

Evaluación de maíz forrajero con diferentes escalas de sensor remoto

Evaluation of forage maize with different remote sensing scales

Ramón Trucíos-Caciano¹, Nuria Aide López-Hernández^{1*}, Cristo Omar Puente-Valenzuela¹, Marco Antonio Inzunza-Ibarra¹, Iván Franco-Gaytán²

Institución de procedencia del autor, dirección. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera, Margen Derecha Canal de Sacramento km 6.5, Zona Industrial 4 etapa, C.P. 35140, Gómez Palacio, Durango, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Boulevard José Santos Valdez 1200 Pte. C.P. 27440, Matamoros, Coahuila

*Autor para correspondencia: lopez.nuria@inifap.gob.mx

RESUMEN

Las imágenes de sensores remotos, son de amplio uso en la agronomía por la extensión que representan las imágenes satelitales o la precisión con que pueden registrar la información las imágenes de drones. El objetivo de este estudio es comparar la información que registran estos dos tipos de sensores (drones y satélites) en comparación con las variables evaluadas. Los índices empleados para esta comparación fueron NDVI, NDRE y SAVI; y la variable de campo a estimar fue biomasa del maíz forrajero. Los resultados muestran diferencias entre los valores registrados por el dron y los valores registrados por el satélite en los tres índices estudiados. También se observó que al utilizar la información del dron que abarca por completo el pixel de la imagen satelital, la información del dron tiene una mayor relación con los datos de la imagen de sentinel, para los tres índices estudiados. Lo anterior, nos indica que al registrar datos en campo para relacionarlos con índices de vegetación (IV) calculados con imagen satelital, debemos muestrear en campo parcelas de un tamaño similar al del pixel del satélite que estamos utilizando.

Palabras clave: índices de vegetación, escala del pixel, variable respuesta

ABSTRACT

Remote sensing images are widely used in agronomy because of the extension that satellite images represent or the precision with which drone images can collect information. The objective of this study is to compare the information recorded by these two types of sensors (drones and satellites) in comparison with the variables evaluated. The indices used for this comparison were NDVI, NDRE and SAVI; and the field variable to be estimated was biomass of forage corn. The results show differences between the values recorded by the drone and the values recorded by the satellite in the three indices studied. It was also observed that when using the drone information that covers the entire pixel of the satellite image, the drone information has a greater relationship with the sentinel image data for the three indices studied. This indicates that when recording data in the field to relate them to vegetation indices (VI) calculated with satellite images, we must sample in the field plots of a similar size to that of the satellite pixel we are using.

Keywords: vegetation indices, pixel scale, response variable.



INTRODUCCIÓN

El uso de sensores remotos para analizar y explicar estudios agronómicos, es cada vez mayor. En este sentido, es importante que los análisis que obtenemos de las imágenes, en base a la información registrada en estudios de campo sea clara y transparente. En este estudio nos centraremos en comparar la diferencia de valores que se obtienen con los índices de vegetación a diferentes escalas, dependiendo del sensor. Uno de los sensores que en la actualidad tiene mayor uso es Sentinel 2. Este mayor uso se puede atribuir a que tiene una escala temporal de 5 días, es decir, que cada 5 días se obtiene una nueva imagen del sitio a estudiar. También, y a diferencia de otros satélites, incluye una banda de borde rojo, lo cual es muy importante para estudios de vegetación o agricultura.; además de que sus imágenes son de libre acceso (ESA, 2023). De igual forma, existen otros sensores que su uso se está extendiendo, referidos como imágenes de drones, o más propiamente como RPAS. Dichas imágenes, pueden ser obtenidas a escalas de trabajo menores a 20 cm de tamaño de pixel y que, por lo tanto, tienen información más específica sobre el cultivo que se estudia. El objetivo del estudio fue comparar los registros de los Índices de vegetación (IV) tomando en cuenta la escala del sensor y la relación que tiene dicha escala del sensor con los datos del cultivo tomados en campo en las variables analizadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubicó en el ejido El Porvenir, en el municipio de Francisco I. Madero en el predio de un productor cooperante (25°46'49.38" Lat N, 103° 18' 44.54" Long W, 1110 msnm). El ciclo de cultivo estudiado fue primavera 2023, maíz forrajero. Para la información de campo se utilizaron parcelas de 1 metro cuadrado en donde se registró la información de: conteo de individuos por metro, conteo de individuos por metro cuadrado, conteo de número de hojas por individuo, medición del diámetro de la base del tallo, registro de altura de planta, medición de clorofila en hoja bandera con SPAD, estimación del NDVI a 50 cm de altura del cultivo con GreenSeeker, obtención del peso verde, peso seco y biomasa (materia seca); estas mediciones se hicieron cada vez que se obtuvo la imagen multiespectral del dron. Con respecto al dron, se realizaron cuatro vuelos con

dron (RPAS multiespectral –bandas: verde, borde rojo, infrarrojo cercano-) con una resolución de 18 cm/pixel (Tabla 1). Del área muestreada se descargaron las imágenes satelitales del sensor Sentinel 2a y 2b (Tabla 2).

Tabla 1. Características de las imágenes del dron empleadas en el estudio.

Fechas del vuelo del dron	Tipo de imagen	Tamaño de Pixel
1/jun/2023	Multiespectral	18 cm
7/jun/2023	Multiespectral	18 cm
16/jun/2023	Multiespectral	18 cm
26/jun/2023	Multiespectral	18 cm

Tabla 2. Características de las imágenes satelitales empleadas en el estudio.

Fechas de Sentinel 2A y 2B	Tipo de imagen	Tamaño de Pixel
1/jun/2023	Multiespectral	10 y 20 m
6/jun/2023	Multiespectral	10 y 20 m
21/jun/2023	Multiespectral	10 y 20 m
26/jun/2023	Multiespectral	10 y 20 m

Se utilizó el programa Emotion 3.5 para el cálculo de los IV de las imágenes del dron y para la información del Sentinel se empleó el programa Qgis 3.32 Los índices calculados fueron:

NDRE (Diferencia Normalizada de Borde Rojo), NDVI (Diferencia Normalizada) y SAVI (Ajustado a Suelo) (ver tabla 3); sin embargo, en este trabajo (por su extensión) solo se mostrará la relación observada entre el NDVI y su relación con la escala de los sensores remotos estudiados (IDB, 2023).

Tabla 3. Índices de vegetación calculados con Sentinel 2 y tamaño de pixel

IV	Fórmula	Tamaño de Pixel	Fuente
NDRE	$(\text{NIR} - \text{REDEGE}) / (\text{NIR} + \text{REDEGE})$	20 m	(Ehammer et al., 2010)
NDVI	$(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$	10 y 20 m	(Qi et al., 1994)
SAVI	$((\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red} + 0.5)) * (1 + 0.5)$	10 y 20 m	(Jackson & Huete, 1991)



Para el desarrollo del primer objetivo se utilizó toda el área de la parcela del cultivo, aproximadamente 3.8 ha, y se calcularon estadísticos generales para los diferentes índices y diferentes escalas de sensor.

Para el segundo objetivo se recortó el área equivalente al pixel de la imagen Sentinel 2 (10X10m y 20X20 m) con la información de las imágenes tomadas por drones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer análisis tuvo como objeto conocer la diferencia entre el registro de información de las imágenes satelitales y el registro de imágenes de drones. Si bien uno de los primeros datos a comparar son el tamaño de pixel y, por lo tanto, el número de pixeles registrados, debido a que está relacionado con lo que el sensor “ve”. Lo anterior, considera que el pixel del dron, tamaño menor a 20 cm puede registrar pixeles de plantas y pixeles de suelo u otros objetos en el campo, por separado; mientras que el satélite con pixeles de 10x10 o 20X20, registra un conjunto de plantas o plantas y suelo, en un mismo pixel (Figura 3). La Figura 3, muestra un menor número de pixeles para el sensor con tamaño de pixel más grande. Del mismo modo, se observa un menor detalle de la información en el tamaño de pixel grande. Jae-Hyun et al. (2020), obtuvo resultados similares para ajo y cebolla, con R^2 de 0.27 – 0.36 en comparaciones de NDVI de Sentinel 2 y RPAS, en relación a datos medidos en campo con espectrómetro. Esto justifica la explicación anterior en donde el pixel grande, tanto de 10X10 m. y 20X20 m contiene información que combina datos registrados de planta y suelo. Por el contrario, en la ortofoto del dron, tiene mayor precisión de la información registrada (se pueden observar los surcos con vegetación) y se pueden observar detalles de la imagen, incluyendo áreas de mayor o menor abundancia de vegetación. Se observa que existe una disminución en la cantidad de datos obtenidos, inversamente proporcional al tamaño del Pixel, mientras en la escala de 20 metros fueron 38 pixeles, en la escala de 18 cm fueron más de 500,000 pixeles.

En la Tabla 4 se muestran estadísticos generales de los índices NDVI, SAVI y NDRE para las tres escalas de sensores analizados: Sentinel 2 con tamaño de pixel de 20X20 m, Sentinel 2 de 10X10 m, y la

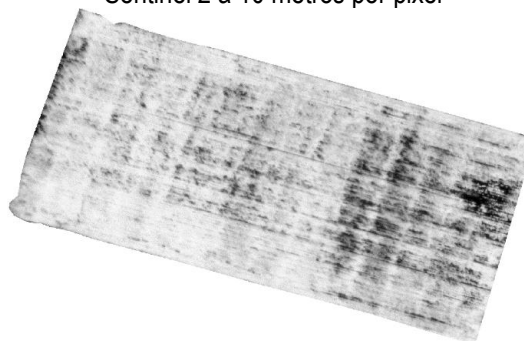
imagen de dron de pixel de 18 cm. Esta información se obtuvo para la primera fecha del vuelo del dron, el 1.junio.2023, misma fecha de la imagen de satélite.



Sentinel 2 a 20 metros por pixel



Sentinel 2 a 10 metros por pixel



Ortofoto del RPAS a 18 cm por pixel

Figura 1. Ortofoto e imágenes satelitales del sitio de estudio para la fecha 1/jun/2023.

Los estadísticos calculados para los índices fueron máximo, mínimo, media, rango y desviación estándar (SD). Para el NDVI se registraron valores mayores por parte de los datos del dron en comparación con los valores del satélite. Por el contrario, en el SAVI, los valores del dron fueron menores que los del satélite; y para NDRE los valores del dron y satélite fueron similares.

Tabla 4. Registro de valores estadísticos para los sensores analizados.

	Dron	Sentinel 2	Sentinel 2
NDVI			
Pixel (cm)	0.18	10	20
Máximo	0.874	0.583	0.567
Media	0.706	0.457	0.468
Mínimo	0.168	0.193	0.250
Rango	0.706	0.390	0.317
SD	0.108	0.068	0.065
SAVI			
Máximo	0.684	0.874	0.850
Media	0.475	0.685	0.702
Mínimo	0.125	0.289	0.375
Rango	0.560	0.585	0.475
SD	0.075	0.103	0.097
NDRE			
Máximo	0.417		0.476
Media	0.250		0.371
Mínimo	0.024		0.214
Rango	0.393		0.262
SD	0.050		0.058

Con esta información de la Tabla 4 se puede inferir que los índices NDVI y SAVI se ven influenciados por el tamaño del pixel, pues los valores medios en ambos índices muestran diferencias entre los valores obtenidos por el dron en comparación con las imágenes satelitales.

Lo anterior, nos permitió desarrollar la segunda comparación que se muestra a continuación. En esta comparación se realizaron recortes del ortomosaico de las imágenes de los drones del tamaño de los pixeles del satélite Sentinel. Es decir, de los sitios muestreados en campo en donde se establecieron parcelas de muestreo de 1 m², se extendió el área de muestreo con la información obtenida en el ortomosaico de los drones y se recortó del tamaño del Pixel de Sentinel a 10X10 m y 20X20 m. En la figura 2 se muestran los recortes del ortomosaico para un tamaño de pixel de Sentinel 2. Con esta información para cuatro fechas de vuelos de dron e imágenes Sentinel 2 se calcularon los valores medios y se graficaron junto con los valores de drones obtenidos para los sitios de muestreo de 1 m².

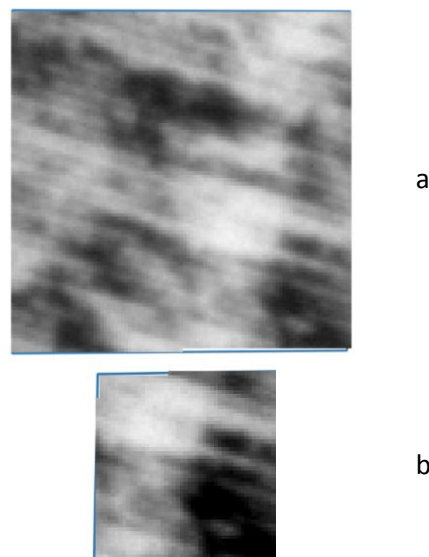


Figura 2. Ortomosaico de dron recortado al tamaño de Pixel de Sentinel 2, a tamaño de pixel 20X20 m, b tamaño de pixel 10X10 m. Fuente de información NDVI.

La Figura 3, muestra el gráfico de los valores promedio de 5 valores para NDVI. El valor del NDVI para 1 m² (Dron m2), el valor de NDVI para pixeles de Sentinel 2 de 20X20 (Sentinel-20), el valor de NDVI para pixeles de Sentinel 2 de 10X10 (Sentinel-10), el valor de NDVI para el recorte de imagen del dron con tamaño de pixel de Sentinel 10X10 (Dron-10) y el valor de NDVI para el recorte de imagen del dron con tamaño de pixel de Sentinel 20X20 (Dron-20).

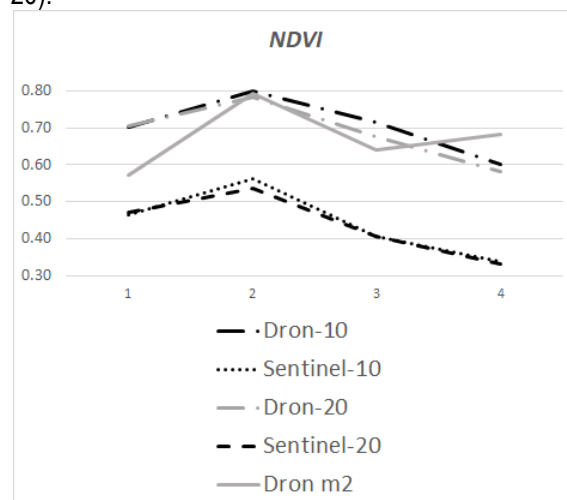


Figura 3. Gráfico de valores medios de NDVI, para cuatro fechas de los sensores evaluados.

Los datos de NDVI provenientes del satélite Sentinel (para ambos tamaños de pixel) se encuentran en la parte baja del gráfico (Línea discontinua negra y línea punteada negra). Al comparar esta información con los datos obtenidos por el dron para las parcelas de 1 m² (línea gris claro), se obtuvieron coeficientes de correlación de 0.36 y 0.46. Sin embargo, al incrementar el tamaño de la parcela al mismo tamaño de los pixeles de Sentinel 2 (10X10 y 20X20 m), se obtuvieron los valores de las líneas con guion largo y punto (gris para 20X20 m y negra para 10X10 m) los coeficientes de correlación se incrementaron a 0.94 y 0.98, respectivamente.

Los valores de SAVI tuvieron coeficientes de correlación de 0.37 y 0.48, al comparar los valores de Sentinel 2 (10X10 y 20X20 m) con los valores de imagen de dron en parcelas de 1 m², subiendo la correlación a 0.65 y 0.76 respectivamente (figura 4).

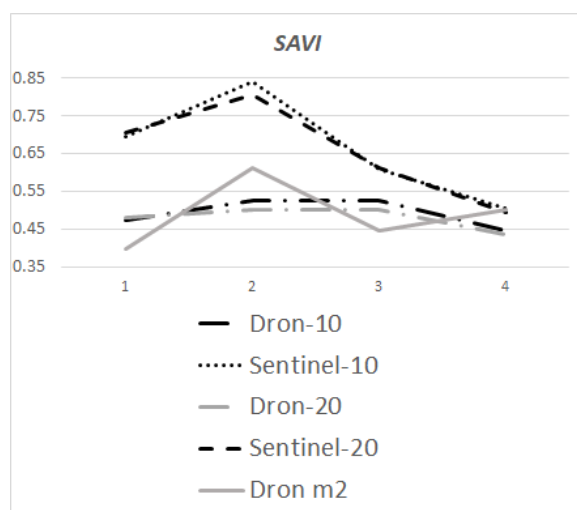


Figura 4. Gráfico de valores medios de SAVI, para cuatro fechas de los sensores evaluados.

Para el NDRE la comparación entre datos de imagen de dron en parcelas de 1m² y Sentinel 2 de 20X20 tuvo una correlación de -0.20, mientras que la correlación del recorte de 20X20 con información del dron tuvo una correlación de 0.89.

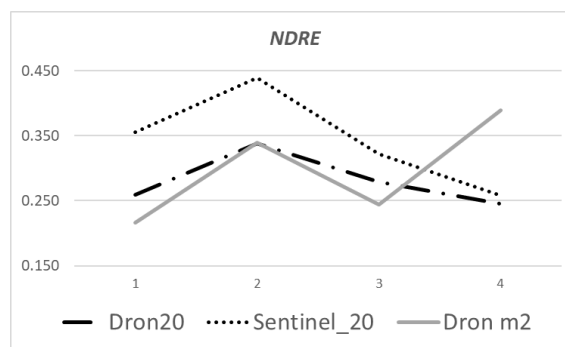


Figura 5. Gráfico de valores medios de SAVI, para cuatro fechas de los sensores evaluados.

Cabe destacar que al momento de procesar la información de los datos obtenidos por RPAS, estos son filtrados para únicamente relacionar la información de vegetación con los datos de campo, es decir, se discriminan los pixeles que corresponden a otros elementos registrados en la imagen y que no corresponden a la información a analizar, como el suelo (Matias *et al.*, 2020). Este proceso, no se puede realizar en las imágenes de Sentinel por su escala de registro de información, y por lo tanto, los pixeles de 10 X 10 m y 20 X 20 m siempre van a incluir los datos del suelo y de otros elementos que no estén en nuestros objetivos analizar, como es el caso de las malezas o residuos de cultivos anteriores. Esto último implica que en estudios en donde se consideren escalas de trabajo de Sentinel 2, para vegetación o cultivos, se requiere del uso de índices que discriminen la información del suelo y maximicen las características de la vegetación el cultivo, o deben ser aplicados a aquellos cultivos en donde su cobertura espacial sea mayor a la escala del sensor (Vani y Venkata-Ravibabu, 2017).

CONCLUSIONES

Los valores de correlaciones de los tres índices presentados en este estudio fueron consistentes en un incremento, a la hacer el cálculo de valor medio con el recorte de los datos del dron con un tamaño de pixel del satélite. Esto nos indica que las diferencias que se obtienen al entrenar imágenes de campo con información satelital, se debe principalmente al tamaño de la parcela en donde se registran los datos de campo, la cual en la mayoría de los casos no se elige en función del tamaño del pixel del sensor sino de criterios de campo. Por lo tanto, las diferentes escalas de trabajo en campo, cuando se entrenan imágenes satelitales u ortofotos

obtenidas por drones deben estar planificadas en función a la escala del sensor remoto, es decir, ser representativas a la información obtenida por el sensor.

Es importante considerar la escala del sensor remoto a usar en el desarrollo de modelos para estimación de parámetros como biomasa, nitrógeno, humedad del suelo, entre otros; por lo mismo, no se recomienda su uso en condiciones diferentes a las cuales fue desarrollado.

Adjusted Vegetation Index. Remote Sensing of Environment, 48, 119–126.

Vani, V., Venkata-Ravibabu, Mandla. 2017. Comparative study of NDVI and SAVI vegetation indices in Anantapur District semi-arid areas. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET).

LITERATURA CITADA

Ehammer, A.; Fritsch, S.; Conrad, C.; Lamers, J.; Dech, S. 2010. Statistical derivation of fPAR and LAI for irrigated cotton and rice in arid Uzbekistan by combining multi-temporal RapidEye data and ground measurements. Conference: SPIE remote sensing symposium 2010.

European Spatial Agency (ESA). 2023. Sentinel-2 MSI User Guide. European Union. (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi> Sitio visitado el 1 de septiembre del 2023)

Index DataBase (IDB). 2023. A database for remote sensing indices. The IDB Project. (<https://www.indexdatabase.de/> Sitio visitado el 28 de agosto del 2023)

Jae-Hyun, R., Sang-Il, N. Jaeil, C. 2020. Inter-Comparison of Normalized Difference Vegetation Index Measured from Different Footprint Sizes in Cropland. Remote Sensing.

Jackson, R., & Huete, A. R. (1991). Interpreting vegetation indexes. Preventive Veterinary Medicine, 11, 185–200.

Matias, F. I, Caraza-Harter, M. V., Endelman F. B. 2020. FIELDImageR: An R package to analyze orthomosaic images from agricultural field trials. The Plant Phenom Journal.

Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A Modified Soil

