suelo para producir la señal medida por los sensores respectivos (Asner, 1998; Bowyer y Danson, 2004).

Consecuentemente, las propiedades espectrales son función de los cambios dinámicos que se dan en la interacción suelo-vegetación; y son dependientes de la geometría del dosel agrícola y de las diferencias entre las plantas individuales, particularmente para cultivos con baja cobertura del suelo (Zarco-Hidalgo *et al.*, 2008 y Eerens *et al.*, 2014). Por lo tanto, la manipulación de la energía radiante en función de la geometría del campo de cultivo, (orientación de filas y distancia entre surcos) puede crear condiciones eficientes de saturación de luz y energía solar en el dosel del cultivo para la producción agrícola; es decir, la interacción de la radiación solar con las células foliares de las plantas define la reflectancia en el espectro visible (VIS) e infrarrojo (IR) (Hunt, Jr. *et al.*, 2013).

Los componentes bioquímicos (pigmentos, proteínas, grasas, hemicelulosas, celulosa, almidón y agua), morfología de la hoja (mesófilo) y arquitectura, influyen en la tendencia de las plantas para absorber, transmitir y reflejar la radiación solar de distintas longitudes de onda desde 280 a 2800 nm y están directa o indirectamente relacionados a los ciclos biogeoquímicos, macro y micro nutrientes y la fotosíntesis (Yoder y Pettigrew-Crosby, 1995; Curran *et al.*, 2001; Shengyan *et al.*, 2002; Huber, 2008; Thorp, 2010; Hunt *et al.*, 2013). Con este fin, los mecanismos de transporte de fotones dentro del tejido foliar, hacen necesario comprender los fenómenos biológicos, características estructurales, componentes que constituyen el tejido foliar y factores, tales como la presencia y distribución de pigmentos en el interior de los tejidos que propagan y absorben la luz. Estos pigmentos son la clorofila Cl y los carotenoides.

El más importante y abundante de estos es la clorofila (considerado como un bioindicador genérico del estado de salud, productividad, estrés y senescencia de las hojas y el dosel) y se clasifican en tipo a y b (Cla y Clb). Los

carotenoides son otro grupo de pigmentos que, en las plantas superiores, son de color rojo, naranja, amarillo o marrón, y se asocian con la clorofila en los cloroplastos y su contenido en las hojas de las plantas es un indicador de su capacidad fotosintética y productividad, así como de la presencia de un estrés o enfermedad, así mismo da una estimación indirecta de la situación de los nutrientes (Liew *et al.*, 2008).

En percepción remota, el espectro de reflectancia de plantas adultas y sanas en el visible (VIS) se caracteriza por una fuerte absorción (baja reflectancia) en el azul (400-500 nm), un incremento en la reflectancia en el verde (500-600 nm), como pico máximo a 0.54 nm y no excede de 20% del total de la radiación incidente (Yoder y Pettigrew-Crosby, 1995); absorción en el rojo (600-700 nm) y una fuerte reflectancia y transmitancia (50%) en la meseta del infrarrojo cercano (NIR) de 700 a 1 500 nm.

La respuesta en reflectancia en la región VIS (400-700) está regulada por el efecto y comportamiento de las clorofilas, carotenos (α y β -caroteno y xantofilas) y antocianinas que son pigmentos rojos de las plantas, previenen el foto envejecimiento y la foto inhibición a través de la absorción de la radiación solar excesiva, que de otro modo sería absorbida por los pigmentos de los cloroplastos, que son mayormente abundantes en hojas juveniles y su distribución en los tejidos de la hoja varía considerablemente entre los cultivos, como regla general, se localizan en las vacuolas celulares debajo de la epidermis adaxial, parénquima en empalizada y el mesófilo esponjoso (Merzlyak, 2008; Hunt *et al.*, 2013).

En relación a lo anterior, Monteith (1965) y Matloobi, (2012) afirmaron que las características ópticas comunes al tejido foliar son: (1) En el espectro visible la reflectancia es alrededor de 10% y la transmitancia es menor, (2) Tanto la transmitancia como la reflectancia se incrementan para la radiación arriba de 660 nm, alcanzando valores máximos en 730 nm., (3) En el rango 730-1 250 nm la absorbancia no es mayor a un 5%, mientras que la transmitancia y reflectancia se reparten de manera casi equitativa el restante 95% y (4) En el rango 1 250- 2 500 nm se presenta un marcado incremento en absorbancia (incluyéndose aquí el rango de absorción del agua 1 400-1 900 nm), que puede variar de 30% hasta 90%. En este sentido, Knipling, (1970); Curran, (1990) y Blackburn, (2008) concluyeron que la respuesta de la vegetación en el infrarrojo está determinada por las discontinuidades en el contenido de agua entre las paredes celulares y por los espacios con aire intercelulares en la estructura interna de la hoja a longitudes de onda de 970, 1

In remote sensing, the reflectance spectrum of adult and healthy plants in the visible (VIS) is characterized by a strong absorption (low reflectance) in blue (400-500 nm), an increase in reflectance in green (500- 600 nm), a maximum peak at 0.54 nm and does not exceed 20% of the total incident radiation (Pettigrew-Yoder and Crosby, 1995); absorption in red (600-700 nm) and a strong reflectance and transmittance (50%) in the plateau of near infrared (NIR) from 700 to 1 500 nm.

The response of reflectance in VIS region(400-700) is regulated by the effect and behavior of chlorophylls, carotenoids (α and β -carotene and xanthophylls) and anthocyanins which are red pigments from plants, prevent photo aging and photo inhibition via absorption of excessive solar radiation, that would otherwise be absorbed by the pigments from chloroplasts, which are mostly abundant in juvenile leaves and its distribution on leaf tissue varies considerably among crops, as a general rule, are located in cell vacuoles beneath the adaxial epidermis, palisade parenchyma and spongy mesophyll (Merzlyak, 2008; Hunt *et al.*, 2013).

Related to the above Monteith (1965) and Matloobi, (2012) stated that the common optical characteristics to leaf tissue are: (1) In the visible spectrum reflectance is about 10% and transmittance is lower; (2) both transmittance and reflectance increase for radiation above 660 nm, peaking in 730 nm; and (3) in the range of 730-1 250 nm absorbance is not more than 5%, while transmittance and reflectance are distributed almost evenly the remaining 95% (4) in the range 1 250- 2 500 nm occur a marked increase in absorbance (including here the water absorption range 1 400-1 900 nm), which can vary 30% to 90%. Regarding to this, Knipling, (1970); Curran, (1990) and Blackburn (2008) concluded that the response of vegetation in infrared is determined by the discontinuities in water content between the cell walls and intercellular spaces with air into the internal structure of the leaf at wavelengths of 970, 1 200, 1 450, 1 600, 1 950 and 2 500 nm and at canopy level, normal reflectance is low in the region between 480 and 680 nm due to the absorption of chlorophyll and other pigments, and high (670 and 780 nm) in the NIR due to micro cell structure of the leaf and canopy structure.

Leaf senescence produce significant fluctuations in three regions of the spectrum in the range of 450 and 2 500 nm: 1) between 450 and 750 nm derived from changes in concentration or structural changes in chlorophyll and

200, 1 450, 1 600, 1 950 y 2 500 nm. y a nivel del dosel, la reflectancia normal es baja en la región entre 480 y 680 nm debido a la absorción de la clorofila y otros pigmentos, y alta (670 y 780 nm) en el NIR debido a la estructura micro celular de la hoja y la estructura del dosel.

La senescencia foliar produce significativas fluctuaciones en tres regiones del espectro en el rango de 450 y 2500 nm: 1) entre 450 y 750 nm derivados de los cambios cambios en concentración o estructurales de la clorofila y otros pigmentos (425, 450 y 480 nm β -caroteno, 420, 440 y 470 nm α caroteno y 425, 450 y 475 nm para xantofilas); 2) entre 750 y 1 400 nm en el cual la estructura geométrica interna y dimensiones de las hojas, por cambios en la orientación y disminución del área foliar y del dosel, es el factor dominante principalmente en los cloroplastos y vacuolas; y 3) entre 1 400 y 2 500 nm derivado del contenido de agua como consecuencia del secado de las plantas y el incremento de los valores del suelo al ser expuesto por disminución del follaje del dosel (Figura 1).

En relación a lo anterior, Knipling (1970); Zhao *et al.* (2010); Hunt Jr. *et al.* (2013) y Ustin (2013) definieron que a nivel celular, el conocimiento de la cantidad de clorofila en hojas y el dosel es fundamental tanto en estudios forestales o agronómicos como ambientales, debido a que puede ser usada como indicador de la capacidad fotosintética y productividad. Porello, de acuerdo a Hunt Jr. *et al.* (2013), se han desarrollado distintos métodos hiperespectrales para su estudio y aplicación para el monitoreo de productividad agrícola, tanto a nivel de hoja (espectrofotometría), como por percepción remota (teledetección) y se emplean una gran variedad de índices que relacionan la reflectividad obtenida por sensores a diversos tipos de arquitecturas del dosel en distintas bandas.

Diversos autores como Fourty (1996); Asner (1998); Curran (2001; 1989) concluyeron que la respuesta espectral, bioquímica foliar y su relación con la productividad se debe al estiramiento y flexión de los enlaces covalentes del grupo OH⁻ y transición de electrones a diversas longitudes de onda (0.97, 1.2, 1.4, 1.94 nm) así como fuertemente en el ultravioleta (< 0.4 nm) y en el infrarrojo medio (> 2.4 nm) derivado de las vibraciones de los enlaces (β 1 \rightarrow 4, β 1 \rightarrow 3, β -O-4, α -O-4, 4-O-5) entre los átomos de hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y carbono (C) y entre las moléculas de azúcares (D-xilosa, L-arabinosa, D-galactosa, D-manosa, L-ramnosa, fructosa, α y β glucosa), lignina (alcohol p-cumarílico, coniferílico y sinapílico), celulosa (β -D-glucosa), hemicelulosas (glucuronoxilano

other pigments (425, 450 and 480 nm β carotene, 420, 440 and 470 nm α carotene and 425, 450 and 475 nm for xanthophylls); 2) between 750 and 1 400 nm in which the internal geometric structure and dimensions of the leaves, by changes in orientation and decrease of leaf area and canopy, is the predominant factor in chloroplasts and vacuoles; and 3) between 1 400 and 2 500 nm derived from water content as consequence of drying plants and increase of soil values when exposed to a decrease in foliage canopy (Figure 1).

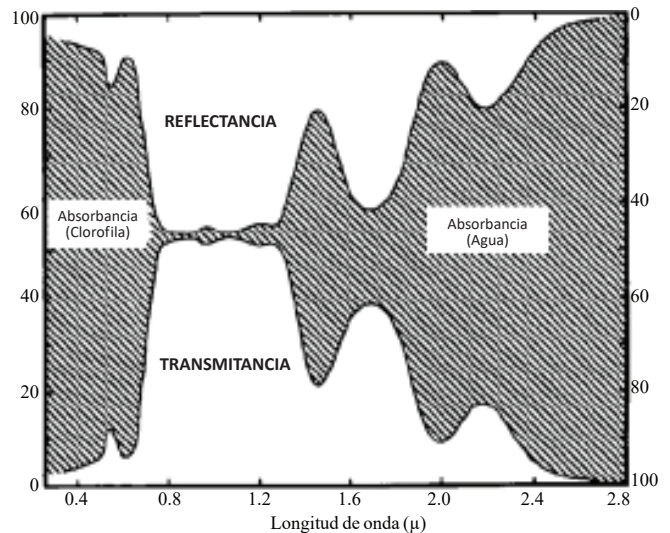


Figura 1. Espectro de reflectancia, transmitancia y absorbancia (% de las plantas.

Figure 1. Reflectance, transmittance and absorbance spectrum (%) of plants.

Regarding to the above, Knipling (1970); Zhao *et al.* (2010); Hunt, Jr. *et al.* (2013) and Ustin (2013) defined that at cellular level, knowledge of the amount of chlorophyll in leaves and canopy is instrumental in both forestry and agricultural as environmental studies, because it can be used as an indicator of photosynthetic capacity and productivity. Therefore, according to Hunt, Jr. *et al.* (2013), there have been developed different hyperspectral methods for their study and application for monitoring agricultural productivity, both at leaf level (spectrophotometry), as for remote sensing and uses a variety of indices that relate reflectivity obtained by sensors to different types of canopy architectures in different bands.

Several authors as Fourty (1996); Asner (1998); Curran (2001; 1989) concluded that the spectral response, leaf biochemistry and its relation with productivity is due to the stretching and bending of the OH⁻ group of covalent bonds and electron transition at different wavelengths (0.97, 1.2, 1.4 and 1.94 nm) as strongly in ultraviolet (<0.4 nm) and in

acetilado, β -D-xilopiranos, α -L-Fucosa, glucomanos, arabinoglucuronoxilanos, galactoglucomanos), ácidos urónicos (ácido D-glucurónico, y ácido D-galacturónico), resinas (extraíbles lipófilicos e hidrofílicos), pectinas y proteínas, al ion central magnesio (Mg^{+2}) en la molécula de clorofila y a la presencia de un grupo metilo en la clorofila en lugar de un grupo aldehído en la clorofila en la posición C-7 que establece las diferencias en las longitudes de onda de absorción para cada grupo funcional (669 y 644 nm) y (432 y 455 nm) respectivamente (Fourty, 1996; Curran, 1989; Ustin, 2013)

Conclusiones

Como modelo de gestión, la agricultura de precisión (AP) puede proporcionar información bioquímica del dosel agrícola, como elemento crítico para describir y predecir la productividad y los procesos de descomposición y ciclo de nutrientes en el sistema atmósfera-vegetación-suelo, donde los cambios bioquímicos del dosel pueden ser rastreados e interpretados de manera precisa a través del tiempo, inclusive con modelos matemáticos para obtener resultados confiables, para la toma de decisiones en relación al manejo de insumos y las prácticas de gestión.

Literatura citada

- Ahamed, T.; Tian, L., Zhang, Y. and Ting, K. C. 2011. A review of remote sensing methods for biomass feedstock production. *Biomass Bioenergy*. 35(7):2455-2469.
- Asner, G. P. 1998. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. *Remote Sens. Environ.* 64(3):234-253.
- Baret, F.; Vanderbilt, Vern C.; Steven, D. and Jacquemoud, S. 1994. Use of spectral analogy to evaluate canopy reflectance sensitivity to leaf optical properties. *Remote Sens. Environ.* 48:253-260.
- Blackburn, G. A and Ferwerda, J. G. 2008 Retrieval of chlorophyll concentration from leaf reflectance spectra using wavelet analysis. *Remote Sens. Environ.* 112:1614-1632.
- Bowyer, P. and Danson, F. M. 2004. Sensitivity of spectral reflectance to variation in live fuel moisture content at leaf and canopy level. *Remote Sens. Environ.* 92(3):297-308.
- Broge, N. H. and Mortensen, J. V. 2002. Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data. *Remote Sens. Environ.* 81:45-57.
- Curran, P. J. 1990. Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine. *J. Tree Physiol.* 7:33-48.
- Curran, P. J. 2001. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry. *Remote Sens. Environ.* 76(3):349-359.
- Curran, P. J. 1989. Remote sensing of foliar chemistry. *Remote Sens. Environ.* 30:271-278.

mid-infrared (> 2.4 nm) derived from the vibrations of the bonds (β 1 \rightarrow 4, β 1 \rightarrow 3, β -O-4, α -O-4, 4-O-5) between the hydrogen atoms (H), oxygen (O), nitrogen (N) and carbon (C) and between the molecules of sugars (D-xylose, L-arabinose, D- galactose, D-mannose, L-rhamnose, fructose, α and β glucose), lignin (Paracoumaryl, coniferyl and sinapyl alcohol), cellulose (β -D-glucose), hemicelluloses (acetylated glucuronoxylan, β -D-xylopyranose, α -L-Fucose, glucomannans, galactoglucomannans), uronic acid (D-glucuronic acid and D-galacturonic acid), resins (removable lipophilic and hydrophilic), pectins and proteins, to the central magnesium ion (Mg^{+2}) in the chlorophyll molecule and the presence of a methyl group in chlorophyll instead of an aldehyde group in chlorophyll b in the C-7 position that sets the differences in the wavelengths of absorption for each functional group (669 and 644 nm) and (432 and 455 nm) respectively (Fourty, 1996; Curran, 1989; Ustin, 2013).

Conclusions

As a model of management, precision agriculture (PA) can provide biochemical information from crop canopy as a critical element to describe and predict productivity and decomposition processes and nutrient cycling in the atmosphere-vegetation-soil system, where biochemical changes in the canopy can be tracked and interpreted accurately over time, even with mathematical models to obtain reliable results for decision-making in relation to inputs and practices management.

End of the English version



- Eerens, H.; Haesen, D.; Rembold, F.; Urbano, F. and Tote, C. 2014. Image time series processing for agriculture monitoring. *Environ. Modelling Software*. 53:154-162.
- Fourty, Th.; Baret, F.; Jacquemoud, F.; Schmuck, G. and J. Verdebout. 1996. Leaf optical properties with explicit description of its biochemical composition: direct and inverse problems. *Remote Sens. Environ.* 56:104-117.
- Gebbers, R. and Adamchuk, V. I. 2010. Precision agriculture and food security. *Science*. 327(5967):828-831.
- Huber, S. 2008. Estimating foliar biochemistry from hyperspectral data in mixed forest canopy. *Forest Ecol. Manag.* 256:491-501.
- Hunt, Jr., E. R.; Doraiswamy, P. C.; McMurtrey, J. E.; Daughtry, C. S.; Perry, E. M. and Akhmedov, B. 2013. A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 21:103-112.

- Jia, K.; Wu, B.; Tian, Y.; Zeng, Y. and Li, Q. 2011. Vegetation classification method with biochemical composition estimated from remote sensing data. *International. J. Remote Sens.* 32(24):9307-9325.
- Knipling, E. B 1970. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sens. Environ.* 1(1):55-1 59.
- Liew, W. and Ching, P. 2008. Signature optical cues: emerging technologies for monitoring plant health. *Sensors.* 8:3205-3239.
- Lobell, D. B. 2013. The use of satellite data for crop yield gap analysis. *Field Crops Res.* 143:56-64.
- Mahlein, A. K.; Oerke, E. C.; Steiner, U. and Dehne, H. W. 2012. Recent advances in sensing plant diseases for precision crop protection. *Eur. J. Plant Pathol.* 133(1):197-209.
- Matloobi, M. 2012. Light harvesting and photosynthesis by the canopy. *Agricultural and biological sciences. "Advances in photosynthesis - fundamental aspects"*. Mahdi, N. M. (Ed.). <http://www.intechopen.com/books/advances-in-photosynthesis-fundamental-aspects>.
- Meng, J. H.; Wu, B. F.; Du, X.; Zhang, F. F.; Zhang, M. and Dong, T. F. 2011. A review and outlook of applying remote sensing to precision agriculture. *Remote Sens. Land Res.* 23(3):1-7.
- Merzlyak, L. 2008. Light absorption by anthocyanins in juvenile, stressed, and senescing leaves. *J. Exp. Bot.* 59(14):3903-3911.
- Monteith, J. L. 1965. Light distribution and photosynthesis in field crops. *Ann. Bot.* 29(1):17-37.
- Mulla, D. J. 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. *Bios. Eng.* 114(4): 358-371.
- Seelan, S. K.; Laguette, S.; Casady, G. M. and Seielstad, G. A. 2003. Remote sensing applications for precision agriculture: a learning community approach. *Rem. Sens. Environ.* 88(1):157-169.
- Shengyan, D.; Jidong, G. and Lexiang, Q. 2002. Assessment of biochemical concentrations of vegetation using remote sensing technology. *J. Geographical Sci.* 12(3):321-330.
- Thorp, K. R. 2010. Assimilating leaf area index estimates from remote sensing into the simulations of a cropping systems model. *J. Am. Soc. Agric. Biol. Eng.* 53(1):251-262.
- Ustin, S. L. 2013. Remote sensing of canopy chemistry. *Proceedings of the national academy of sciences.* 110(3):804-805.
- Ustin, S. L. and Gamon, J. A. 2010. Remote sensing of plant functional types. *New Phytologist.* 186:795-816.
- Vibhute, A. D. and Gawali, B. W. 2013. Analysis and modeling of agricultural land use using remote sensing and geographic information system: a review. *Int. J. Eng. Res. Appl.* 3(3):081-091.
- Yoder, B. J. and Pettigrew-Crosby, R. E. 1995. Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400- 2500 nm) at leaf and canopy scales. *Remote Sens. Environ.* 53(3):199-211.
- Zarco-Hidalgo, A.; Paz-Pellat, F. and Palacios-Vélez, E. 2008. Modeling of the spectral scale effect in the soil-vegetation system. *Agrociencia.* 42:193-204.