



Revista Geográfica de América Central

ISSN: 1011-484X

ISSN: 2215-2563

Universidad Nacional

Guillén-García, Carlos Enrique; Dávila-Albarrán, Mirian Josefina;
Guillén-García, Luis Gerardo; Guillén-Pérez, Luis Alipio
Características espetrales del arroz (*Oryza sativa L.*) bajo condiciones
de acamado por paja rugosa (*Ischaemum rugosum* Salisb.)

Revista Geográfica de América Central, vol. 1, núm. 66, 2021, Enero-Junio, pp. 385-406
Universidad Nacional

DOI: <https://doi.org/10.15359/rgac.66-1.15>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451766199015>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



Características espectrales del arroz (*Oryza sativa L.*) bajo condiciones de acamado por paja rugosa (*Ischaemum rugosum Salisb.*)

Spectral characteristics of rice (*Oryza sativa L.*) plantations under lying down conditions caused by wrinkle grass (*Ischaemum rugosum Salisb.*)

Carlos Enrique Guillén-García¹

Ministerio del Poder Popular para la Planificación, Venezuela.

Mirian Josefina Dávila-Albarrán²

Universidad de los Andes, Venezuela,

Luis Gerardo Guillén-García³

Hacienda Terranova, Venezuela.

Luis Alipio Guillén-Pérez⁴

Ministerio del Poder Popular para la Agricultura Productiva y Tierras,
Venezuela

-
- 1 Ing. Agrónomo. Msc. Ministerio del Poder Popular para la Planificación (MPPP). Instituto de Proyectos Especiales (IPE), Mérida estado Mérida, Venezuela. guillencarlos41@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-8774-3648>
- 2 Ing. Forestal. Msc. Universidad de los Andes (ULA), Profesora de la Escuela de Geografía, Mérida estado Mérida, Venezuela. miriandavila@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-8667-2964>
- 3 Ing. Agrónomo. Msc. Gerencia Técnica, Hacienda Terranova. Guanarito estado Portuguesa, Venezuela. lgguilleng@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0003-4913-4758>
- 4 Dr. En Desarrollo Rural. Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MPPAPyT), Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Barquisimeto estado Lara, Venezuela. lagp58@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0003-0889-0098>

Resumen

En Venezuela y el mundo, el arroz es uno de los principales cereales que cubre los requerimientos calóricos del ser humano. La productividad de este cultivo es afectada significativamente por las malezas, dentro de las que destaca la paja rugosa (*Ischaemum rugosum Salisb.*) por su capacidad de modificar la geometría del dosel, condición desventajosa llamada acamado. Esta modificación de la arquitectura de la planta es analizada y comparada con una plantación sana; a través del comportamiento espectral captado por las imágenes Sentinel 2A. Bajo condiciones de acamado la reflectancia de la plantación de arroz aumenta significativamente en la banda roja (B4), mientras decrece en las del infrarrojo cercano; efecto que se detecta al inicio de la floración, aproximadamente a los 88 días después de la siembra. El uso de índices de vegetación (VIs), particularmente RVI y NDVI, permitieron diferenciar las plantaciones de arroz sanas y las afectadas por el acamado. Las bandas espectrales que más aportaron a la discriminación de las áreas afectadas son la B4 de la región del visible y la B11 y B12 de la región del infrarrojo medio.

Palabras clave: Arroz; Agricultura; Malezas; Sensores remotos; Estado Portuguesa.

Abstract

In Venezuela and worldwide, rice is a staple cereal that satisfies the caloric requirements of human beings. The productivity of this crop is significantly affected by weeds, among which *Ischaemum rugosum Salisb.* stands out due to its capacity of inducing modifications in the canopy geometry of rice plants, a disadvantageous condition termed lying down. The latter plant architecture alteration is analyzed and compared to that of a healthy rice plantation by means of spectral behavior analysis employing Sentinel 2A imagery. Under lying down conditions, the reflectance of rice plantations increases significantly in the red band (B4) whilst decreasing in near-infrared bands, the latter effect is characteristically detected at the beginning of the flowering phase, approximately 88 days after sowing. The use of vegetation indices (VIs), particularly RVI and NDVI, allowed differentiating healthy from lying down-afflicted rice plantations; the major discrimination spectral bands correspond to B4 in the visible region and B11 and B12 in the mid-infrared region.

Keywords: Rice; Agriculture; Weeds; Remote sensing; Portuguesa state.

Introducción

El arroz es el componente más importante del régimen alimentario humano, ya que es la primera fuente de carbohidratos a nivel mundial (FAO, 2004). El mismo es consumido por la mayoría de la población mundial, ya que suministra las calorías necesarias para satisfacer los requerimientos de la dieta diaria. Los campos de producción de arroz cubren el 15 % del total de las tierras arables del mundo (Khush, 2005; IRRI, 1993).

La productividad y desarrollo del cultivo de arroz depende no solo del potencial genético; sino también de las condiciones ambientales y de

manejo agronómico que se le dé al cultivo durante sus diferentes fases o etapas de desarrollo (Chauchan, B. 2012). Uno de los manejos necesarios es el control de malezas o hierbas no deseadas, ya que afectan en gran medida los rendimientos de la cosecha (Ferrero A. & Tinarelli, A., 2008; Johnson, D., et al. 2004; Chauchan & Johnson, 2011).

Dentro del gran número de malezas que afectan los rendimientos del cultivo del arroz, *Ischaemum rugosum* Salisb. es reportada como la maleza más difícil de controlar en los arrozales venezolanos (Cásares, M. 2012; Ortiz, et al. 2013).

En la actualidad, existen diferentes herramientas tecnológicas que permiten monitorear con un alto grado de precisión las diferentes anomalías o afectaciones del desarrollo de los cultivos; tales como los Sistemas de Información Geográficos (SIG) y la Teledetección (Guillén, et al. 2019; Nguyen D., & Wagner W. 2017; Bridhikitti, A. & Overcamp, T. 2012).

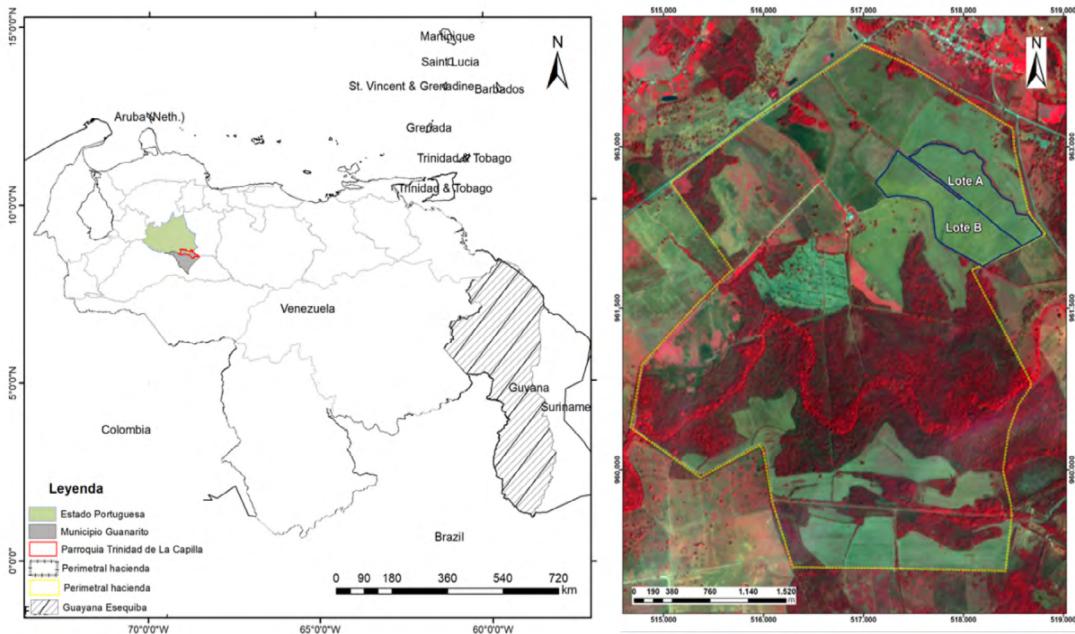
Área de estudio

El área de estudio está localizada en la región cerealera occidental venezolana, específicamente en el estado Portuguesa, el cual es el segundo estado productor de cereales del país. En él se desarrollan cultivos cerealeros como Maíz (*Zea mays*), Sorgo (*Sorghum bicolor*) y Arroz (*Oryza sativa*).

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la Hacienda terranova C.A, localizada en la Parroquia Trinidad de la Capilla, Municipio Guanarito, estado Portuguesa, Venezuela; entre las coordenadas UTM 964.090N - 514.600E y 959.083N - 518.751E.

Tiene un área de 1.365 ha, con una amplia superficie cubierta por bosque. Presenta una vocación de uso arrocera, dada las características Arcillosas (A) y Arcillo limosas (AL) del suelo, condiciones climáticas y el relieve que posee (pendientes promedio < 1 %). El trabajo se concentró en los lotes de arroz A y B (figura 1), las cuales poseen 40,3 ha y 52,3 ha respectivamente, para una superficie total del área de estudio de 92,6 ha.

Figura 1. Ubicación Relativa nacional (izquierda) y lotes de arroz de la Hacienda Terranova (derecha) empleados en la investigación sobre una combinación de falso color (FCC) de la imagen Sentinel 2A de fecha 17/02/2017.



Fuente: Elaborado con base a la cartografía Nacional oficial del IGVSB (2014) y la imagen Sentinel 2A combinación 4-3-2 del 17/02/2017 (<https://earthexplorer.usgs.gov>, 2017)

Marco teórico-conceptual

La teledetección se basa en el registro de energía electromagnética captada por los sensores a bordo de satélites, energía que es emitida o reflejada por un objeto o superficie de la tierra en distintas bandas del espectro electromagnético.

Las imágenes satelitales proveen datos cuantitativos y espacialmente continuos de la superficie (Paruelo, J., 2008). Estas cualidades han permitido la aplicación de estas herramientas en la identificación de patrones de cultivos, así como estimación de producción de grandes extensiones (Guillén, C. et al. 2019).

Las propiedades ópticas de las cubiertas vegetales son complejas para analizar debido a que las mismas, no sólo varían con las características propias de los vegetales, sino que dependen también de otros factores tales como la elevación solar, posición del sensor, condiciones atmosféricas, orientación de las líneas de cultivo, geometría del dosel, estructura fisiológica de las hojas, plagas y enfermedades, suelo subyacente, entre otros factores (Santiago, O., 2006).

La densidad del follaje del cultivo y los cambios en su geometría juegan un importante rol en la recepción de la energía incidente y por consecuente, en la formación y acumulación de biomasa. La mayoría de las plantas verdes bajo condiciones normales, exhiben un perfil espectral característico de alta reflectancia en el infrarrojo cercano y de baja reflectividad en el visible.

Pero, variaciones de las condiciones regulares de desarrollo del cultivo, tales como el estrés o el cambio en la geometría del dosel por las malezas, afectan el comportamiento espectral del cultivo; condiciones que pueden ser evaluados con la teledetección (Hernández, R. 2017; Nuarsa et al, 2011). A su vez, durante el crecimiento de las plantas, las reflectividades del visible y del infrarrojo (IR) medio disminuyen en tanto que aumenta la del IR próximo (NIR), pero durante la senescencia se aprecia el efecto inverso (Santiago, O. 2006).

Las investigaciones de comportamientos espetrales se han enfocado en analizar plantaciones de arroz infestadas de plagas y enfermedades (Qin & Zhang, 2005; Yang and Cheng, 2001), así como el monitoreo y rendimiento del arroz (Mosleh, M. et al, 2015; Xiao, X., et al, 2005; Guan, X. et al., 2016).

Este estudio usa imágenes de la plataforma satelital de acceso libre Sentinel-2, para monitorear las diferencias de las propiedades espetrales de plantas de arroz en condiciones de desarrollo óptimo y de acamado por la maleza paja rugosa (*Ischaemum rugosum Salisb.*), en un área de 142,4 ha.

Marco metodológico

Fuentes de información

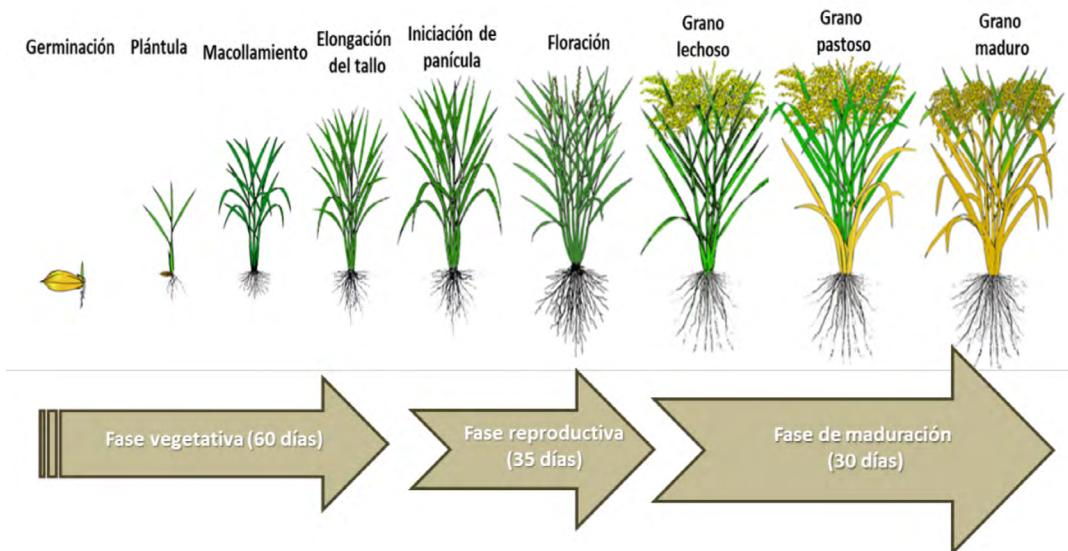
- Agroproductiva

La variedad de arroz cultivada en la hacienda en el ciclo invierno del año 2017 fue la variedad MD248 de fundación Danac. La duración del

ciclo es de aproximadamente 115 días, dependiendo de las condiciones climáticas. La misma presenta un macollamiento intermedio de 15 macolllos/planta; con un crecimiento semi-erecto, de altura entre 100 a 105 cm. Posee un follaje verde durante toda su etapa de maduración; y tiene una senescencia tardía. Esta variedad fue sembrada con el inicio del período lluvioso en la zona el 15 de mayo de 2017.

Las plantaciones de arroz poseen tres fases de desarrollo bien marcadas, las cuales tienen períodos de crecimiento definidas en cuanto a la diferenciación de la planta y los días de duración de estas tres fases: vegetativa, reproductiva y de maduración (figura 2).

Figura. 2. Fases fenológicas del Cultivo de arroz.



Fuente: Modificado de www.irri.org

La fase vegetativa por lo general dura 60 días en las variedades de período intermedio. Comprende desde la germinación de la semilla, emergencia o plántula, macollamiento (ahijamiento), hasta la elongación del tallo.

La fase reproductiva incluye el período desde la iniciación de panícula, hasta la emergencia de la panícula (floración); con una duración entre 35 y 40 días. La fase de madurez abarca desde el llenado y desarrollo de los granos (estado lechoso y pastoso) hasta la cosecha (madurez del grano)

y dura entre 30 a 40 días dependiendo de las variedades (Paredes, M. & Becerra, V. 2015, Álvarez, R. et al. 2004)

La productividad de este cultivo en el mundo es afectada por diferentes plagas, enfermedades y sobre todo por malezas. Una de estas malezas que produce grandes pérdidas en los rendimientos del arroz es la paja rugosa (*Ischaemum rugosum Salisb.*) (Torres, S & Ortiz A., 2017).

Esta maleza tiene un ciclo vegetativo con mayor velocidad de crecimiento que el del cultivo de arroz, cualidad que le confiere una ventaja potencial para competir tanto por los insumos como por la energía solar, llegando a igualar y superar el follaje del arroz en plena fase de maduración. Una vez superado el follaje del arroz, la maleza por la debilidad de sus tallos; es propensa a causar un volcamiento o acamado del cultivo de arroz (Lubigan, R. & Moody, K., 1990; Awan, T. et al, 2014); produciendo una pérdida total del área afectada sino es controlada a tiempo con los herbicidas selectivos.

La condición de acamado o cambio de la geometría del follaje del arroz a causa de la maleza (figura 3), permite que sea identificado mediante las herramientas de teledetección, ya que todos los objetos de la tierra tienen la propiedad de reflejar o emitir energía, la cual puede ser captada por los sensores remotos. Esta propiedad física hace que los elementos del paisaje tengan su identificación espectral característica, de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas, entre las cuales Guillen & Dávila (2017) destacan la arquitectura o estructura del follaje de la vegetación.

Figura 3. Acamado del follaje del cultivo del arroz por la paja rugosa (*Ischaemum rugosum Salisb.*).



Fuente: Elaboración propia.

- Espectral

Para conocer las áreas afectadas por la paja rugosa (*Ischaemum rugosum Salisb.*) sobre los lotes de arroz y sus características espectrales, se obtuvieron imágenes de satélite Sentinel 2A con bajo porcentaje de nubosidad y que estuvieran dentro del calendario agronómico del cultivo (mayo-septiembre).

Para el trabajo de investigación se obtuvieron las imágenes de fechas del 18 de mayo, 06 de agosto y 15 de septiembre del 2017, las cuales fueron adquiridas a través de la plataforma del servicio geológico del gobierno de los Estados Unidos (United States Geological Survey) con un nivel de Preprocesamiento 1C.

Estas imágenes satelitales cuentan con 13 bandas espectrales que van desde las longitudes de ondas cortas para la detección de aerosoles, pasando por el visible y el infrarrojo. Tienen una resolución espacial de 10, 20 y 60 m. Poseen una resolución radiométrica de 16 bits y un período de revisita de 10 días, lo que permite obtener datos en tiempo real de la superficie terrestre, facilitando en este caso el seguimiento del desarrollo del cultivo de arroz.

Para la investigación se seleccionaron del conjunto de las 13 bandas sólo las bandas de 10 m (B2, B3, B4, B8) y 20 m (B5, B6, B7, B8a, B11 y B12) de resolución espacial (Guillen, C., et al. 2019).

Análisis espectral

Preprocesamiento

Corrección radiométrica y atmosférica. En el análisis temporal de la información de las imágenes de sensores remotos, las correcciones radiométricas son una parte importante del análisis de la imagen.

El número digital (DN) de las imágenes de las diferentes fechas adquiridas deben ser convertidas a números digitales corregidos para eliminar los efectos atmosféricos y radiométricos, de manera tal que ellos sean valores comparables.

En este estudio empleamos el método de corrección de sustracción del objeto oscuro (DOS1 por sus siglas en inglés: Dark object subtraction, versión 1) a través del plugin de clasificación semiautomática del software QGIS development team, versión 2.18.14.

El método consiste en identificar áreas en la imagen con valores digitales muy bajos de reflectancia, asumiendo que los mismos son consecuencia de la dispersión (scattering) atmosférica y pueden ser utilizados para calibrar el resto de la imagen (Chávez, 1996).

Post-procesamiento

Análisis de las características espetrales de las plantas de arroz.

La obtención de los valores de reflectancia para ambas condiciones del cultivo, fueron obtenidas a partir de las imágenes Sentinel 2A durante el ciclo de crecimiento del cultivo del arroz.

Para esto, se tomó de cada imagen una muestra de 588 pixeles para las áreas cultivadas que presentaban el arroz con desarrollo vegetativo óptimo, y 461 pixeles para el arroz acamado por la maleza paja rugosa (*Ischaemum rugosum* Salisb.).

Esta selección fue orientada a partir de la interpretación visual de la composición en falso color (FCC) de las bandas 8-4-3. El promedio de los valores de reflectividad de las muestras de cada área fue usado como el valor representativo de la espectralidad de la condición del arroz para la fecha de captura de la imagen. Basado en estos valores espetrales, fueron calculados los índices de vegetación mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Índices de vegetación usados en el estudio para identificar las características espetrales del arroz bajo las condiciones de acamado y de desarrollo vegetativo óptimo (Fuente: elaboración propia)

Índice de Vegetación	Fórmula	Autor
NDVI	Índice de Vegetación Diferencial Normalizado	NDVI=(nir - r)/(nir + r)
RVI	Índice de Vegetación Relativo	RVI=nir/r
IPVI	Índice de Vegetación del porcentaje del Infrarrojo	IPVI=nir/(nir+r)
DVI	Índice de Vegetación de diferencia	DVI= nir - r
OSAVI	Índice de Vegetación Ajustado al Suelo optimizado	OSAVI=((1+L)(nir-r))/(nir+r+L)*

* Jiang, Z. et al. (2007), recomienda un valor intermedio de L=0,5.

Resultados y discusión de resultados

Características espectrales del arroz bajo condición de acamado y desarrollo vegetativo óptimo.

Las propiedades de reflectividad del cultivo de arroz son similares a las de los cultivos en general (Guillen, C. et al., 2019), sin embargo; el incremento de la reflectividad en la región visible del espectro electromagnético es respuesta a la sensibilidad metabólica de la clorofila (Ortega, 2015)

Para el 15 de septiembre, el área del cultivo de arroz afectada presentó un aumento de la reflectividad en la banda del rojo B4 (665 nm), y una disminución de la reflectividad en las bandas del infrarrojo cercano (figura 4).

Esto se debió al cambio en la composición de los pigmentos de la hoja, la disminución de la actividad fotosintética y/o contenido de clorofila, así como al debilitamiento de la estructura interna de las hojas del arroz.

Este comportamientopectral se aprecia igualmente en la figura 5, donde a partir de la iniciación de panícula, cuando el arroz alcanza sus 80 días después de la siembra (dds); los valores del NDVI del arroz acamado comienzan a decrecer en comparación con los valores del arroz con desarrollo óptimo.

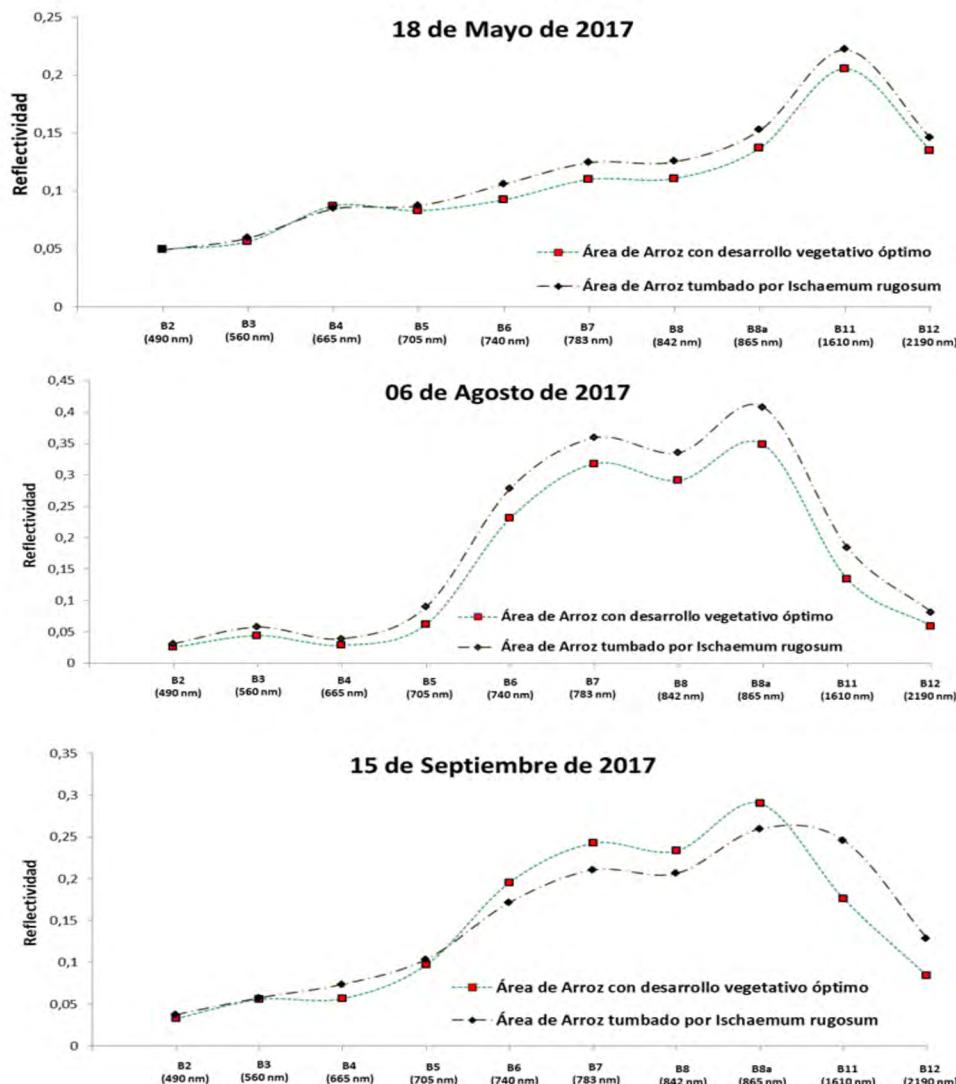
Esta tendencia se observa en detalle en las áreas de los recuadros sombreados de la figura 6, en la cual el comportamientoespectral del arroz con desarrollo óptimo supera la reflectividad del arroz acamado en las bandas del infrarrojo cercano: banda-6 (740 nm), banda-7 (783 nm), banda-8 (842 nm) y banda-8a (865 nm); debido a la mayor dispersión de la reflectividad por el mesófilo esponjoso que se mantiene en la estructura celular de las hojas del cultivo con desarrollo vegetativo óptimo.

En las bandas 11 y 12 del infrarrojo medio del espectro electromagnético de las imágenes de Sentinel 2A, los valores de reflectividad son superiores para el arroz acamado; debido a que el arroz con desarrollo óptimo presenta mayor contenido de agua, propiedad que le permite reflejar menor energía (Thenkabail et al., 1994).

Otro resultado a destacar es que, ya a los 88 dds (comienzo de la floración) se comienza a detectar en la imagen captada el 06 de agosto del 2017 (figura 7), ligeras tonalidades que sugieren el acamado del arroz.

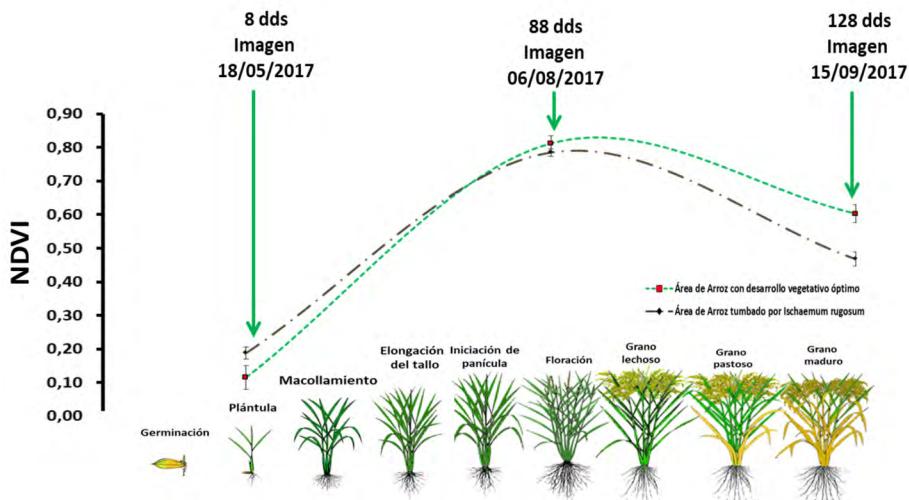
Estas tonalidades se expresan en las amplias diferencias porcentuales de las reflectividades que poseen las bandas entre ambas condiciones

Figura 4. Diferencias de los patrones espetrales del arroz bajo condiciones de desarrollo vegetativo óptimo y de acamado a los 8 dds (superior), 88 dds (medio) y 128 dds (inferior).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Comportamiento del índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) a través del ciclo vegetativo del arroz bajo condiciones de acamado y con desarrollo vegetativo óptimo.



Fuente: Elaboración propia.

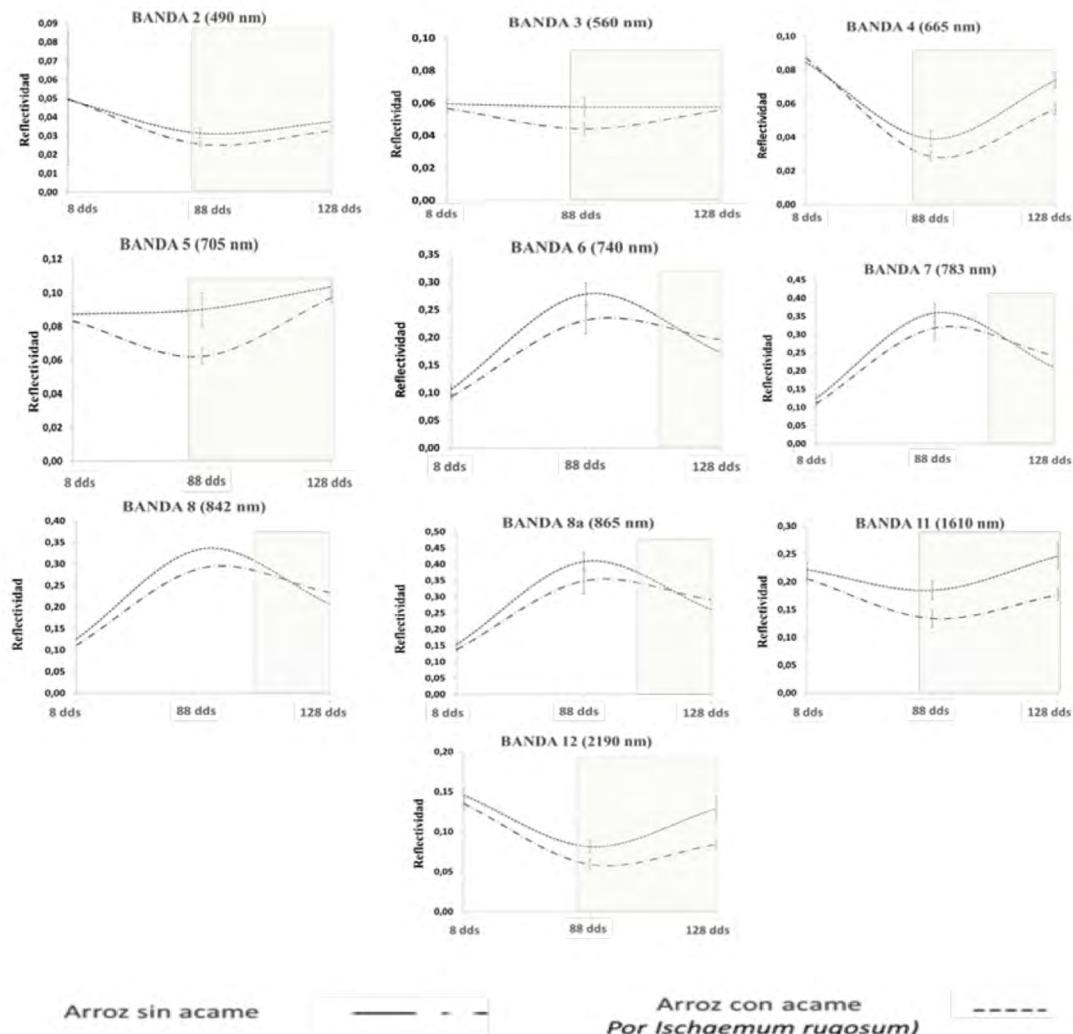
para esta etapa del cultivo que se describen en la tabla 2, con mayor énfasis en las bandas del rojo (B4), borde del rojo (B5) y para las bandas del infrarrojo medio (B11 y B12); diferencias que se acentúan para la etapa de madurez del grano (128 dds).

En esta última etapa del cultivo, las diferencias porcentuales de las reflectividades en el infrarrojo cercano son negativos, lo que indica que el área de arroz acamado posee una reflectividad menor que el área de arroz con desarrollo vegetativo óptimo.

Índices de vegetación para el arroz acamado y con desarrollo vegetativo óptimo.

Las combinaciones de bandas de las imágenes Sentinel 2A bajo las formas de índices de vegetación, han conducido a orientar las diferencias en las reflectividades del arroz bajo la condición de acamado y con desarrollo vegetativo óptimo.

Figura 6. Características espetrales de arroz bajo condiciones de acame por la paja rugosa (*Ischaemum rugosum* Salisb.) y sin acame (desarrollo vegetativo óptimo) para las bandas de Sentinel 2A.

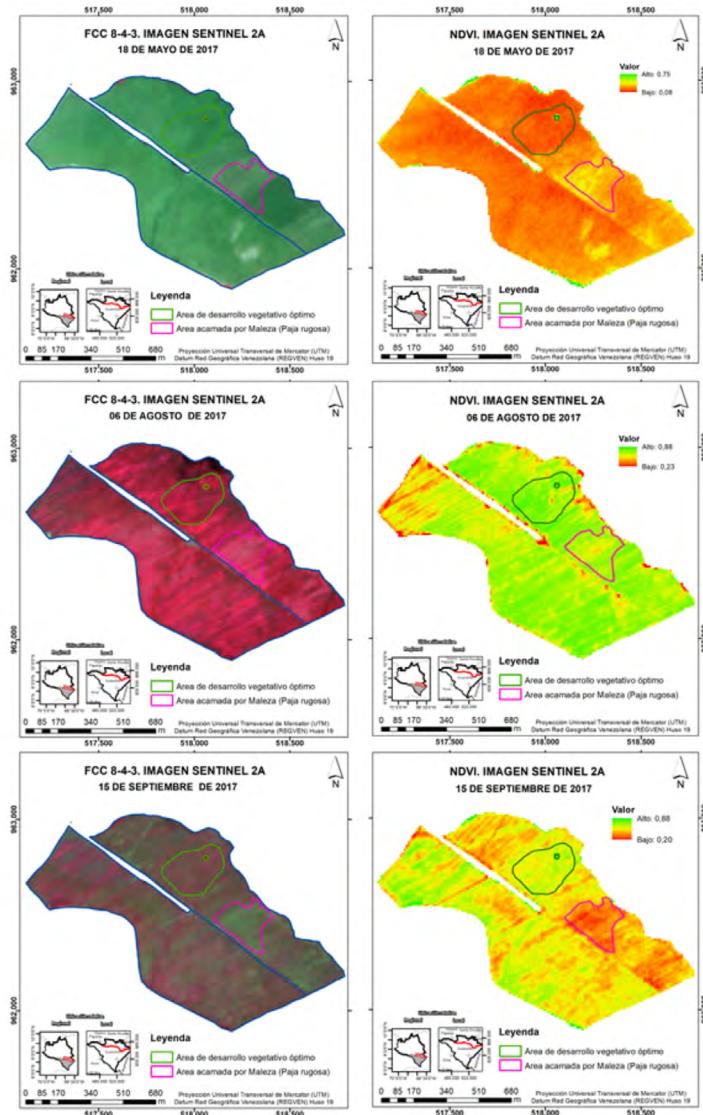


Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Diferencias promedio de valores de reflectancia entre el arroz con un desarrollo vegetativo óptimo y arroz acamado por la maleza Paja rugosa (*Ischaemum rugosum Salisb.*).

Condición del arroz	Días después de la Siembra (días)	Valores de Reflectancia									
		Banda-2 (490 nm)	Banda-3 (560 nm)	Banda-4 (665 nm)	Banda-5 (705 nm)	Banda-6 (740 nm)	Banda-7 (783 nm)	Banda-8 (842 nm)	Banda-8a (865 nm)	Banda-11 (1610 nm)	Banda-12 (2190 nm)
Arroz con desarrollo vegetativo óptimo (Promedio/ds)	8 dds (18/05/2018)	0,0498/0,04	0,0566/0,00	0,0872/0,00	0,0832/0,00	0,0926/0,00	0,1101/0,01	0,1111/0,01	0,1373/0,01	0,2056/0,01	0,1353/0,01
Arroz tumbado por <i>Ischaemum rugosum</i> (Promedio/ds)		0,0498/0,02	0,0595/0,00	0,0873/0,00	0,0904/0,00	0,1060/0,01	0,1246/0,01	0,1253/0,01	0,1526/0,01	0,2219/0,01	0,1458/0,01
Diferencia de Reflectancia	0,00%	5,12%	0,11%	8,65%	14,47%	13,17%	12,88%	11,14%	7,93%	7,76%	
Arroz con desarrollo vegetativo óptimo (Promedio/ds)	88 dds (06/08/2018)	0,0256/0,00	0,0441/0,00	0,0287/0,00	0,0622/0,00	0,2313/0,02	0,318/0,03	0,2911/0,04	0,3485/0,04	0,134/0,02	0,0593/0,01
Arroz tumbado por <i>Ischaemum rugosum</i> (Promedio/ds)		0,0314/0,00	0,0576/0,01	0,0391/0,00	0,0901/0,01	0,2788/0,02	0,3592/0,03	0,3355/0,03	0,408/0,03	0,1845/0,02	0,0814/0,01
Diferencia de Reflectancia	22,65%	30,61%	36,24%	44,85%	20,54%	12,95%	29,11%	17,07%	37,69%	37,27%	
Arroz con desarrollo vegetativo óptimo (Promedio/ds)	128 dds (15/09/2018)	0,0327/0,00	0,0557/0,00	0,0567/0,00	0,1036/0,00	0,1957/0,01	0,2425/0,01	0,2334/0,01	0,2909/0,01	0,1765/0,01	0,0841/0,01
Arroz tumbado por <i>Ischaemum rugosum</i> (Promedio/ds)		0,0375/0,00	0,0576/0,00	0,0739/0,00	0,0971/0,00	0,1719/0,01	0,2107/0,01	0,2065/0,01	0,2599/0,01	0,2462/0,02	0,129/0,02
Diferencia de Reflectancia	14,68%	3,41%	30,34%	6,27%	-12,16%	-13,11%	-11,53%	-10,66%	-39,49%	-39,39%	

Figura 7. Combinación en falso color (izquierda) e Índice de Vegetación Normalizado Diferenciado (derecha) de las imágenes Sentinel 2A de fecha 18 de mayo (superior), 06 de agosto (medio) y 15 de septiembre (inferior) del año 2017.



Fuente: Elaboración propia.

Carlos Enrique Guillén-García, Mirian Josefina Dávila-Albarrán, Luis Gerardo Guillén-García,

Luis Alipio Guillén-Pérez

*Spectral characteristics of rice (*Oryza sativa L.*) plantations under lying down
conditions caused by wrinkle grass (*Ischaemum rugosum Salisb.*)*

Para las tres fechas de observación de las etapas de desarrollo del cultivo y cálculo de los índices de vegetación, el NDVI mostró las mayores diferencias porcentuales en la identificación de las dos condiciones de desarrollo en las etapas de plántula (8 dds), y maduración del grano (128 dds), con -0,07% y 1,4% respectivamente. Sin embargo, para la etapa de desarrollo de floración (88 dds), el índice de vegetación proporcionado (RVI) fue el indicador que mostró mayor deferencia entre ambas condiciones del arroz para la detección temprana (tabla 3).

Tabla 3. Diferencias promedio de valores de índices de vegetación entre el arroz con un desarrollo vegetativo óptimo y arroz acamado por la maleza Paja rugosa (*Ischaemum rugosum* Salisb.).

Condición del arroz	Días después de la Siembra (dds)	NDVI	OSAVI	RVI	IPVI	DVI
Arroz con desarrollo vegetativo óptimo (Promedio/ds)	8 dds (18/05/2018)	0,1200/0,03	0,0512/0,01	1,2750/0,10	0,5598/0,01	0,0238/0,01
Arroz tumbado por <i>Ischaemum rugosum</i> (Promedio/ds)		0,1927/0,02	0,0857/0,01	1,4778/0,06	0,5961/0,01	0,0405/0,01
Diferencia (%)		-0.07	-0.03	-0.20	-0.04	-0.02
Arroz con desarrollo vegetativo óptimo (Promedio/ds)	88 dds (06/08/2018)	0,8181/0,03	0,4782/0,05	10,2215/1,59	0,9089/0,01	0,2620/0,04
Arroz tumbado por <i>Ischaemum rugosum</i> (Promedio/ds)		0,7909/0,02	0,5075/0,03	8,6628/0,94	0,8955/0,01	0,2961/0,03
Diferencia (%)		0.03	-0.03	1.56	0.01	-0.03
Arroz con desarrollo vegetativo óptimo (Promedio/ds)	128 dds (15/09/2018)	0,6085/0,03	0,3352/0,02	4,1348/0,41	0,8042/0,01	0,1767/0,01
Arroz tumbado por <i>Ischaemum rugosum</i> (Promedio/ds)		0,4728/0,03	0,2547/0,02	2,8087/0,21	0,7367/0,01	0,1327/0,01
Diferencia (%)		1.40	0.08	0.01	0.07	0.04

Conclusiones

El análisis de la reflectividad del arroz permitió conocer los diferentes comportamientos de los patrones espectrales que presenta el cultivo del arroz cuando es acamado por la maleza paja rugosa (*Ischaemum rugosum Salisb.*).

Este efecto de acamado comienza a detectarse espectralmente a partir de la etapa de iniciación de floración, cuando el cultivo alcanza aproximadamente sus 88 días después de la siembra.

Cuando el cultivo esta acamado, la reflectividad captada por las bandas del visible de las imágenes de Sentinel 2A aumenta; las bandas del infrarrojo cercano disminuyen, y las bandas del infrarrojo medio aumenta; debido a las propiedades ópticas de la estructura de la hoja, contenido de humedad de la misma, y variaciones en la composición de los pigmentos fotosintéticos; sin descartar el aporte a la reflectividad que causa el suelo al ser despejado por la maleza.

Las bandas del rojo (B4) y del infrarrojo medio (B11, B12), fueron las mejores bandas para distinguir las áreas de cultivo de arroz acamado de las áreas de desarrollo vegetativo óptimo, debido a que son las bandas que presentaron las mayores diferencias porcentuales de reflectancia entre ambas condiciones.

La utilización de los índices de vegetación para la discriminación entre ambas condiciones, complementaron los análisis espectrales, dando como resultado que el índice de vegetación proporcionado (RVI) discrimina mejor ambas condiciones cuando el efecto de acamado está comenzando. Sin embargo, cuando el efecto es más significativo, el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) presentó un mayor potencial para identificar áreas de cultivo de arroz acamado.

Las imágenes Sentinel 2A poseen resoluciones temporal, espectral y espacial; que permiten una adecuada identificación de áreas cultivadas de arroz que se encuentren afectadas por malezas.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su profundo agradecimiento a los propietarios de la hacienda Terranova C.A por su invaluable apoyo para el desarrollo del presente trabajo; y de igual forma al Profesor Juan López por sus orientaciones en el presente trabajo.

Referencias

- Álvarez, R., Torres, O., Reyes, E. y O. Moreno. (2004). *El cultivo del arroz en Venezuela*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Venezuela, pp. 59-70.
- Awan, T., Chauchan, B. & P. Cruz. (2014). Physiological and Morphological Responses of *Ischaemum rugosum* Salisb. (Wrinkled Grass) to Different Nitrogen Rates and Rice Seeding Rates. En: PLoS One, Vol 9 (6).
- Bridhikitti, A. & Overcamp, T. (2012). Estimation of Southeast Asian rice paddy areas with different ecosystems from moderate-resolution satellite imagery. En: Agriculture, *Ecosystem and Environment*, (146), 113 – 120.
- Cásares, M. (2012). *Diagnóstico sobre la situación del manejo de malezas y la resistencia a herbicidas en el cultivo de arroz en Venezuela*. Trabajo de ascenso. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, p.146.
- Chauchan, B. (2012). *Weed management in direct-seeded rice systems*. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute (IRRI), p. 20.
- Chauchan, B.S & D.E. Johnson. (2011). Row spacing and weed control timing affect yield of aerobic rice. *Field Crops Research* 121, pp. 226-231.
- Chavez, P.S. (1996). Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved. En: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62 (9), pp. 1025-1036.
- FAO. (2004). *El arroz y la nutrición humana*. Año internacional del arroz. Roma, Italia. Recuperado: <http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja3.pdf>
- Ferrero, A & A. Tinarelli. (2008). Chapter 1: Rice Cultivation in the E.U. Ecological. En: Conditions and Agronomical Practices. Pesticide Risk Assessment in Rice Paddies: Theory and Practice. Editorial Elsevier B.V., p. 24.
- Guan, X.; Huang, C.; Liu, G.; Meng, X. & Q. Liu. (2016). Mapping Rice Cropping Systems in Vietnam Using an NDVI-Based Time-Series Similarity Measurement Based on DTW Distance. *Remote Sensing*. Vol. (8), 19, pp. 1-25. <https://doi.org/10.3390/rs8010019>

- Guillén, C. & Dávila, M. (2017). *Guía teórica de Teledetección agrícola. Inventario de cultivos agrícolas.* Diplomado en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica aplicado a la Agricultura.
- Guillén C., Dávila M., Mogollón A., Boscán K. (2019). Monitoreo de la producción de caña de azúcar mediante herramientas de SIG y Teledetección, años 2016-2017, Mérida, Venezuela. En: *Revista Geográfica de América Central*, 63 (2). Costa Rica., pp. 215 – 236. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.63-2.9>
- Hernández, R. (2017). *Metodología para discriminación de malezas basada en la respuesta espectral de la vegetación.* Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de Magister en Geomática. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar (IGVSM). (2014). *Geoportal Nacional Simón Bolívar.* Venezuela. Recuperado: <http://www.igvsb.gob.ve/>
- IRRI, (1993). *1993 – 1995 IRRI Rice Almanac.* Manila: International Rice Research Institute.
- Jiang, Z., Huete, A., Li, Jing. & J. Qi. (2007). Interpretation of the modified soil-adjusted vegetation index isolines in red-NIR reflectance space. *Journal of Applied Remote Sensing* 1(1):013503. <https://doi.org/10.1117/1.2709702>
- Johnson, D.E.; M.C.S. Wopereis.; D. Mbodi.; S. Diallo.; S. Power & S.M. Haefele. (2004). Timing of weed management and yield losses due to weeds in irrigated rice in the Sahel. *Field Crop Research* 85, pp. 31–42.
- Khush, G. (2005). What it will take to feed 5 billion rice consumers in 2030. *Plant molecular Biology*, (59), pp. 1-6.
- Knipping, E. (1970). Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote sensing of environment.* Vol. (1) 3, pp. 155-159. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(70\)80021-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(70)80021-9)
- Lubigan, R.T. & K. Moody. (1990). *Ischaemum rugosum-* some aspects of growth, competitiveness, and control. International Research Rice Institute. Los Baños, Philippines, p. 29.

- Mosleh, M.; Hassan, Q. & E. Chowdhury. (2015). Application of Remote Sensors in Mapping Area and Forecasting Its Production: *A Review*. *Sensors*. Vol. (15), pp. 769-791. <https://doi.org/10.3390/s150100769>
- Nguyen D., & Wagner W. (2017). European Rice Cropland Mapping with Sentinel-1 Data: The Mediterranean Region Case Study. *Water* (9), p. 392. <https://doi.org/10.3390/w9060392>
- Nuarsa, I.; Fumihiro N. & H. Chiharu. (2011). Spectral Characteristics and Mapping of Rice Plants Using Multi-Temporal Landsat Data. *Journal of Agricultural Science*. Vol (3). N° 1, pp. 54-67. <https://doi.org/10.5539/jas.v3n1p54>
- Santiago, O. (2006). *Teledetección fundamental*. 3^{ra} Edición. Escuela técnica superior de ingenieros en topografía, geodesia y cartografía departamento de ingeniería topográfica y cartografía. Universidad Politécnica –Madrid
- Ortega, C. (2015). *Respuesta espectral en el cultivo de Arroz (*Oryza sativa L.*) en dos fases fenológicas durante el período invernal 2014*. (Trabajo especial de grado. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Central del Ecuador). Quito, Ecuador.
- Ortiz, A.; Blanco S.; Arana G.; López L.; Torres S.; Quintana Y.; Pérez P.; Zambrano C. & A. Fischer. (2013). Estado actual de la resistencia de *Ischaemum rugosum* Salisb. Al herbicida bispiribac-sodio en Venezuela. *Bioagro* 25(2), pp.79-89.
- Paredes, M. & Becerra, V. (2015). *Producción de Arroz: Buenas prácticas agrícolas* (BPA). Boletín INIA N° 36. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Chile.
- Paruelo, J. M. (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. En: *Ecosistemas*, 17 (3), pp. 4-22.
- QGIS Development Team. Version 2.18.14. (2009). *Quantum GIS Geographic Information System, Open Source Geospatial Foundation*. Recuperado de: <http://qgis.osgeo.org>
- Qin, Z & Zhang, M. (2005). Detection of rice sheath blight for in season disease management using multispectral remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (7), pp. 115 – 128.

- Richardson, A. J. & Wiegand, C. L. (1977). Distinguishing Vegetation from Soil Background Information. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. Vol (43), 12, pp. 1551-1542.
- Rondeaux, G., M. Steven, & F. Bare. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing and Environment*, 55, pp. 95-107.
- Rouse, J. W. Jr., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A. and Harlan, J. C. (1974). *Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation* 371Greenbelt, MD NASA/GSFC Type III Final Report. [Google Scholar]
- Thenkabail, P.; Ward, A. Lyon, J. & C. Merry. (1994). Thematic mapper vegetation indices for determination soybean and corn growth parameter. En: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol (60), pp. 437-442.
- Torres, S. & Ortiz, A. (2017). Mecanismos de resistencia de Paja Rugosa (*Ischaemum rugosum* Salisb.) al herbicida Bispiribac-Sodio en el cultivo de arroz. En: *Bioagro* 29 (2), pp. 95-104.
- Tucker, C. (1979). Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8, pp. 127-150.
- Viollier, M., Belsher, T., & L., Loubersac. (1985). *Signatures spectrales des objets du littoral*. Proceedings of the 3rd International Colloquium Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, SP-247 (Les Arcs: ESA), pp. 253–256.
- Yang, C., & Chen, C. (2001). Spectral characteristic of rice plants infested by Brown planthopper. *Proceeding of the national Science Council*, (25), pp. 180 – 186.
- Xiao, X., Boles, S., Liu, J.; Zhuang, D.; Frolking, S.; Li, C.; Salas, W. & B. Moore. (2005). Mapping paddy rice agriculture in Southern China using multi-temporal MODIS images. En: *Remote Sensing of Environment*. Vol (95), pp. 480 – 492. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.12.009>