

Determinación de la firma espectral en Oryza latifolia en cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*)

*Spectral Signature Determination in Oryza Latifolia:
in Rice Cultivation (*Oryza sativa L.*)*

✉ Eldo Yoel Flores-del Castillo^{I*}, Osvaldo Delgado-González^{II}, Yamilka Lugones-Cedeño^{III} and Elizabeth Pérez-Díaz^I

^IUniversidad de Sancti Spíritus, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Agronomía, Sancti Spíritus, Cuba.

^{II}Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile, Santiago de Chile, Chile.

^{III}Departamento de Guardabosques, Minint, Sancti Spíritus, Cuba.

*Autor para correspondencia: Eldo Yoel Flores-del Castillo, e-mail: yoelf1414@gmail.com

RESUMEN: *Oryza latifolia* Desv. es una especie presente en el cultivo del arroz comercial en Cuba, conocida como un arvense de difícil control. Con el objetivo de generar estrategias de sitio específico donde crece esta planta, se realizaron mediciones de reflectancia del arvense para crear mapas de distribución espacial que la discriminen. Se midió la reflectancia del arvense en tres etapas de su desarrollo en las bases productivas UBPC “El Cedro”, “Sur del Jíbaro” y “Las Nuevas”. Además, se midió la reflectancia de las variedades de arroz comercial: INCA LP-7 y IACUBA-41 en “El Cedro”, J-104 en “Sur del Jíbaro” y IACUBA-32 y IACUBA-41 para “Las Nuevas”, en las etapas vegetativa y reproductiva. Para esto se realizaron 20 mediciones a cada variedad y arroz maleza, en cada localidad y etapa de desarrollo. Se efectuó un ANOVA y una prueba de Duncan. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p<0,05$) para medias de los valores de longitud de onda en la banda NIR, entre la reflectancia del arroz maleza y las variedades de arroz, para cada una de las evaluaciones. Además, en la banda verde también se obtuvieron algunas diferencias significativas entre la reflectancia de las especies, por lo que ambas bandas demostraron potencial para la discriminación. Asimismo, la firma espectral del arroz maleza en los lotes con texturas de suelo arenoso y arcilloso fue distinta, pero cabe destacar que no solo la textura influye en la reflectancia sino también otros factores ambientales y fisiológicos.

Palabras clave: arvense, control, discriminación, reflectancia, sitio específico.

ABSTRACT: *Oryza latifolia* Desv. is a species present in commercial rice cultivation in Cuba, known as a weed that is difficult to control. In order to generate site-specific strategies where this plant grows, reflectance measurements of the weed were carried out to create spatial distribution maps that discriminate it. The reflectance of the weed was measured in three stages of its development in the UBPC production bases “El Cedro”, “Sur del Jíbaro” and “Las Nuevas”. In addition, the reflectance of the commercial rice varieties was measured: INCA LP-7 and IACUBA-41 in “El Cedro”, J-104 in “Sur del Jíbaro” and IACUBA-32 and IACUBA-41 for “Las Nuevas”, in the vegetative and reproductive stages. For this, 20 measurements were made for each variety and weedy rice, in each location and stage of development. An ANOVA and Duncan test were performed. The results showed significant differences ($p<0.05$) for mean wavelength values in the NIR band, between the reflectance of weedy rice and the rice varieties, for each of the evaluations. In addition, in the green band there were also some significant differences between the reflectance of the species, so both bands demonstrated potential for discrimination. Likewise, the spectral signature of weedy rice in the plots with sandy and clayey soil textures was different, but it should be noted that not only the texture but also other environmental and physiological factors influence reflectance.

Keywords: Weed, Control, Discrimination, Reflectance, Site-Specific.

INTRODUCCIÓN

El arroz es uno de los cultivos más importantes del mundo, constituyendo el segundo cereal de mayor producción y uso en alimentación después del trigo (Pincioli et al., 2018). En el 2019 en el mundo se sembraron más de 162 millones de hectáreas de arroz y hubo una producción mayor a los 755 millones de toneladas (Jiménez, 2021). Esto muestra la importancia de este cultivo y el continuo mejoramiento en su manejo el cual representa una necesidad para un mundo donde la población va en aumento (Woolston, 2014). El cultivo

del arroz tiene una gran importancia en el país, debido a la cantidad de fuerza laboral que emplea su producción y al consumo que existe de este grano. Sin embargo, uno de los factores que afecta la producción de arroz es la presencia de malezas, las cuales compiten con el cultivo y afectan su crecimiento, establecimiento y rendimiento final. Las malezas provocan daños directos e indirectos en el cultivo, al competir por los recursos disponibles, disminuir la calidad de la cosecha, ser hospederos de enfermedades e insectos-plaga y al tener compuestos alelopáticos que afectan el desarrollo del cultivo (Vásquez et al., 2020).

Recibido: 20/10/2024

Aceptado: 12/03/2025

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR: Conceptualización: E.Y. Flores. Curación de datos: E.Y. Flores, O. Delgado. Análisis formal: E.Y. Flores, O. Delgado, E. Pérez. Investigación: E.Y. Flores, O. Delgado, Y. Lugones, E. Pérez. Visualización: E.Y. Flores, O. Delgado, E. Pérez. Redacción-borrador original: E.Y. Flores, O. Delgado, Y. Lugones. Redacción-revisión y edición: E.Y. Flores, O. Delgado, Y. L. Cedeño.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Dentro las principales malezas, se encuentra un grupo de especies y morfotipos del género *Oryza*, conocidas como arroces maleza, las cuales interfieren en la producción de semilla, el rendimiento y la comercialización del producto (Arrieta et al., 2005).

Una de estas malezas es *Oryza latifolia* Desv (arroz maleza), la cual es de gran importancia en América Central, países en el Mar Caribe, Golfo de México según Delouche et al. (2007) donde se distribuye principalmente por zonas bajas (Zamora et al., 2003). Esta maleza puede ser confundida con el arroz comercial debido a la relación taxonómica entre especies, situación que dificulta los métodos de control y aumenta los costos de producción. Además, presenta tolerancia a las prácticas utilizadas en su control, las cuales se basan en aplicaciones de herbicidas (Castro, 1999). Debido a esto, es necesario desarrollar nuevas estrategias de manejo del arroz maleza, que sean más específicas y localizadas a los sitios dentro de la plantación donde esta planta se establece. La tecnología juega un papel fundamental para el manejo de malezas de una forma más precisa, en contraste a las aplicaciones de herbicidas generalizadas a todo el cultivo, que comúnmente se utilizan. Dentro de las tecnologías más recientes, se encuentra el uso de la firmapectral generada por la reflectancia de las plantas, la cual es una medida única de la energía que reflejan las plantas en el espectro electromagnético que la diferencia de otras (Castro, 2013). Esta reflectancia cambia según la etapa fenológica y fisiológica de la planta (Arrieta et al., 2005). Además, el suelo puede interferir debido a la interacción que existe entre la reflectancia del dosel del cultivo y el suelo (Thorp & Tian, 2004).

La firmapectral posteriormente se utiliza para crear mapas de distribución de la vegetación del campo que discriminan la maleza del cultivo, esto si las firmas espetrales son significativamente diferentes, por lo cual es importante obtener la reflectancia de distintas variedades de arroz y etapas de desarrollo para cada especie. El uso de sensores remotos transportados en satélites para la creación de estos mapas de vegetación permite ubicar en el lote los parches de malezas, facilitan realizar las aplicaciones de herbicidas de forma dirigida y por lo tanto más precisa (Cid & Moltoni, 2010). Sin embargo, estos medios satelitales pueden tener desventajas como la dificultad de obtención de las imágenes, baja resolución y altos costos, por lo que ha aumentado el uso de sensores remotos aerotransportados mediante drones, los cuales tienen ventajas como fácil transporte, manipulación y bajo costo en la obtención de imágenes (Cid & Moltoni, 2010).

Asimismo, existen otros equipos como los espectros radiómetros que permiten medir la luz que se refleja de un cuerpo, la dividen en las diferentes longitudes de onda y permiten obtener la reflectancia espectral, la cual es la reflectancia vs la longitud de onda, con la que se pueden discriminar diferentes objetos (Analytical Spectral Devices, 2020). Por lo cual, en esta investigación se utilizó este equipo, con el cual se obtuvo la firma espectral de *O. latifolia*, esto permitió diferenciarla de las diferentes variedades de arroz comercial en campo y se demostró el potencial que tiene esta tecnología para posteriormente crear mapas que discriminan esta maleza del cultivo de arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y material experimental

La investigación se llevó a cabo en tres parcelas dedicadas al cultivo de arroz en las bases productivas UBPC “El Cedro”, “Sur del Jíbaro” y UBPC “Las Nuevas”; ubicadas entre 12 y 18 msnm. Según informes del Instituto Meteorológico Nacional de Cuba (INSMET), la zona presenta un clima es tropical, tiene una estación seca corta, con temperaturas promedio entre 22,7 °C y 31,0 °C, un periodo lluvioso severo y con una precipitación promedio de 3500 mm anuales. Además, tiene una precipitación promedio de 1947 mm anuales.

La distribución del experimento se muestra en la Tabla 1. Para la UBPC “El Cedro”, la cual tiene un suelo con textura arcillosa, se sembraron las variedades de arroz comercial INCA LP-7, y IAC-41, mientras que *Oryza latifolia* (arroz maleza) se trasplantaron de manera localizada 20 plántulas. Para la UBPC “Sur del Jíbaro” con suelo arcilloso, se sembró J-104 y *Oryza latifolia* de igual manera. En la parcela de la UBPC “Las Nuevas” con suelo de textura franca se sembraron las variedades comerciales IAC-32 y IAC-41. Las parcelas, con un área de 167 m² cada una, mientras que el arroz maleza se sembró en dos áreas de 1 m² cada una, ubicada dentro de cada parcela de arroz comercial: a razón de 2,24 kg de semilla de la variedad IAC-32, 2,96 kg de la variedad IAC-41 y en cada área de arroz maleza se sembraron 20 semillas.

Se decidió evaluar tanto en finca UBPC “El Cedro” como en la UBPC “Las Nuevas”, la variedad de arroz comercial IAC-41 para poder comparar resultados en dos zonas con diferente textura de suelo.

En la UBPC “Sur del Jíbaro” se sembró la variedad de arroz comercial J-104 y el arroz maleza. Las evaluaciones se realizaron en los meses de junio, julio y agosto del 2024.

TABLA 1. Distribución, variedad de arroz maleza y comercial y textura de suelo de las parcelas evaluadas entre junio-agosto del 2024

UBPC	Variedad de arroz	Textura de suelo
“El Cedro”	INCA LP-7 y IAC-41	Arcillosa
“Sur del Jíbaro”	J-104	Arcillosa
“Las Nuevas”	IAC-32 y IAC-41	Franco

Procedimiento general

Tanto en el lote de “El Cedro”, en ambas variedades de arroz, como en “Sur del Jíbaro”, se ubicaron áreas de 1 m² cada una en cada evaluación donde se encontraban creciendo de forma natural al menos cinco plantas de arroz maleza. En cada área se realizaron cinco mediciones de reflectancia de la luz en las plantas de la maleza, en total se realizaron 20 mediciones de arroz maleza que creció dentro de cada variedad de arroz comercial. Igualmente, se realizaron 20 mediciones de reflectancia de las plantas de cada variedad de arroz comercial.

Las mediciones en “El Cedro” se realizaron cuando el arroz maleza se encontraba en estado de plántula (4-6 hojas), vegetativo (macollamiento) y floración. La reflectancia del arroz comercial se determinó cuando las plantas estaban en estado vegetativo. En “Sur del Jíbaro” las mediciones se realizaron en etapa vegetativa y en etapa de floración, tanto de la maleza como del arroz comercial.

En “Las Nuevas” se realizaron 20 mediciones de reflectancia del arroz maleza y de cada variedad de arroz comercial en tres etapas de desarrollo: plántula con 4-6 hojas, vegetativo (aproximadamente ocho semanas después de la siembra) y reproductivo (cuando el arroz maleza estaba en etapa de floración y las variedades comerciales de arroz en etapa vegetativa).

Con los datos obtenidos se realizó una comparación de la firma espectral (reflectancia) del arroz maleza en las tres etapas de desarrollo evaluadas, usando para esto, los datos obtenidos en finca “El Cedro” y en “Las Nuevas”. También se comparó la reflectancia de las variedades comerciales de arroz, con la firma espectral del arroz maleza. Para esto se graficaron los resultados por localidad y por etapa de desarrollo.

Asimismo, se comparó la reflectancia del arroz maleza y las variedades de arroz IAC-32 y IAC-41 en etapa de plántula, usando los datos obtenidos en “Las Nuevas” (Tabla 2). Además, debido a que se hicieron mediciones de reflectancia al arroz maleza, tanto en “El Cedro” con suelo con textura arcillosa, como en “Las Nuevas” con suelo con textura franca, se realizó una comparación de estos resultados en dos etapas fenológicas.

Para realizar las mediciones se utilizó un espectro radiómetro *Field Spect 4*, con el cual se obtuvieron datos de reflectancia en el rango de longitud de onda de los 350 a

2500 nm. Sin embargo, en este estudio sólo se analizó el rango de los 400 a 900 nm, en el cual se encuentran las bandas de longitud de onda: azul (465-485 nm), verde (550-570 nm), rojo (663-673 nm, borde rojo (712-722 nm) e infrarrojo cercano (NIR) (820-860 nm). Según los resultados obtenidos se seleccionaron las bandas que presentaron las mayores diferencias de reflectancia entre la maleza y el cultivo. Las mediciones se realizaron a aproximadamente 15 cm sobre cada planta evaluada de arroz maleza y arroz comercial, en condiciones soleadas entre las 9:30 am y la 1:00 pm.

Análisis estadístico de los datos

Se utilizó estadística descriptiva para representar los resultados en forma de gráficos. Además, los datos de reflectancia fueron objeto de un análisis de varianza (ANOVA) y se comprobaron los supuestos de normalidad de residuos e igualdad de varianza. Asimismo, se realizó una prueba Duncan para comparar las medias obtenidas en diferentes bandas del espectro, utilizando el programa *Statgraphics*. Se utilizó un valor de significancia del 5% (p<0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Intensidad lumínica

La intensidad lumínica varió en las evaluaciones realizadas. En la segunda y tercera evaluación, tanto en UBPC “Cedro” como en la UBPC “Las Nuevas”, el valor más alto se reportó durante la medición de reflectancia de IAC-41. Asimismo, en la segunda evaluación en UBPC “Cedro”, el valor más bajo se obtuvo durante la medición de reflectancia del arroz maleza (Tabla 3).

Por otro lado, en la primera evaluación en la UBPC “Las Nuevas”, el valor reportado para las especies IAC-32 y arroz maleza fue el mismo debido a que las mediciones de reflectancia se tomaron al mismo tiempo. Lo mismo sucedió en la segunda evaluación en UBPC “Sur” con las especies J-104 y arroz maleza. Del mismo modo ocurrió en la tercera evaluación, en UBPC “Cedro” para las especies LP-7 y arroz maleza, en UBPC “Sur” en las especies J-104 y arroz maleza; además en la UBPC “Las Nuevas” con las especies IAC-32 y arroz maleza.

TABLA 2. Etapa fenológica evaluada en las evaluaciones realizadas para cada especie en las localidades, entre junio-agosto del 2024

UBPC	Especie	Etapa evaluada		
		Evaluación 1	Evaluación 2	Evaluación 3
“El Cedro”	LP-7	Plántula	Vegetativa	Vegetativa
	IAC-41	Plántula	Vegetativa	Vegetativa
	Arroz maleza	Plántula	Vegetativa	Reproductiva
“Sur del Jíbaro”	J-104	Plántula	Vegetativa	Vegetativa
	Arroz maleza	Plántula	Vegetativa	Reproductiva
	IAC-41	Plántula	Vegetativa	Vegetativa
“Las Nuevas”	IAC-32	Plántula	Vegetativa	Vegetativa
	Arroz maleza	Plántula	Vegetativa	Reproductiva

TABLA 3. Medición de la intensidad lumínica en las tres evaluaciones realizadas a cada especie en cada localidad, entre junio-agosto del 2024

Finca	Especie	Lux (lumen/m ²)		
		Evaluación 1	Evaluación 2	Evaluación 3
UBPC “Cedro”	IAC-41	-	187379,0	46844,8
	LP-7	-	143289,8	23422,4
UBPC “Sur”	Arroz maleza	132267,5	121245,2	23422,4
	J-104	-	170845,6	55111,5
UBPC “Las Nuevas”	Arroz maleza	-	170845,6	55111,5
	IAC-41	132267,5	-	154312,1
	IAC-32	148801,0	-	104711,8
	Arroz maleza	148801,0	-	104711,8

No se obtuvieron los datos de intensidad lumínica para la segunda evaluación en la UBPC “Las Nuevas” debido a problemas técnicos con el sensor.

En la banda NIR se obtuvieron los valores más altos de reflectancia en las especies evaluadas, esto debido a que es la banda en la que refleja más la vegetación, lo cual explica que sea la banda utilizada como indicador del estado de las plantas (Thorp & Tian, 2004).

En la banda verde se observó que las distintas especies alcanzan un pico de reflectancia; sin embargo, este es menor que el que se alcanza en la banda NIR. Estas diferencias de reflectancia que se obtuvieron en las bandas se deben a las diferentes características de absorción que poseen los pigmentos de las hojas, que varían con la longitud de onda de la radiación incidente Thorp & Tian (2004).

Asimismo, como mencionan Thorp & Tian (2004), la reflectancia de cada especie de planta difiere a lo largo del espectro electromagnético debido a su estructura celular interna y al contenido de agua, lo cual se observó principalmente en las bandas verde y NIR, donde se obtuvieron las mayores diferencias entre los promedios de reflectancia de las distintas especies.

Comparación entre etapas de desarrollo de arroz maleza

Se encontraron diferencias en las huellas espectrales de arroz maleza según su estado de desarrollo, tanto en UBPC “Cedro” como en la UBPC “Las Nuevas” (Figuras 1 y 2). Estas diferencias fueron más evidentes en las bandas verde (550-570 nm) y NIR (820-860 nm). En general, la reflectancia del arroz maleza fue mayor en etapas más avanzadas de desarrollo (Tabla 4).

Además, los resultados del análisis de varianza y la prueba Duncan mostraron que en la banda NIR, la diferencia de reflectancia entre los estados de desarrollo: plántula, vegetativo y reproductivo del arroz maleza, en ambas localidades, fue estadísticamente significativo, mientras que, en la banda verde, no hubo diferencia significativa entre el estado de desarrollo plántula y vegetativo, en la UBPC “Las Nuevas”.

La firma espectral de las plantas varía en sus distintas etapas fenológicas, lo cual coincide con los resultados obtenidos en la banda NIR, en ambas localidades, donde los promedios de reflectancia del arroz pato en las etapas de plántula, vegetativo y reproductivo fueron significativamente diferentes. En la banda verde, sin embargo, no hubo diferencia significativa entre los promedios de reflectancia del arroz maleza en las etapas de plántula y vegetativo, en “Las Nuevas”.

Asimismo, los resultados en la banda NIR mostraron que los valores de reflectancia aumentaron en etapas fenológicas más avanzadas; es decir, en etapa reproductiva. Sin embargo, en etapas aún más avanzadas como lo es la senescencia, sucede lo contrario. Esto se puede deber a que en esta etapa disminuyen los contenidos de clorofila, el contenido de agua en las hojas y el contenido de aire entre célula y célula, lo cual afecta la reflectancia de la planta.

Comparación entre arroz maleza y arroz comercial en cada sitio UBPC “Las Nuevas”

La mayor diferencia en reflectancia entre las variedades de arroz y el arroz maleza se obtuvo en la banda NIR, tanto en etapa vegetativa como reproductiva. En la banda verde las diferencias entre la maleza y las variedades fue menor.

TABLA 4. Promedio de reflectancia del arroz maleza (*Oryza latifolia* Desv) y resultados de prueba de Duncan, en las bandas de longitud de onda verde (550-570 nm) y NIR (infrarrojo cercano), según etapas de desarrollo, obtenido en UBPC “Cedro” y UBPC “Las Nuevas”. Para cada columna, los valores de promedio seguidos por la misma letra, no son estadísticamente diferentes (p <0,05)

Etapa	“El Cedro”		“Las Nuevas”	
	Banda	Banda	Banda	Banda
Plántula	Verde 0,0747 a	NIR 0,2555 a	Verde 0,0817 a	NIR 0,3510 a
Vegetativa	Verde 0,0831 b	NIR 0,4341 b	Verde 0,0849 a	NIR 0,5287 b
Reproductiva	Verde 0,1793 c	NIR 0,7935 c	Verde 0,1220 b	NIR 0,6515 c

Se observó que en la banda NIR, en etapa reproductiva la reflectancia fue mayor tanto en el arroz maleza como en las variedades de arroz comercial en comparación a la etapa vegetativa ([Tabla 5](#)).

Los resultados del análisis de varianza y la prueba Duncan mostraron que, tanto en las dos bandas electromagnéticas, como en las dos etapas fenológicas evaluadas, la diferencia de reflectancia entre el arroz maleza y las variedades LP-7 y IAC-41 fue estadísticamente significativa. Por su parte, la diferencia en la reflectancia entre variedades de arroz comercial no fue significativa.

UBPC “Las Nuevas”

Al igual que en la localidad de “El Cedro”, las mayores diferencias de reflectancia entre el arroz maleza y las variedades de arroz para ambas etapas de desarrollo (vegetativa y reproductiva) se obtuvieron en la banda NIR. Además, se observó que en la banda NIR, en etapa reproductiva, los valores de reflectancia del arroz maleza y las variedades comerciales de arroz fueron mayores en comparación a la etapa vegetativa ([Tabla 6](#)).

Se observó además que en la banda NIR, en etapa reproductiva la reflectancia del arroz maleza fue mayor que la del arroz IAC-41 (0,6515 y 0,4975, respectivamente); sin embargo, en etapa vegetativa no fueron significativamente diferentes (0,5287 y 0,5373) ([Tabla 6](#)). En la banda verde, las diferencias en reflectancia entre el arroz maleza y las variedades de arroz fueron significativas en ambas etapas de desarrollo.

UBPC “Sur”

Al igual que en UBPC “El Cedro” y la UBPC “Las Nuevas”, las mayores diferencias en reflectancia entre el

arroz maleza y la variedad de arroz J-104, se encontraron en las bandas de longitud de onda verde y NIR, tanto en etapa vegetativa como en la reproductiva; sin embargo, fue en la banda NIR en la que esta diferencia fue mayor.

La reflectancia obtenida en la banda NIR, en la etapa vegetativa, fue de 0,5506 para el arroz maleza y 0,4480 para J-104, mientras que en etapa reproductiva fue de 0,6720 y 0,5000 respectivamente. Estos datos mostraron que la reflectancia del arroz maleza fue mayor que la de J-104 en ambas etapas de desarrollo ([Figuras 1 y 2](#)). Además, el análisis de varianza mostró que estas diferencias fueron significativas.

Las diferencias entre la reflectancia del arroz maleza y la variedad de arroz J-104 en la banda verde también fueron significativas en ambas etapas de desarrollo, siendo en etapa vegetativa de 0,0750 el arroz maleza y 0,0433 J-104 y en etapa reproductiva de 0,1291 y 0,0677, respectivamente.

En cada una de las localidades evaluadas, tanto en etapa vegetativa como reproductiva, en la banda NIR y verde, el arroz maleza obtuvo mayor reflectancia en comparación a las variedades comerciales de arroz y según el análisis de varianza esta diferencia fue significativa, lo cual demuestra que independientemente de cuál de estas variedades se cultive, existe potencial para discriminar el arroz maleza de las variedades de arroz en ambas bandas de longitud de onda y en ambas etapas de desarrollo.

Asimismo, la intensidad lumínica reportada al momento de la medición de reflectancia del arroz pato en todas las localidades y etapas de desarrollo, fue menor o igual que la reportada al momento de las mediciones de reflectancia del arroz comercial, lo que indica que aún con menor radiación, el arroz maleza tiene mayor reflectancia espectral que estas variedades de arroz comercial.

TABLA 5. Promedio de reflectancia del arroz maleza (*Oryza latifolia*) y las especies comerciales de arroz: IAC-41 y LP-7 y resultados de prueba de Duncan, en las bandas de longitud de onda verde (550-570 nm) y NIR (820-860 nm), en etapa vegetativa y reproductiva, en UBPC “El cedro”. Para cada columna, los valores de promedio seguidos por la misma letra, no son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$)

Especie	Etapa vegetativa		Etapa reproductiva	
	Banda		Banda	
	Verde	NIR	Verde	NIR
Arroz maleza	0,0747 a	0,4341 a	0,1794 a	0,7937 a
IAC-41	0,0526 b	0,3464 b	0,0404 b	0,5169 b
LP-7	0,0502 b	0,3777 b	0,0473 b	0,5607 b

TABLA 6. Promedio de reflectancia del arroz maleza (*Oryza latifolia*) y las especies comerciales de arroz: IAC-41 y IAC-32 y resultados de prueba de Duncan, en las bandas de longitud de onda verde (550-570 nm) y NIR (820-860 nm), en etapa reproductiva, en la UBPC “Las Nuevas”. Para cada columna, los valores de promedio seguidos por la misma letra, no son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$)

Especie	Etapa vegetativa		Etapa reproductiva	
	Banda		Banda	
	Verde	NIR	Verde	NIR
Arroz maleza	0,0850 a	0,5287 b	0,1220 a	0,6515 a
IAC-41	0,0380 b	0,5373 b	0,0314 b	0,4975 b
IAC-32	0,0350 b	0,4271 a	0,0402 b	0,4979 b

Esto demuestra su potencial para discriminación en condiciones lumínicas cambiantes, ya que como mencionan Thorp & Tian (2004), la falta de consistencia de las condiciones de iluminación ambiental puede afectar las mediciones de reflectancia.

Comparación entre sitios con diferente textura de suelo

Tanto en etapa vegetativa como en etapa reproductiva, en la banda NIR y en la banda verde, se obtuvieron diferencias significativas en la reflectancia del arroz maleza en dos texturas de suelo diferentes (Figuras 3 y 4). En etapa vegetativa, los datos mostraron que en la banda NIR el arroz maleza sembrado en suelo con textura franca obtuvo mayor promedio de reflectancia en comparación a la misma especie sembrada en suelo con textura arcillosa, siendo de 0,5287 y 0,4341, respectivamente.

En etapa reproductiva, en la banda NIR, el arroz maleza ubicado en el suelo con textura arcillosa obtuvo una reflectancia de 0,7935, mientras que en suelo con textura franca fue de 0,6515, por lo que fue mayor en textura arcillosa.

Lo mismo se obtuvo en la banda verde, donde en etapa vegetativa el arroz maleza sembrado en suelo con textura franca obtuvo mayor promedio de reflectancia en comparación a la misma especie sembrada en suelo con textura arcillosa y en etapa reproductiva fue mayor la reflectancia del arroz maleza textura arcillosa que en textura franca. Siendo los valores de 0,0849, 0,0747, 0,1794 y 0,1220 respectivamente.

Según Thorp & Tian (2004), el tamaño de las partículas del suelo puede afectar la radiación que reflejan las plantas, por lo que la textura del suelo pudo haber tenido cierto efecto en las diferencias de reflectancia obtenidas, donde en etapa vegetativa y en la banda NIR, el arroz maleza sembrado en suelo con textura franca, tuvo un promedio de reflectancia mayor en comparación a la misma especie sembrada en suelo con textura arcillosa.

Sin embargo; en etapa reproductiva obtuvo mayor reflectancia el arroz maleza sembrado en suelo con textura arcillosa, por lo que cabe mencionar que existen otros factores que afectan en la reflectancia de las plantas. Entre estos factores se encuentra la luz incidente Thorp & Tian (2004); sin embargo, la intensidad lumínica reportada para la reflectancia del arroz maleza en etapa reproductiva en suelo arcilloso fue menor que para la especie ubicada en suelo franco.

Otros factores que pueden influir en la reflectancia de las plantas son: la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, los residuos vegetales, el estado de desarrollo de la planta y principalmente la humedad, ya que entre mayor humedad tiene, menos refleja en el espectro (Thorp & Tian, 2004). Asimismo, un suelo arcilloso tiene mayor capacidad de retención de agua que un suelo franco, por lo cual la textura puede influir en la humedad del suelo y por tanto en la reflectancia.

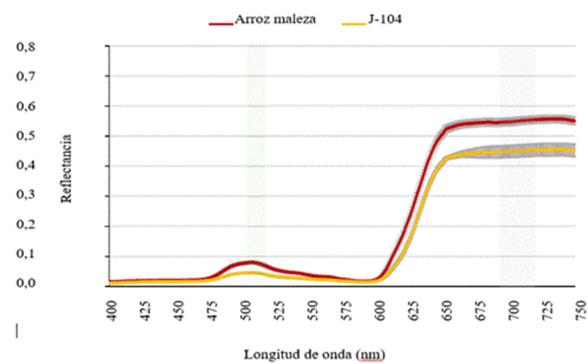


FIGURA 1. Promedio de reflectancia espectral y error estándar del arroz maleza (*Oryza latifolia*) y la variedad de arroz J-104, en etapa vegetativa, en la UBPC “Sur”. Las franjas de colores verde y gris representan las bandas de longitud de onda verde (550-570 nm) y NIR (820-860 nm), respectivamente.

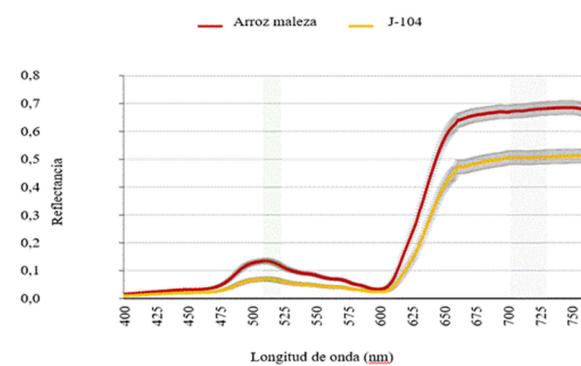


FIGURA 2. Promedio de reflectancia espectral y error estándar del arroz maleza (*Oryza latifolia*) y la variedad de arroz J-104, en etapa reproductiva, en la UBPC “Sur”. Las franjas de colores verde y gris representan las bandas de longitud de onda verde (550-570 nm) y NIR (820-860 nm), respectivamente.



FIGURA 3. Promedio de reflectancia espectral y error estándar del arroz maleza (*Oryza latifolia*), en etapa vegetativa, en dos texturas de suelo y localidades distintas. El suelo arcilloso de la UBPC “El Cedro” y el suelo franco de la UBPC “Las Nuevas”. Las franjas de colores verde y gris representan las bandas de longitud de onda verde (550-570 nm) y NIR (820-860 nm), respectivamente.

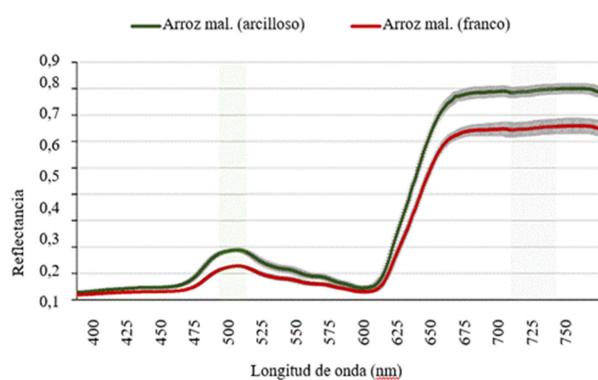


FIGURA 4. Promedio de reflectancia espectral y error estándar del arroz maleza (*Oryza latifolia*) en etapa reproductiva, en dos texturas de suelo y localidades distintas. El suelo arcilloso de la UBPC “El Cedro” y el suelo franco de la UBPC “Las Nuevas”. Las franjas de colores verde y gris representan las bandas de longitud de onda verde (550-570 nm) y NIR (820-860 nm), respectivamente.

Comparación entre arroz maleza y arroz comercial en etapa de plántula

Se encontraron diferencias significativas entre la reflectancia del arroz maleza y IAC-41, en la banda verde, cuando se encontraban en estado de plántula; sin embargo, la diferencia no fue significativa entre el arroz maleza y IAC-32. En la banda NIR no se encontraron diferencias entre la reflectancia del arroz maleza, IAC-41 y IAC-32 (Tabla 7).

TABLA 7. Promedio de reflectancia del arroz maleza (*Oryza latifolia*) y las especies comerciales de arroz: IAC-32 y IAC-41 y resultados de prueba de Duncan, en la etapa de desarrollo plántula, en las bandas de longitud de onda verde (550-570 nm) y NIR (820-860 nm), en la UBPC “Las Nuevas”. Para cada columna, los valores de promedio seguidos por la misma letra, no son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$)

Especie	Banda	
	Verde	NIR
Arroz maleza	0,0817 a	0,3510 a
IAC-41	0,0518 b	0,3821 a
IAC-32	0,0663 ab	0,4020 a

En la banda verde se obtuvieron diferencias significativas entre la reflectancia del arroz maleza y las variedades de arroz comercial, lo que demuestra potencial para utilizar esta banda en etapas tempranas.

A diferencia de los resultados obtenidos en la banda verde, en la banda NIR no existe diferencia significativa entre el promedio de reflectancia del arroz maleza y las variedades de arroz comercial: IAC-41 y IAC-32, cuando estas especies se encuentran en etapa de plántula. Con lo cual concuerdan Thorp & Tian (2004) donde mencionan que la teledetección de malezas en estados tempranos de los

cultivos se dificulta debido a que usualmente en esta etapa, la reflectancia de ambos es similar.

Asimismo, en etapa de plánula los parches de malezas son muy pequeños, por lo que se necesitan equipos de alta resolución que permitan detectar diferencias de reflectancia entre especies (Thorp & Tian, 2004). Además, la presencia de suelo desnudo junto a las plántulas al no haberse cubierto aún por el dosel, puede confundir su reflectancia espectral según Hernández (2017), por lo que también se podrían utilizar otras metodologías como el uso de índices de vegetación que utilicen otras bandas dentro de su cálculo.

CONCLUSIONES

- Los resultados reflejaron que en la banda NIR, la reflectancia del arroz maleza es significativamente diferente ($p < 0,05$) en cada etapa de desarrollo, en cada localidad y que esta aumenta en etapas de desarrollo más avanzadas.
- Existe diferencia significativa ($p < 0,05$) en la banda de longitud de onda NIR, entre la reflectancia del arroz maleza y las variedades de arroz en cada una de las etapas de desarrollo evaluadas y en cada localidad, lo que demuestra el potencial de utilizar la huella espectral para discriminación de esta maleza.
- En etapa de plántula, en la banda NIR, no se logró diferenciar el arroz maleza de las variedades de arroz comercial ($p < 0,05$), por lo que se determinó que en esta etapa se dificulta la utilización de la firma espectral para diferenciarlas; sin embargo, en la banda verde si se obtuvo una diferencia significativa entre especies, por lo que demostró potencial para discriminación.
- En la banda NIR, la reflectancia del arroz maleza y la variedad de arroz IAC-41 en etapa vegetativa fue mayor en suelo con textura arcillosa mientras que en etapa reproductiva en suelo con textura franco, lo que indicó que no solo la textura influye en la reflectancia sino también otros factores ambientales y fisiológicos.
- En la banda NIR se obtuvieron los valores más altos de reflectancia y las mayores diferencias de reflectancia entre especies, por lo que esta banda de longitud de onda demostró el mayor potencial para discriminar la maleza de las variedades de arroz.
- En la banda de longitud de onda verde también se obtuvieron algunas diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la reflectancia de las especies evaluadas, por lo que también demostró potencial para discriminar la maleza de las variedades de arroz. Esto es importante ya que, a nivel de monitoreo con sensores aerotransportados, permitiría usar cámaras RGB, las cuales son de más bajo costo y por tanto más accesibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Analytical Spectral Devices. (2020). *Reflectance, Spectral Reflectance and Wavelength range. An introduction to reflectance, and ASD measurements - Level 1.* [Presentación de diapositivas].
- Arrieta, E. G., Sánchez, E., Vargas, S., Lobo, J., Quesada, T., & Espinoza, A. M. (2005). The weedy rice complex in Costa Rica. I. Morphological study of relationships between commercial rice varieties, wild *Oryza* relatives and weedy types. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52, 575-587, ISSN: 0925-9864, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-004-6109-x>, Publisher: Springer.
- Castro, E. H. A. (1999). Manejo de arroces contaminantes en las áreas productoras de arroz comercial de Costa Rica. *Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación* (Ed.), *Taller global de control de arroz rojo*, 19-24.
- Castro, M. A. I. (2013). *Discriminación de infestaciones de malas hierbas crucíferas en cultivos anuales de invierno utilizando imágenes de alta resolución espacial mediante métodos basados en píxeles, objetos y redes neuronales para su control de precisión* [Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba]. <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/9477/201300000708.pdf?sequence=1&isAllo wed=1>
- Cid, R. E., & Moltoni, A. (2010). *El uso de U.A.V (Unmanaged Aerial Vehicles) en Agricultura de Precisión, enfocado prioritariamente hacia el manejo de malezas*. 9º Curso de Agricultura de Precisión y 4ª Expo de Máquinas Precisas. Manfredi, Córdoba, Argentina, Manfredi, Córdoba, Argentina.
- Delouche, J. C., Burgos, N. R., Gealy, D. R., Zorilla, G., & Labrada, R. (2007). *El problema de los arroces maleza. Arroces maleza-Origen, biología, ecología y control*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://www.fao.org/3/a1023s/a1023s.pdf>
- 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], <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59816>
- Jiménez, B. M. (2021). Importancia de los factores climáticos en el cultivo de arroz: Importance of climate factors in rice crop. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 6(1), 28-34, ISSN: 2805-6604.
- Pinciroli, M., Ponzio, N., & Salsamendi, M. (2018). *El arroz alimento de millones*. <https://elibro-net.ez-proxy.sibdi.ucr.ac.cr/es/ereader/sibdi/66799?page=9>
- Thorp, K., & Tian, L. (2004). A review on remote sensing of weeds in agriculture. *Precision Agriculture*, 5(5), 477-508, ISSN: 1385-2256, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-004-5321-1>, Publisher: Springer.
- Vásquez, S. V., Vásquez, G. G. E., Piedrahita, C. D., Lerner, H. S., Espinoza, E. F., & Valarezo, B. O. (2020). Control químico de malezas en fincas de arroz (*Oryza sativa* L.), en el sistema de riego y drenaje Babahoyo, Ecuador. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 5(2), 66-79, ISSN: 2528-8083, DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.3820767>.
- Woolston, C. (2014). *Rice. Nature*, 514(7524), S49. DOI: <https://doi.org/10.1038/514S49a>.
- Zamora, A., Barboza, C., Lobo, J., & Espinoza, A. M. (2003). Diversity of native rice (*Oryza Poaceae*) species of Costa Rica. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 50, 855-870, ISSN: 0925-9864, DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1025998801637>, Publisher: Springer.

Eldo Yoel Flores-del Castillo, Profesor Asistente, MSc., Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”. Cuba. Tel: +53 50451376
Osvaldo Delgado-González, PhD., Estudiante Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile, e-mail: osvaldo2.delgado.gonzalez@gmail.com.

Yamilka Lugones-Cedeño, Departamento de Guardabosques, MININT, Sancti Spíritus, Cuba. e-mail: neyda9648@gmail.com
Elizabeth Pérez-Díaz, Instructor, MSc. Lic., Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”. Cuba, e-mail: elizathperez4@gmail.com
La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.