

IMÁGENES RADAR SENTINEL 1 EN LA DIFERENCIACIÓN DE ÁREAS DE CULTIVO DE ARROZ EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO GUAYAS

SENTINEL 1 RADAR IMAGES IN THE DIFFERENTIATION OF RICE CULTIVATION AREAS IN THE LOWER BASIN OF THE GUAYAS RIVER

Gustavo Fernando Sevillano Vásquez ^{1*}

¹ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3751-6831>. Correo: gfsevillano@uce.edu.ec

María Yumbra Orbes ²

² Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5037-6581>. Correo: myumbra@uce.edu.ec

Sebastián Ricardo Arico Ortiz ³

³ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8921-8513>. Correo: ocirazitro@hotmail.com

David Antonio Vásquez Camacho ⁴

⁴ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8921-4181>. Correo: a_david_01@hotmail.es

* Autor para correspondencia: gfsevillano@uce.edu.ec

Resumen

Este estudio fue resultado del proyecto de investigación Semilla Fase 6 de la Comisión de Investigación Formativa (CIF), Unidad de la Dirección de Investigación de la Universidad Central del Ecuador. Se llevó a cabo en la cuenca baja del río Guayas del Ecuador. Se evaluó el uso de un Radar de Apertura Sintética (SAR) de las imágenes Sentinel 1 para la detección de fases y estados fenológicos del cultivo de arroz. Para esto se generaron cubos de datos espacio-temporal de las imágenes satelitales entre las fechas 2019-06-01 y 2020-03-20 con las polarizaciones VV, VH y VV-VH. Para la generación y correcciones radiométricas se utilizó la API de *Google Earth Engine*. Se monitoreó in situ las áreas de cultivos de arroz con ortofotos. Se interpretaron las fases y los estados fenológicos del cultivo de arroz. Finalmente, se analizó los promedios de la raíz cuadrada de la amplitud de la retrodispersión de las polarizaciones en las áreas interpretadas en la ortofoto mediante la prueba de diferenciación de medias LSD. Con esto se concluyó que la polarización VV-VH, VV

y VH de las imágenes radar Sentinel 1 diferencian las fases fenológicas del cultivo de arroz en la cuenca baja del río Guayas, pero no diferencian las etapas fenológicas.

Palabras clave: arroz, geoinformación, multitemporal, procesamiento de imágenes, radar.

Abstract

This study was the result of the Phase 6 Seed research project of the Formative Research Commission (CIF), Unit of the Research Directorate of the Central University of Ecuador. It was carried out in the lower basin of the Guayas River in Ecuador. The use of a Synthetic Aperture Radar (SAR) of the Sentinel 1 images for the detection of phases and phenological states of the rice crop was evaluated. For this, space-time data cubes were generated from the satellite images between the dates 2019-06-01 and 2020-03-20 with the VV, VH and VV-VH polarizations. For radiometric generation and corrections, the Google Earth Engine API was used. Rice crop areas were monitored in situ with orthophotos. The phases and phenological stages of the rice crop were interpreted. Finally, the averages of the square root of the backscatter amplitude of the polarizations in the interpreted areas in the orthophoto were analyzed using the LSD mean differentiation test. With this, it was concluded that the VV-VH, VV and VH polarization of the Sentinel 1 radar images differentiate the phenological phases of rice cultivation in the lower basin of the Guayas River, but do not differentiate the phenological stages.

Keywords: geoinformation, image processing, multitemporal, radar, rice.

Fecha de recibido: 08/01/2022

Fecha de aceptado: 29/04/2022

Introducción

El arroz es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, representando un alimento básico en la dieta de gran parte de la población (Yang et al., 2017). La superficie plantada a nivel mundial fluctúa año tras año debido principalmente a los cambios climáticos, además de ser una especie importante en la planificación del recurso hídrico debido a su alto consumo de agua (Clauss et al., 2018a; Clauss et al., 2018b). Por todo ello, es importante el desarrollo de sistemas de detección de este cultivo (Bazzi et al., 2019), así como también de sus fases y etapas de desarrollo.

Las imágenes satelitales de tipo radar de apertura sintética (SAR) como el Sentinel 1 son un producto de la misión europea Copérnico el cual está gestionado por la Agencia Espacial Europea. Esta misión está diseñada para proporcionar información precisa, actualizada y de fácil acceso, para mejorar la gestión del medio ambiente, por medio del empleo de tecnología que posibilite la comprensión y mitigación de los efectos del cambio climático, para garantizar la seguridad ciudadana (Bourbigot et al., 2016).

En su estudio, Balzter, Cole, Thiel, & Schmullius (2015), concluyen que las imágenes SAR son utilizadas especialmente en lugares donde las condiciones meteorológicas no son adecuadas para la adquisición de datos ópticos. Al contrario de los satélites ópticos, los satélites SAR pueden proveer imágenes libres de nubes. Los sistemas modernos de radar utilizan las antenas sintéticas SAR, que permiten mejorar la resolución espacial de la imagen mediante un sofisticado post-procesamiento, el cual se caracteriza por la simulación virtual del tamaño de la antena y la compresión de la señal, utilizando los principios físicos del efecto Doppler. Adicionalmente, el perfeccionamiento de la capacidad polarimétrica de los radares los convierte en una opción competitiva frente a los sensores multispectrales óptico-electrónicos (Ríos, 2014).

El vector de campo eléctrico varía su dirección en el tiempo, describiendo en general una elipse en un plano transversal a la de propagación, jugando un papel esencial en la interacción de las ondas electromagnéticas "ondas vectoriales", con cuerpos materiales y con el medio de propagación. Considerando este comportamiento de la polarización, expresado en términos de la elipse de polarización, se denomina elipsometría en la detección óptica de imágenes (Ríos, 2014).

En el Ecuador, Santos, Dubovyk, & Menz (2017) evaluaron la aplicabilidad del método de detección de cambio *Breakpoint*. Los autores usaron imágenes de series temporales de Landsat de una parte de la provincia de Napo, en la Amazonía Andina, comprendidas en un periodo de 18 años (1996-2015). En el estudio se demostró que es necesario contar con una gran cantidad de datos para una correcta detección de los *Breakpoint*. En los metadatos de los mapas de estimaciones de superficies sembradas de los cultivos de arroz, maíz amarillo duro y sora, se reportó que la presencia de nubes en las imágenes satelitales de algunos sectores dificultó la interpretación de la información en ciertos cantones de las provincias de El Oro, Guayas, Loja, Los Ríos y Manabí (Aguilar et al., 2018).

En cuanto al uso de SAR para mapeo de especies, ha demostrado tener una precisión superior al 95% para la detección del cultivo de arroz, en la región de Camargue en Francia utilizando el perfil Gaussiano "VV/VH" serie temporal, un perfil lineal creciente de la serie temporal "VH" y una alta fluctuación en la señal VV/VH (Bazzi et al., 2019). Similar resultado encontró Singha et al. (2019) para Bangladesh y el noreste de India, estimando con una precisión superior al 90% el comportamiento espacial de la distribución del cultivo del arroz, combinando imágenes SAR de Sentinel-1 con el espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS). Por su parte Clauss et al. (2018) en estudios llevados a cabo en Asia logró detectar áreas con siembras de arroz inundado utilizando imágenes temporales Sentinel-1 SAR.

También ha sido utilizado para estimación de rendimiento en arroz en la zona de Vietnam con un R^2 de 0.93 para la producción de invierno-primavera, 0.87 para verano-otoño y 0.87 otoño-invierno, con una correcta clasificación de la zona cubierta por el cultivo (Clauss et al., 2018). Otro uso ha sido la estimación de la altura y biomasa producida en arroz, utilizando imágenes SAR Sentinel-1 con diferentes sistemas de aprendizaje autónomo, con lo cual se pudo determinar estos parámetros con un bajo error, demostrando su aplicabilidad en tareas operativas (Ndikumana et al., 2018).

Por su parte Mandal et al. (2018) utilizando series de tiempo de Sentinel-1 en el distrito de Bengala en India, logró monitorear las etapas de crecimiento del arroz, detectar sectores inundados debido al riego y determinar calendarios de cosecha con una precisión superior al 85%, mediante variación de color ocasionados a las etapas de crecimiento y condiciones de campo.

La dinámica de pico de precios perjudica al productor en picos bajos y a la industria en picos altos, por lo que constituye una puerta abierta a presión para la importación de productos de otros países. Tener datos completos de series de los cultivos en épocas seca y lluviosa ayudará a determinar políticas claras para la planificación, incentivos y siembras de cultivos.

La investigación aportará conocimientos al Ministerio de Agricultura y Ganadería sobre el uso de la fusión de imágenes radar Sentinel 1 y sensor óptico Landsat 8 para el monitoreo de superficies de arroz, para a través de ello vincular de manera permanente a estudiantes al departamento. El objetivo fue evaluar la fusión de imágenes del radar Sentinel 1 en la diferenciación de áreas de cultivo de arroz en la cuenca baja del río Guayas, en Ecuador.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en la cuenca baja del río Guayas, como se observa en la figura 1, específicamente en la llanura de aluvial de inundación -*Alluvial Low Floodplain*- de acuerdo con Espinosa et al. (2018). Según INIAP (2007), en esta zona se cultiva desde el año 1774, debido a los datos de producción de las zonas de Yahuachi, Babahoyo y Baba.

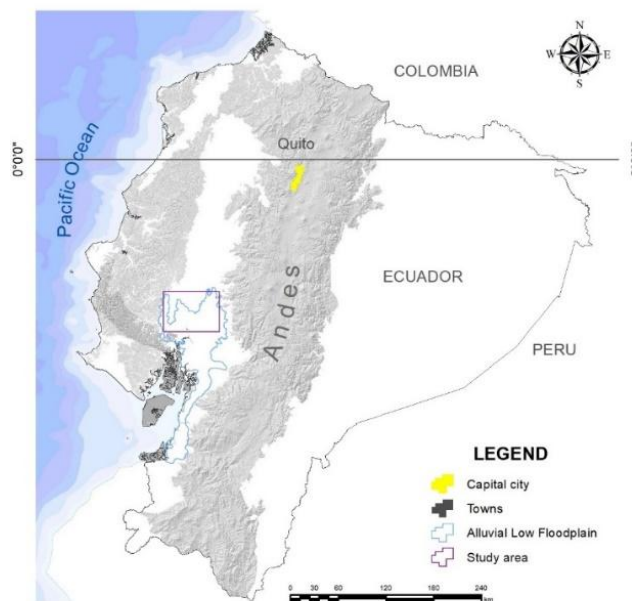


Figura 1. Área de estudio en el Ecuador continental.

Se realizó un estudio analítico longitudinal observacional en la época invernal. El alcance de la investigación es explicativo, se empleó la modelación y su enfoque es cuantitativo, a partir del uso de la estadística para explicar cada uno de los fenómenos abordados (Pérez et al., 2021). El objeto de estudio fueron los cambios de las interpretaciones de las variaciones de la raíz de la amplitud de las polarizaciones de las imágenes radares con las áreas interpretadas de las fases y estados fenológicos del arroz. La escala de trabajo fue de 1: 100 000.

Las fases de los estados fenológicos y su número de muestras, así como los estados fenológicos con su tamaño de muestras se especifican en la tabla 1.

Tabla 1. Muestras por estados fases y estados fenológicos.

Fases de los estados fenológicos	Número de muestras	Estado fenológico	Número de muestras
Vegetativa	81	Germinación	6
		Plántula	20
		Macollamiento	50
		Elongación del tallo	5
Reproductiva	45	Inicio primordio	5
		Panícula	20
		Floración	20
Maduración	62	Grano lechoso	9
		Grano pastoso	19
		Grano maduro	14
		Cosecha	20
Total fases	188	Total estados	188

Las fases y los estados fenológicos fueron interpretados de acuerdo con los informes técnicos del Programa de Arroz de la variedades INIAP 11, INIAP 12, INIAP 14 registradas en el Manual Número 66 (INIAP, 2007).

Procesamiento

Se generaron tres cubos de datos espacio-temporal de las imágenes radar Sentinel 1, entre las fechas 2019-06-01 y 2020-03-20. El límite espacial se encuentra entre las coordenadas -79.397° W, -1.89° S y -80.02° W, -1.533° S, como se observa en la figura 2. La polarización del primer cubo fue vertical-vertical (VV), la polarización del segundo cubo fue vertical-horizontal (VH) y la de la tercera polarización dual (VV-VH). Para la generación y correcciones radiométricas se utilizó la API (*Application Programming Interfaces*) de Google Earth Engine (GEE).

Se monitoreó in situ 72 hectáreas de cultivos de arroz. Se seleccionaron al azar las áreas a monitorear, de acuerdo con la interpretación no supervisada de las imágenes satelitales. Se levantó la información de las distancias de siembra, así como de la duración de las etapas fenológicas de los cultivos, el tamaño de planta y la cobertura de los suelos expuestos.

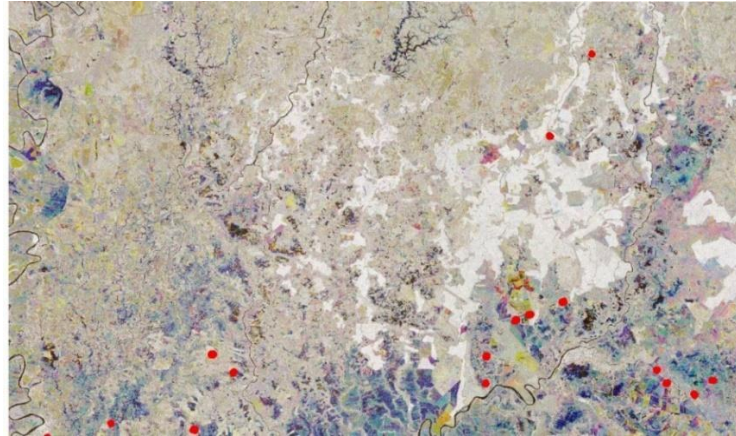


Figura 2. Distribución de las ortofotos (color rojo) sobre la interpretación de las imágenes satelitales (polarización VV-VH).

Seguidamente, se generaron ortofotos a partir de vuelos con un dron con recepción GPS+GLONASS+GALILEO, con cámaras de 20 megapíxeles por pulgada, como se muestra en la figura 3. Para la ortorectificación se utilizó el API de *OpenDroneMap*. Para separar los estados y fases fenológicas se interpretaron las ortofotos a escala 1:10 000 generando una capa vectorial de polígonos. La evaluación se realizó con estadísticos descriptivos, donde se analizó la raíz cuadrada de la amplitud de la retrodispersión en [dB] (γ°) de cada polarización (VH-VV, VV, VH). Esta transformación es recomendable para realizar cálculos y visualizar cambios (Meyer et al., 2020). De igual manera, se determinó la normalidad de datos, se utilizó el análisis de varianza comparando las fases y estados fenológicos del cultivo con γ° . Se obtuvo el valor γ° de los cubos de datos en tres polaridades VV, VH y VV-VH mediante la transformación de los valores iniciales a raíz cuadrada.



Figura 3. Procesamiento para determinar γ° en la capa vectorial de polígonos.

Para determinar γ° de las áreas de muestreo se calculó los valores promedio de cada fecha de los cubos de datos en la capa vectorial, Para determinar las fechas del estado fenológico del arroz de cada punto se utilizó como referencia el estado en el que se encontraban en la visita de campo y los valores en días sugerido por el manual de cultivos del INIAP (2007). De esta manera se determinaron los estados que tendrían los puntos en cada fecha de lectura del satélite, tanto si los estados fenológicos de ese ciclo de cultivo hubieran ocurrido antes o después de la visita al campo.

En la figura 4, las zonas que se visualizan como negras representan zonas con nulo rebote de la señal polarizada. En el área de estudio estas zonas fueron áreas inundadas para el cultivo de arroz. Conforme avanza el tiempo de retrodispersión de la señal, el radar cambia, generando zonas grises con diferentes texturas, como se ilustra en la figura 4.

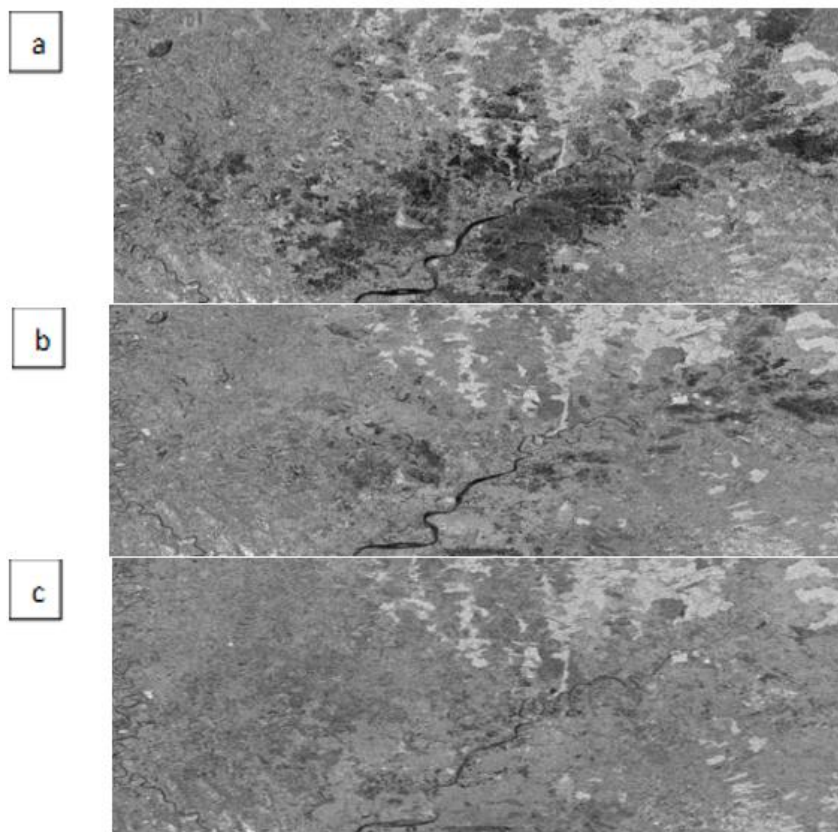


Figura 4. Línea de tiempo de la variación en las zonas inundadas en la cuenca del Río Guayas; a) 2019-08-10; b) 2019-09-07; c) 2019-10-05.

Se representó la polarización de los cubos espacios temporales de las imágenes satelitales. Los valores en amplitud se usaron en el análisis estadístico y en la visualización de la variación en cada píxel. En este sentido, los valores más oscuros en el caso de la polarización VV-VH son las superficies lisas de rebote simple, como el caso de ríos o lugares inundados, como se muestra en la figura 5.

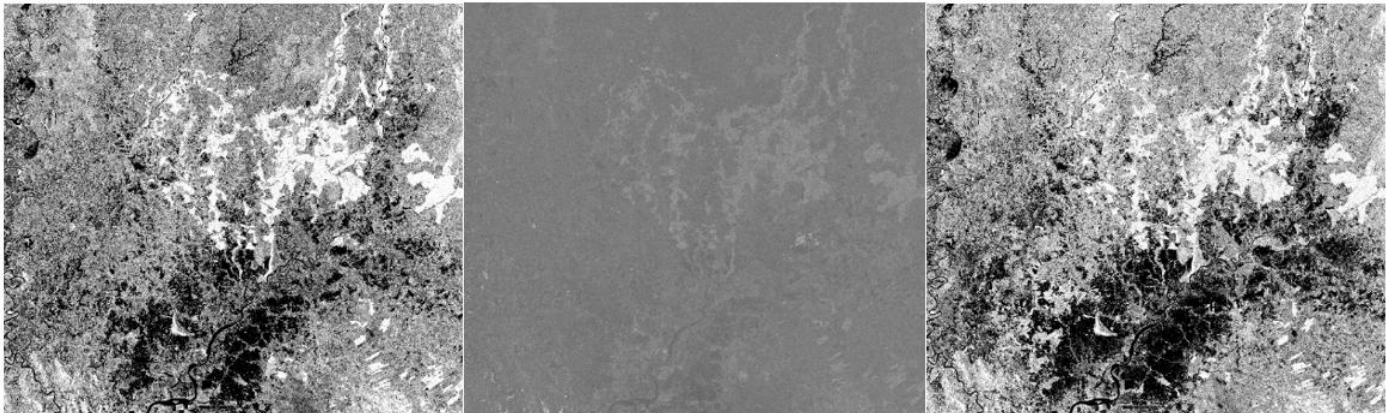


Figura 5. Polarización de las imágenes SAR, a la izquierda VV, centro VV-VH, derecha VH.

Resultados y discusión

Las medidas de raíz cuadrada de la amplitud de la retrodispersión (γ°) de cada conjunto de datos fueron similares para las polarizaciones VV y VH. En estos casos la varianza fue de 0,1 y presentaron un rango de dos unidades, a diferencia de la polarización dual en la cual el rango fue menor y tuvo una varianza de 0,005, como se especifica en la tabla 2.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la γ° de las polarización evaluada en dB.

Polarización de γ°	μ [dB]	95% de confianza Límite inferior	95% de confianza Límite superior	Varianza σ	Desv. Desviación	Mínimo	Máximo
VV-VH	0,484	0,474	0,494	0,005	0,067	0,308	0,646
VV	3,365	3,309	3,420	0,148	0,384	2,127	4,720
VH	4,308	4,262	4,355	0,106	0,325	3,670	5,423

La polarización VV y VH presentó normalidad según los tests Kolmogórov-Smirnov y Shapiro-Wilk, con un p valor mayor a 0,05. En cambio, la polarización VH-VV sólo presentó normalidad en el test de Shapiro-Wilk, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Pruebas de normalidad de datos para γ° de cada polarización evaluada.

Polarización de γ°	Pruebas de normalidad					
	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
VH-VV	0,042	188	0,200*	0,993	188	0,473

VV	0,100	188	0,000	0,952	188	0,000
VH	0,140	188	0,000	0,921	188	0,000

Las fases fenológicas del cultivo de arroz presentan diferencias significativas en los valores de γ° . En la polarización VV-VH de la prueba LSD a nivel de confianza de 0,05 se identificaron dos rangos de significancia estadística como se muestra en la tabla 4. Seguidamente, en la tabla 5 se pueden consultar los datos estadísticos arrojados, con relación a la prueba de diferenciación de las medias. El primer rango de significancia estadística es a favor de la fase reproductiva con un valor de 0,465 y el último con un valor de 0,499 de la fase vegetativa (Ver tabla 5).

Tabla 4. Análisis de la varianza (SC tipo III) fases de los estados fenológicos polarización VV-VH

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Error medio cuadrático	F	p-valor
Modelo	0,037	2	0,018	4,147	0,0173
Estado fenológico	0,037	2	0,018	4,147	0,0173
Error	0,822	185	0,004		
Total	0,859	187			

Tabla 5. Prueba de diferenciación de medias LSD Fisher Alfa=0,02 DMS=0,02876 para la polarización VV-VH.

Estado fenológico	Promedio	n	Rango
Reproductivo	0,465	45	A
Maduración	0,478	62	A B
Vegetativo	0,499	81	B

Por otro lado, las fases fenológicas del cultivo de arroz presentan diferencias significativas en los valores γ° en la polarización VV (tabla 6). De la prueba LSD a nivel de confianza de 0,02 se identificaron dos rangos de significancia estadística. El primer rango fue para la fase Vegetativa con un valor de 3,299 y el último con un valor de 3,499 de la fase de maduración. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 7.

Tabla 6. Análisis de la varianza (SC tipo III) fases de los estados fenológicos polarización VV.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Error medio cuadrático	F	p-valor
Modelo	1,663	2	0,831	5,919	0,0032
Estado fenológico	1,663	2	0,831	5,919	0,0032
Error	25,987	185	0,140		
Total	27,650	187			

Tabla 7. Prueba de diferenciación de medias LSD Fisher Alfa=0,02 DMS=0,16169 para la polarización vv

Estado fenológico	Promedio	n	Rango
Vegetativo	3,299	81	A
Reproductivo	3,300	45	A
Maduración	3,499	62	B

Del mismo modo, las fases fenológicas del cultivo de arroz presentan diferencias significativas en los valores de γ° en la polarización VH, como se observa en la tabla 8. De la prueba LSD a nivel de confianza de 0,02 se identificaron dos rangos de significancia estadística, siendo el primero para la fase de reproducción, con un valor de 4,153 y el último con un valor de 4,440 de la fase de maduración, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 8. Análisis de la varianza (SC tipo III) de fases de los estados fenológicos polarización VV.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Error medio cuadrático	F	p-valor
Modelo	2,167	2	1,083	11,389	<0,0001
Estado fenológico	2,167	2	1,083	11,389	<0,0001
Error	17,598	185	0,095		
Total	27,650	187			

Tabla 9. Prueba de diferenciación de medias LSD Fisher Alfa=0,02 DMS=0,13306 para la polarización vv

Estado fenológico	Promedio	n	Rango
Reproductivo	4,153	45	A
Vegetativo	4,295	81	B
Maduración	4,440	62	C

Los cambios temporales en la retrodispersión de la señal se visualizan en la Figura 6 como combinaciones en los canales RGB (Red, Green, Blue) por orden de las fechas. Además, en la escena 1 la combinación de los canales RGB (R: 12-06-2019 , G: 29-06-2019 B: 10-08-2019) tienen al color negro. El hallazgo anterior se debe a que el contenido de agua fue el predominante en las tres fechas (periodo de inicio de cultivo) en concordancia a lo explicado por Flores-Anderson et al., (2019). Los resultados arrojados fueron coincidentes con los obtenidos por Mandal et al., (2018), ya que la frecuencia de inundación fue un factor positivo que facilitó el mapeo de la superficie destinada a arroz trasplantado.

Conforme avanzan las escenas, los canales experimentan cambios de color, de acuerdo con la predominancia de la amplitud. Así, en la escena 3, el color verde muestra cambios en la fecha intermedia. Esta observación hace considerar que la humedad del suelo disminuyó en concordancia con las labores culturales del cultivo y el crecimiento de la planta, en comparación con la fecha anterior y la posterior.

Si se analizan las escenas 4 y 5 (24-08-2010 hasta 10-10-2019), los colores azulados a magenta experimentaron cambios en la fecha intermedia y reciente. En las escenas 6, 7 y 8 (05-10-2019 hasta 16 -11-2019), los cambios no son consistentes en la amplitud ni en el espacio del área de estudio. Además, si se relacionan con la fase del cultivo es posible que esta fase de floración según el INIAP (2007) sea de 32 días. Los cambios en las escenas restantes vuelven a notarse en intensidad de la amplitud y crecimiento de áreas, las cuales posiblemente sean de la fase de maduración. En las escenas 15, 16 y 17 (25-01-2020 hasta 25-03-2020), los cambios de amplitud sugieren un cambio en la superficie del suelo por humedad.

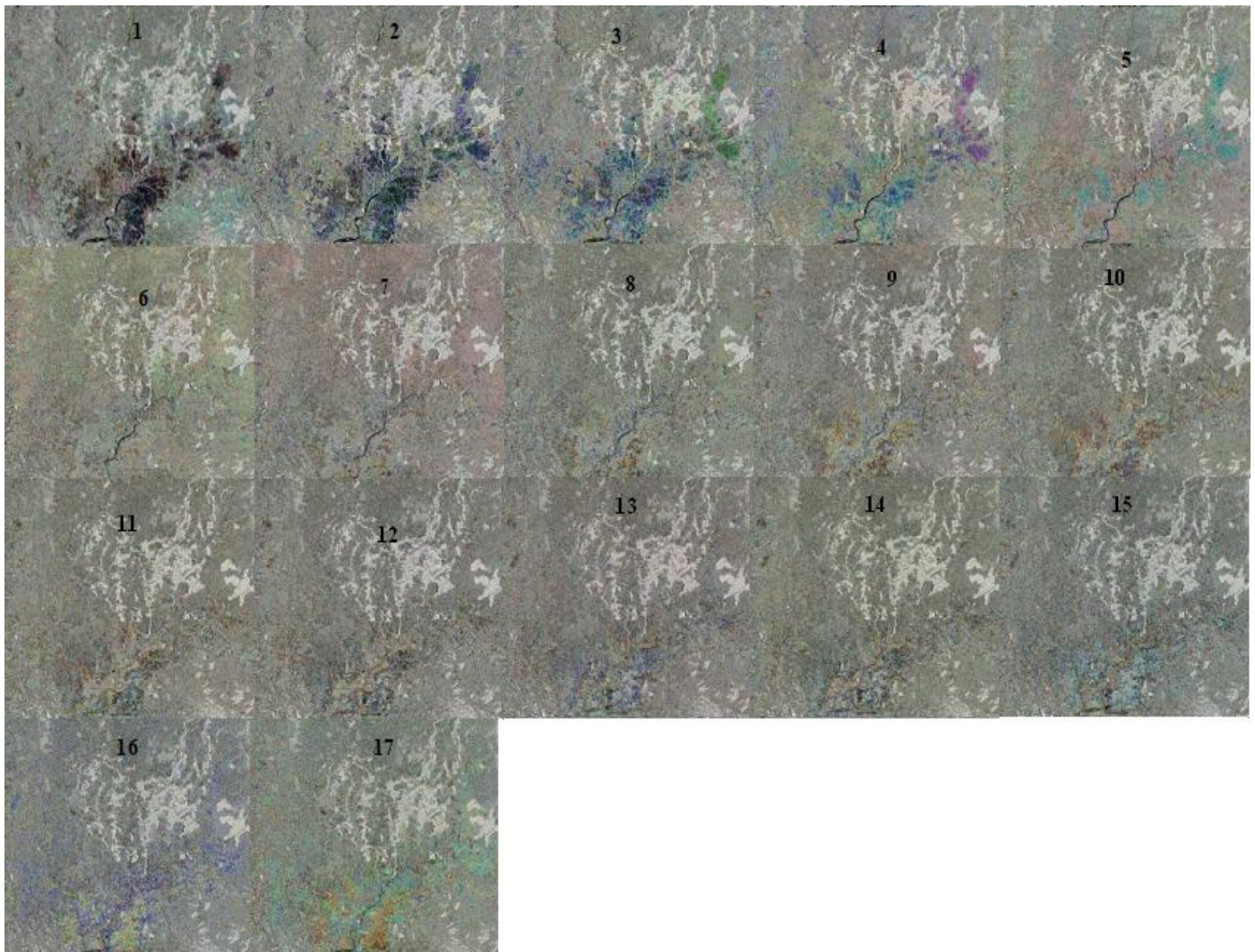


Figura 6. Serie temporal de los procesos de inundación de arroz en la cuenca del río Guayas, observado en la raíz cuadrada de la amplitud de la retrodispersión (γ°) de la polarización dual VH-VV desde junio del 2019 hasta marzo del 2020, variación observada mediante RGB banda roja fecha más antigua, banda verde la fecha intermedia y banda azul fecha reciente diferencia de observación cada 12 días.

El comportamiento temporal de la señal de retrodispersión captada por la imágenes satelitales, en comparación con dos observaciones de campo y ortofotos, se visualiza en las Figura 7 y 8. Cuando se analiza la amplitud de la polarización VH los valores experimentan un cambio en la etapa de macollamiento y cosecha, en comparación con los de la polarización VV. La tendencia es la misma pero difieren en los valores. En esta línea los valores de amplitud de la polarización VH-VV experimentan cambios en la floración y cosecha (figuras 7 y 8). Los resultados permiten confirmar la prueba de diferenciación de medias LSD, la cual muestra significancia estadística para las fases fenológica e inexistencia de significancia estadística para las etapas fenológicas.

Bajo este estudio, las posibles causas de ausencia de significancia estadística para las etapas fenológicas son, entre otras: la resolución temporal (aproximadamente 12 días) de las imágenes Sentinel 1, la cual no permite ver los cambios fenológicos, sumado a que algunas fechas no se encuentran los datos, así como la corrección del API GGE y las observaciones inferidas que no se ajustan al tiempo.

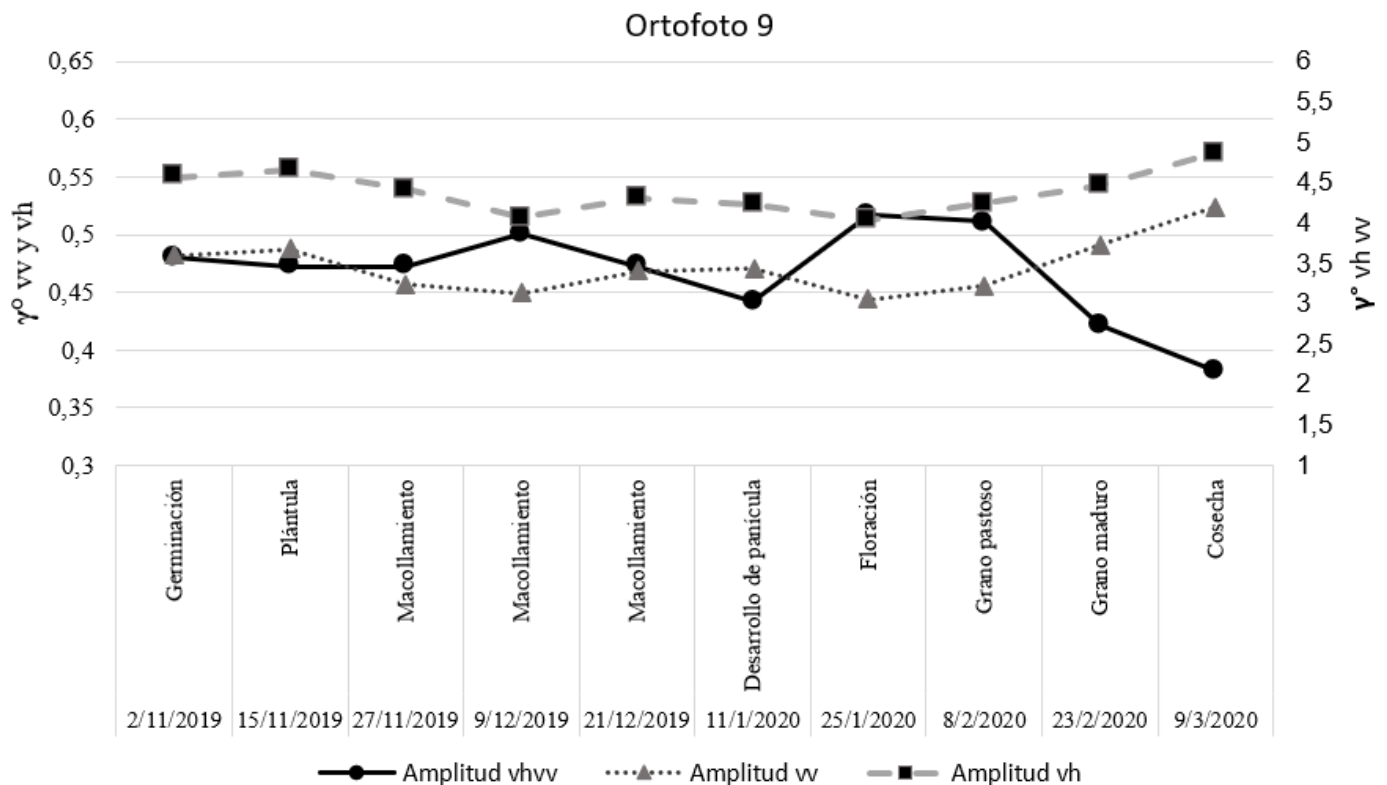


Figura 7. Serie temporal de retrodispersión en comparación con los estados fenológicos del cultivo de arroz. Gráficos de distribución de frecuencia a lo largo del cultivo y ortofotografías (Ortofoto 8).

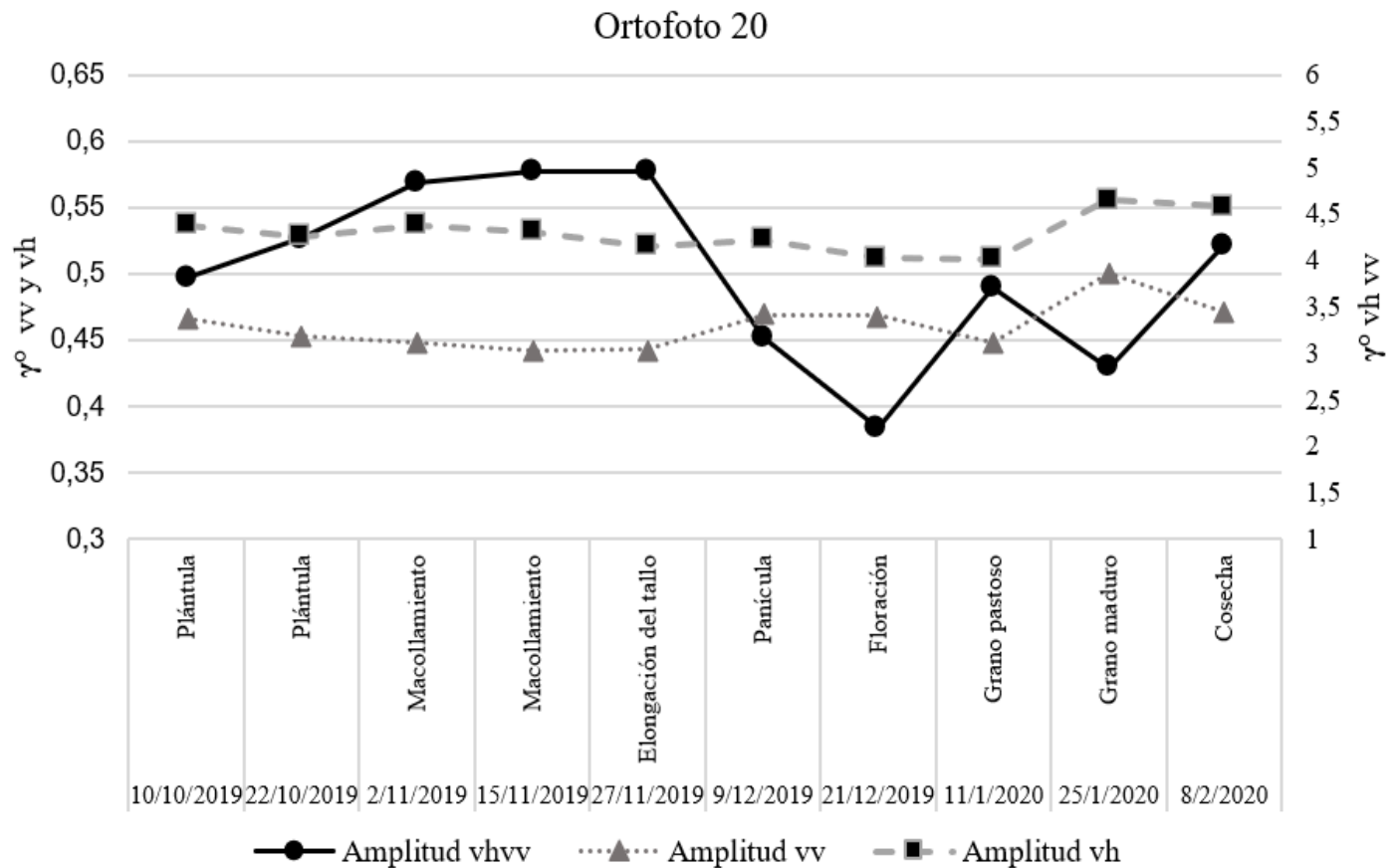


Figura 8. Serie temporal de retrodispersión en comparación con los estados fenológicos del cultivo de arroz. Gráficos de distribución de frecuencia a lo largo del cultivo y ortofotografías (Ortofoto 20).

La mayor parte de los estudios realizados a la fecha logran detectar la superficie dedicada al arroz en grandes superficies productivas, respecto de otro tipo de especies (Bazzi et al., 2019; Clauss et al., 2018; Singha et al., 2019). Esta precisión constituye un factor importante, siendo la abundancia de agua utilizada en las primeras etapas un factor esencial en el desarrollo favorable de los cultivos (Mandal et al., 2018). Si bien estos esfuerzos son relevantes para conocer la superficie dedicada al cultivo, es necesario ahondar en mayor detalle, diferenciando sus fases y etapas de desarrollo.

La realización de este trabajo, por medio de la utilización de la polarización VV-VH, VV y VH, permitió diferenciar las fases vegetativas, reproductivas y de maduración del cultivo. Sin embargo, no pudo determinar las etapas de desarrollo del mismo. Debido a ello, se propone para posteriores investigaciones que se disponga de equipos con una mayor resolución temporal, para generar mayores diferencias entre estas etapas, incorporando otras tecnologías e información satelital complementaria.

Conclusiones

Las imágenes radar Sentinel 1 diferencian las fases fenológicas del cultivo de arroz en la cuenca baja del río Guayas con la utilización de la polarización VVVH, VV y VH, debido a que el análisis de varianzas arrojó diferencias significativas (fase reproductiva 0,465-vegetativa 0,499 para VVVH, vegetativa 3,299-maduración 3,499 para VV y fase reproductiva 4,153-maduración 4,440 para VH).

Referencias

- Aguilar, D., Alava, D., Burbano, J., Garcés, A. L., Jácome, D., Leiva, D., Simbaña, B., & Yépez, R. (2018). *Estimación de superficie sembrada de arroz (Oryza sativa l.), maíz amarillo duro (Zea mays l.) y soya (Glycine max) en las épocas del año 2017, en las provincias de: Guayas, Los Ríos, Manabí, Santa Elena, Loja y El Oro*. 19.
- Balzter, H., Cole, B., Thiel, C., & Schmullius, C. (2015). Mapping CORINE land cover from Sentinel-1A SAR and SRTM digital elevation model data using random forests. *Remote Sensing*, 7(11), 14876–14898. <https://doi.org/10.3390/rs71114876>
- Bazzi, H., Baghdadi, N., El Hajj, M., Zribi, M., Minh, D. H. T., Ndikumana, E., Courault, D., & Belhoucette, H. (2019). Mapping paddy rice using Sentinel-1 SAR time series in Camargue, France. *Remote Sensing*, 11(7), 1–16. <https://doi.org/10.3390/RS11070887>
- Bourbigot, M., Johnsen, H., Piantanida, R., Hajdich, G., & Poullaouec, J. (2016). *Sentinel-1 ESA Unclassified-For Official Use Sentinel-1 Product Definition*. 1–249.
- Clauss, K., Ottinger, M., & Kuenzer, C. (2018a). Mapping rice areas with Sentinel-1 time series and superpixel segmentation. *International Journal of Remote Sensing*, 39(5), 1399–1420. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1404162>
- Clauss, K., Ottinger, M., Leinenkugel, P., & Kuenzer, C. (2018b). Estimating rice production in the Mekong Delta, Vietnam, utilizing time series of Sentinel-1 SAR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73(July), 574–585. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.07.022>
- Espinosa, J., Moreno, J., Bernal, G., Sevillano, G., Omar, V., Loayza, V., & Haro, R. (2018). *The Soil of Ecuador* (J. Espinosa, J. Moreno, & G. Bernal (eds.); 1st ed.). Springer International Publishing.
- Flores-Anderson, A. I., Herndon, K. E., Thapa, R. B., & Cherrington, E. (2019). The Synthetic Aperture Radar (SAR) Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation. *THE SAR HANDBOOK Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation*, 1–307. <https://doi.org/10.25966/nr2c-s697>
- INIAP. (2007). *Manual del cultivo de arroz* (2nd ed.). Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.
- Mandal, D., Kumar, V., Bhattacharya, A., Rao, Y. S., Siqueira, P., & Bera, S. (2018). Sen4Rice: A processing chain for differentiating early and late transplanted rice using time-series sentinel-1 SAR data with

- google earth engine. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(12), 1947–1951. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2018.2865816>
- Meyer, F., Rosen, P., Owen, S., Flores, A., Anderson, E., Cherrington, E., Griffin, R., & Mayorga, T. (2020). *Integrating synthetic aperture radar (SAR) data into disaster monitoring. Qgis demonstration.*
- Ndikumana, E., Minh, D. H. T., Nguyen, H. T. D., Baghdadi, N., Courault, D., Hossard, L., & Moussawi, I. El. (2018). Estimation of rice height and biomass using multitemporal SAR Sentinel-1 for Camargue, Southern France. *Remote Sensing*, 10(9), 1–18. <https://doi.org/10.3390/rs10091394>
- Pérez, J. F. R., Torres, V. G. L., Ledo, M. J. V., Pérez, A. D. R. R., & Valdés, M. M. (2021). Las tecnologías de la información y la comunicación como factor de desempeño competitivo en instituciones de salud. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 32(2).
- Ríos, V. H. (2014). Una revisión de la polarimetría y los efectos ionosféricos sobre los sistemas sar, insar y palsar: requerimientos y métodos de corrección review of polarimetric and ionospheric effects on sar, insar and palsar systems: requirements and correction methods. *Geoacta*, 39(1), 90–107.
- Santos, F., Dubovyk, O., & Menz, G. (2017). Monitoring forest dynamics in the andean amazon: The applicability of breakpoint detection methods using landsat time-series and genetic algorithms. *Remote Sensing*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/rs9010068>
- Singha, M., Dong, J., Zhang, G., & Xiao, X. (2019). High resolution paddy rice maps in cloud-prone Bangladesh and Northeast India using Sentinel-1 data. *Scientific Data*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0036-3>
- Yang, J., Zhou, Q., & Zhang, J. (2017). Moderate wetting and drying increases rice yield and reduces water use, grain arsenic level, and methane emission. *Crop Journal*, 5(2), 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.06.002>