



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,  
Volumen 9, Número 6.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i6](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6)

## **EVALUACIÓN DE NDVI Y OSAVI MEDIANTE DRONES PARA MONITOREAR LA CONDICIÓN DEL SUELO Y VEGETACIÓN**

**EVALUATION OF NDVI AND OSAVI USING DRONES TO  
MONITOR SOIL AND VEGETATION CONDITION**

**Judi Judith Esquivel Marín**  
Universidad Autónoma de Zacatecas

**Francisco Guadalupe Echavarria Chairez**  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales

**Israel Casas Flores**  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i6.21168](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.21168)

## Evaluación de NDVI y OSAVI mediante drones para monitorear la condición del suelo y vegetación

Judi Judith Esquivel Marín<sup>1</sup>

[marin.judi@uaz.edu.mx](mailto:marin.judi@uaz.edu.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-8645-4219>

Universidad Autónoma de Zacatecas  
México

Francisco Guadalupe Echavarria Chairez

[echavarria.francisco@inifap.gob.mx](mailto:echavarria.francisco@inifap.gob.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-4910-5677>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,  
Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo  
Experimental Zacatecas  
México

Israel Casas Flores

[casas.israel@inifap.gob.mx](mailto:casas.israel@inifap.gob.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-5870-4508>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,  
Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo  
Experimental Zacatecas  
México

### RESUMEN

El presente trabajo evaluó el uso de vehículos no tripulados para la observación del manejo de suelo y cobertura vegetal mediante imágenes multiespectrales. Se utilizó un vehículo aéreo no tripulado equipado con cámara multiespectral. Se evaluaron seis alternativas de manejo de vegetación nativa y prácticas de conservación de suelos, y su asociación con los índices NDVI (Índice Normalizado de Vegetación) y OSAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo), con la finalidad de valorar los tratamientos. Tanto el NDVI como el OSAVI presentaron diferencias significativas ( $P<0.05$ ). El NDVI mostró al tratamiento 2 con valores medios mayores, correspondiente a una cobertura con pastos nativos navajita (*Bouteloua gracilis*) y banderilla (*Bouteloua curtipendula*), mientras que el OSAVI favoreció al tratamiento 3, que representa suelo sin laboreo por más de 15 años. Esto indica que los vehículos no tripulados con cámara multiespectral pueden contribuir al monitoreo del estado y condición del suelo, siendo una herramienta útil para identificar áreas afectadas por condiciones naturales, actividad humana o sitios de pastoreo.

**Palabras clave:** vehículo aéreo no tripulado; monitoreo del suelo; índices de vegetación; NDVI; OSAVI

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [marin.judi@uaz.edu.mx](mailto:marin.judi@uaz.edu.mx)

## Evaluation of NDVI and OSAVI using drones to monitor soil and vegetation condition

### ABSTRACT

This study evaluated the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) to monitor soil management and vegetation cover using multispectral imagery. An unmanned aerial vehicle equipped with a multispectral camera was used to collect data. Six alternatives of native vegetation management and soil conservation practices were assessed, along with their association with the vegetation indices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and OSAVI (Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index), in order to identify differences among treatments. Both NDVI and OSAVI showed significant differences ( $P < 0.05$ ). NDVI identified treatment 2 as having the highest mean values, corresponding to an area dominated by native grasses such as blue grama (*Bouteloua gracilis*) and sideoats grama (*Bouteloua curtipendula*). OSAVI favored treatment 3, representing soil without tillage for more than 15 years. These findings indicate that UAVs equipped with a multispectral camera are useful tools for monitoring soil condition and vegetation status. This approach can support the identification of areas affected by natural conditions, human activity, or grazing pressure, contributing to decision-making in soil and vegetation conservation.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle (UAV); soil monitoring; vegetation indices; NDVI; OSAVI.

Artículo recibido 20 octubre 2025  
Aceptado para publicación: 15 noviembre 2025



## INTRODUCCIÓN

Al día nacen alrededor de 200 mil personas a nivel mundial, así que la expectativa para el año 2050 se estima que la población mundial conseguirá los 9600 millones de humanos. Esto dará como resultado una gran demanda de alimentos, que sólo puede satisfacerse mediante un mayor rendimiento de los cultivos (Raj et al., 2021). Por lo tanto, el progreso y la modernización del sector agrícola se convierte en la necesidad imperante. Por esa razón, la tecnología ha progresado a un ritmo exponencial, entre otros adelantos, han traído consigo múltiples progresos, donde los vehículos aéreos no tripulados son un claro ejemplo de ello (Hafeez et al., 2022). Los vuelos aéreos no tripulados, también comúnmente llamados drones, tienen la característica de no utilizar un piloto en el interior, por lo que ésta es guiada por un individuo o sistema electrónico externo, que resuelve en cada momento los pasos a seguir (Putra et al., 2021). Los índices espectrales para el estudio de la vegetación tienen una larga historia en el uso de la agricultura de precisión, es por ello que el uso de vehículos aéreos no tripulados para el monitoreo de cubiertas vegetales son una herramienta cada vez más popular utilizada por agrónomos y ecólogos de pastizales y se han convertido en un componente importante de la agricultura moderna. Un gran número de índices se han generado en los últimos años para monitorear la vegetación por sensores remotos, la mayoría de ellos basados en combinaciones algebraicas de reflectancia en el espectro visible y las bandas de cercano infrarrojo (Steven, 2019). Un índice de vegetación es una combinación matemática de dos o más de esas bandas espectrales que aumenta el contraste entre la vegetación (que tiene una alta reflectancia) y el suelo desnudo o suelo laboreado u otras características como la biomasa, el vigor, la densidad etc. Las labores de supervisión de la biomasa y las condiciones de la cobertura vegetal de los pastizales en estudios de campo pueden llevar mucho tiempo y ser costosa, especialmente en regiones grandes y semiáridas donde la productividad por unidad de superficie suele ser baja y muy variable de un año a otro. Los usos de imágenes espectrales derivadas mediante los índices espectrales obtenidos de los vehículos aéreos no tripulados, son de interés para el monitoreo de pastizales como un medio más rentable de medir las características, la biomasa y la extensión de vegetación. Finalmente, este tipo de estudios no requieren de tanta mano de obra, son económicos, rápidos y confiables.

Las imágenes obtenidas de los vuelos aéreos no tripulados sobre la vegetación, se obtiene a partir de la información colectada en las imágenes en el rango de infrarrojos y espectrales visuales, cuyas relaciones



algebraicas producen los índices. Las características de las imágenes expresadas por los índices, proporcionan información sobre la salud de las plantas y vegetación de una manera que no se ve a simple vista (Faiçal et al., 2014; Hafeez et al., 2022). Dos de esos índices son, el índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) o el índice de vegetación ajustado al suelo optimizado (OSAVI), así como otros índices más (van der Merwe et al., 2020). El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) permite identificar el nivel de estrés del cultivo y la posible presencia de enfermedades y/o problemas de desarrollo en el cultivo (Berrio *et al.*, 2018). El índice de vegetación OSAVI es un SAVI (índice de vegetación ajustado por suelo) modificado que también utiliza la reflectancia del infrarrojo cercano y el rojo, y se diferencian entre sí porque el OSAVI tiene en cuenta el factor de ajuste del fondo del Dosel (0.16). Dicho ajuste permite al OSAVI una mayor sensibilidad cuando la cobertura del dosel supera el 50%, como en el caso de un pastizal denso. (Eos data analytics, 2022).

El presente estudio tiene como objetivo analizar el uso de los índices NDVI y OSAVI para valorar su correlación con las diferentes condiciones de suelo. Para ello se compararon cinco diferentes alternativas de manejo de vegetación nativa y prácticas de conservación de suelos con la finalidad de valorar la asociación de los dos índices generados con vuelos no tripulados con las características sobresalientes que cada índice puede explicar.

## METODOLOGÍA

**Descripción del sitio de estudio y metodología.** El trabajo se llevó a cabo en el Campo Experimental Zacatecas (perteneciente al INIFAP), ubicado en los 22° 54' de latitud norte y 102° 39' de longitud oeste y altitud de 2,197 m, con una temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 416 mm, la cual se presenta en mayor proporción en verano (junio a septiembre). Se utilizaron diez hectáreas de suelo con diferentes grados de laboreo y manejo, además del uso de curvas a nivel para lograr una mayor captación de humedad, reducir el escoramiento y la erosión hídrica. Se dividió en franjas de 6 surcos de 76 cm y en los bordes de cada franja, se establecieron especies de arbustos (*Atriplex canescens*), sotol (*Dasylium cedrosanum*), nopales (nopal forrajero), con la finalidad de servir de guía para mantener el surco y a su vez, el de proteger el suelo de la erosión eólica y pastoreo directo. Dentro de las franjas se establecieron pastos navajita (*Bouteloua gracilis*) y banderilla (*Bouteloua curtipendula*), otras franjas se usaron para establecer cultivos anuales como frijol, maíz o cereales. El



sitio fue establecido en el año 2007 con fines de evaluar opciones tecnológicas para la reconversión, programa que consistía en regresar tierras que no eran aptas a su vocación, es decir, a su uso original de pastizal para el pastoreo. Los tratamientos fueron los siguientes:

*Tratamiento 1.* Consta de 9 franjas de 6 surcos en curvas a nivel y en los bordes se establecieron plantas de costilla de vaca (*Atriplex Canneccens*), fue pastoreado durante cuatro años.

*Tratamiento 2.* Posee 6 franjas de 6 surcos en curvas a nivel, en los bordes de cada franja se establecieron plantas de sotol. Dentro de cada franja se establecieron pastos nativos (*Bouteloua gracilis*) y banderilla (*Bouteloua curtipendula*).

*Tratamiento 3.* Posee 4 franjas de 6 surcos en curvas a nivel, en los bordes de cada franja se establecieron plantas de costilla de vaca (*Atriplex canneccens*). No ha sido laboreado y se ha desarrollado vegetación nativa.

*Tratamiento 4.* Posee 11 franjas de 6 surcos en curvas a nivel, y en los bordes de cada franja se establecieron plantas de sotol. Se ha laboreado anualmente con diversos cultivos anuales. Se han agregado al suelo abonos orgánicos, como son la compostura, abonos verdes e incorporación de residuos de cosecha.

*Tratamiento 5.* Posee 11 franjas de 6 surcos en curvas a nivel, y en los bordes de cada franja se estableció plantas de nopal forrajero de 16 diferentes variedades. Se ha laboreado anualmente con diversos cultivos como lo son (frijol maíz, avena, cebada, etc.) y se realiza laboreo continuo.

*Tratamiento 6.* Es una superficie sin curvas a nivel, con laboreo esporádico y la siembra de cultivos anuales. Se utilizó como testigo (Figura 1). Se tomaron fotografías aéreas utilizando el dron DJI P4 multiespectral dispuesto con seis sensores CMOS de 1/2.9", incluyendo un sensor RGB para el espectro visible y cinco sensores monocromos para imagen multiespectral. Cada sensor presenta píxeles efectivos 2.08 MP (Píxeles totales: 2.12 MP). Se hizo una programación con las coordenadas del lugar y se cargó en la memoria del dron. El dron se voló a una altura de 10 metros sobre una superficie de 10 hectáreas.

**Descripción de índices.** Para la comparación de las diferentes condiciones de suelo se utilizaron dos índices contrastantes, el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI por sus siglas en inglés), el cual consiste en la relación de la diferencia entre la reflectancia de una banda de infrarrojo cercano y una banda roja dividido entre la suma de ellas. Es el indicador más utilizado para valorar el contenido de

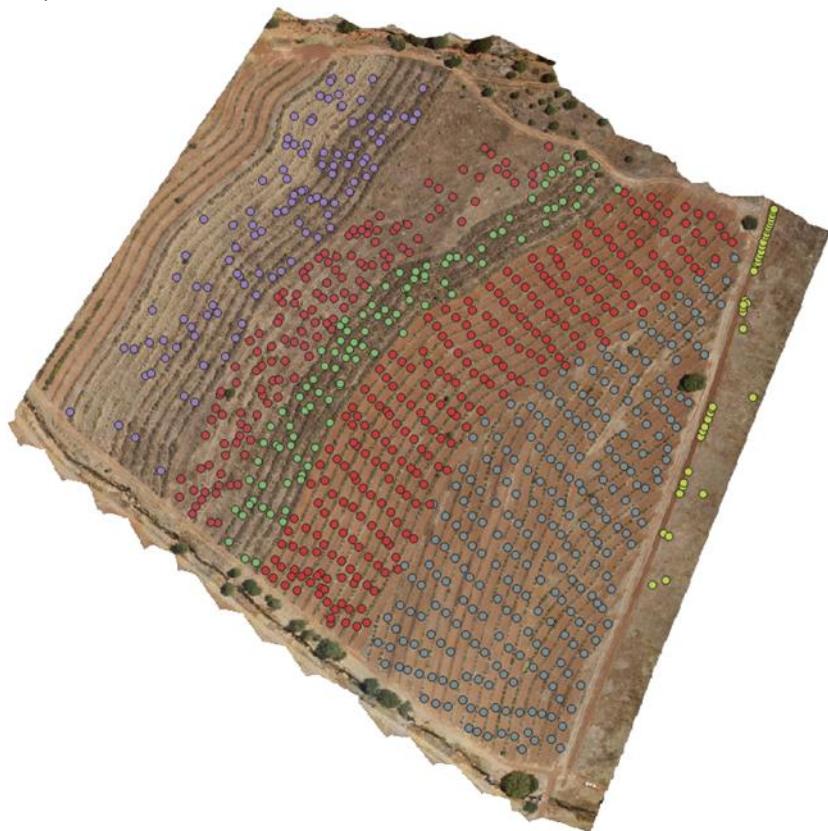


clorofila en la vegetación y refleja la salud de la misma. Este índice se utiliza para monitorizar el crecimiento y la cobertura de vegetación. Su fórmula es:  $DVI=(NIR-RED/NIR+RED)$ . La escala de valoración va de -1 a 1 con el valor cero representando el valor aproximado donde empieza la ausencia de vegetación. Los valores negativos representan superficies sin vegetación. El otro índice es el de Vegetación Ajustado al Suelo (OSAVI por sus siglas en inglés). Este índice está basado en NDVI, pero este considera el impacto de las condiciones del suelo en los índices de vegetación, su fórmula es:  $OSAVI=(NIR-RED)/(NIR+RED+0.16)$ .

**Muestreo.** Para generar las imágenes aéreas se utilizó un vehículo no tripulado (dron). El dron empleado fue el DJI P4 Multiespectral que capta el espectro visible y infrarrojo. La generación automática de diversos índices, en este caso el NDVI y OSAVI, permite conocer la condición del suelo y vegetación, con lo que se pretende distinguir la capacidad de dichos índices al asociarse al manejo diferenciado del suelo. El vuelo se realizó el 08 de junio de 2022. La imagen obtenida tuvo una resolución de 2 cm por pixel.



**Figura 1.** Área de estudio dividida en seis tratamientos con diferentes prácticas de manejo del suelo. Se usó una cuadrícula virtual de 20 m de separación lo que generó 898 puntos y sus coordenadas. En cada punto se generó un área buffer de 10 cm de diámetro y se estimó el valor del centroide. Los sitios de muestreo se presentan en la Figura 1. Se eligieron los puntos donde se detectaba suelo desnudo, para no elevar artificialmente los valores de los índices por la presencia de vegetación y solo hacer referencia al suelo. Una vez elegidos los puntos de muestreo, estos sirvieron para alimentar un programa de obtención de valores de cada uno de los índices, utilizando el programa “R studio” (R CORE TEAM 2020).



**Análisis físico-químico** del suelo. Se realizó un muestreo de suelo para su análisis físico-químico en laboratorio. Se seleccionaron algunas determinaciones de interés como la textura del suelo y la materia orgánica para complementar el estudio. Se obtuvieron 47 muestras distribuidas a lo largo de los seis tratamientos bajo estudio. Con la información se generaron imágenes raster de cada una de las determinaciones, utilizando modelos geoestadísticos (Isaac and Srivastava, 1989) e interpolaciones con kriging (Wang *et al.*, 2020) por medio del programa IDRISI (Eastman, 2012).

**Análisis estadístico.** Los valores obtenidos de cada índice fueron analizados mediante un análisis de varianza, para lo que utilizó un diseño anidado, lo cual se debió a que el experimento se estableció en franjas y las muestras de suelo están anidadas dentro de cada franja; en el nivel superior se compararon los tratamientos y el siguiente nivel de anidamiento, los sitios de muestreo, lo que permitió comprar los

tratamientos. La prueba de comparación de medias usada fue la de Tukey, usando el programa SAS (SAS, 2013).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con el análisis de varianza realizado, se encontró que, en el caso de ambos índices, (NDVI y OSAVI) se presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). Al revisar los valores medios del NDVI, éste, favorece al tratamiento 2, seguido del 3, 1, 6, 5 y 4. (Figura 2 izquierda). El rango de NDVI va desde 0.09 a 0.162. En secuencia, se presenta en primer lugar el tratamiento 2 donde se establecieron pastos nativos y el segundo lugar el sitio sin ningún manejo agropecuario por quince años (tratamiento 3). Sin embargo, son estadísticamente iguales (Figura 2). En tercer lugar, aparece el tratamiento 1 que ha sido pastoreado y establecido con matorrales, aunque diferente a los primeros dos tratamientos mencionados. Finalmente, aparecen en un tercer grupo los tratamientos testigo sin curvas a nivel (6) y dos con manejo agronómico continuo (4 y 5). En este caso, la imagen fue obtenida en junio de 2022 y posterior a un periodo de 8 meses sin lluvia, lo que reduce la cobertura y mejora la evaluación del estado del suelo. Se asocian los valores altos de NDVI a la condición de rebrote del pasto, que, a pesar de seleccionar puntos de suelo desnudo, pudiera encontrarse alrededor, ya que se utilizó una estimación del centroide de un área buffer de 10 cm de diámetro, lo cual pudiera incluir algunos rastros de vegetación, lo que hace este indicador, menos apto para evaluar el suelo (Meneses et al., 2016; Sinde et al., 2020).

**Figura 2.** Comparación de valores medios del NDVI y OSAVI entre tratamientos de manejo del suelo.

\*Barras de diferente color representan diferencias significativas.



Es de notar que, la separación de medias se presenta en tres grupos, el grupo final o de valores más bajos es el de mayor laboreo o mayor perturbación, y el primero lo constituyen los menos laboreados. En



relación al OSAVI, éste favorece al tratamiento 3, seguido de tratamiento 2 y 6. Como se observa en la Figura 2 derecha. Dado que este índice fue diseñado para detectar características del suelo, al seleccionar el tratamiento 3, el cual se refiere al tratamiento de suelo inalterado, da una indicación de ser capaz de identificar una condición de suelo con menor perturbación. Es el único independiente y es diferente a todos. En segundo lugar, aparece el tratamiento 2, el cual, aunque es parecido al tratamiento 3, dado que se presenta una perturbación menor, éste se asocia con los tratamientos 6, 5, y 1 (Figura 2, izquierda). Por último, el índice OSAVI separa en un tercer grupo a los tratamientos 5, 1 y 4, que son de mayor perturbación por continuo laboreo, aunque el tratamiento 1 se asocia con la perturbación provocada por el pastoreo. Esta diferenciación de separación de tratamientos, muestra al índice OSAVI como una herramienta con mayor capacidad para de identificar condiciones de suelo no perturbado (Fern et al., 2018), tal como se ha venido haciendo en el tratamiento 3, durante más de quince años sin laboreo. Sin embargo, la Figura 3 muestra los sitios de menor contenido de materia orgánica y mayor contenido de arena, lo cual es una condición adversa para el desarrollo de cultivos y vegetación nativa, son los primeros tres tratamientos estudiados, los cuales se han mantenido bajo tratamientos de menor laboreo. Esta condición es identificada en ese orden por el NDVI y también son separados por el OSAVI, lo que contribuye a reforzar la afirmación de que los sensores remotos son capaces de distinguir las diferencias en el terreno. Aunque esto confirma que se requiere del apoyo de indicadores adicionales para explicar los efectos de los tratamientos, tal como son las determinaciones físico químicas de laboratorio. Es necesario continuar en la búsqueda de una interpretación precisa de lo que estos índices explican con respecto al suelo. El contar con herramientas capaces de detectar condiciones variables de vegetación nativa, o de suelo, como los índices aquí utilizados, puede ser de gran utilidad para realizar actividades de monitoreo continuo de bajo costo y alta confiabilidad.

## CONCLUSIONES

La información obtenida a partir de las imágenes generadas con vuelos no tripulados es de utilidad para identificar características del suelo, las cuales pudieran estar asociadas al manejo y conservación del mismo, tal como es el caso del OSAVI. Respecto al índice NDVI, este va dirigido hacia la identificación del estado de salud y condición de la vegetación y al compararse con el OSAVI, se mostró una diferencia en la identificación de las condiciones del terreno. No hubo coincidencias en la selección del tratamiento



de manejo de suelo, identificando condiciones diferentes, aunque ambas fueron capaces de distinguir la zona de menor actividad de laboreo agrícola. El uso de vehículos no tripulados, pueden contribuir al monitoreo del estado y condición del suelo. Esto es útil para el monitoreo de áreas, en los que se realicen actividades de conservación de los recursos naturales y para reducir los efectos adversos de la actividad humana. Además de que con esta herramienta se puede obtener información de manera rápida y eficiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berrio, V., Alzate, D. A., Ramón, J. A., & Ramón, J. L. (2018). Sistema de optimización de las técnicas de planificación en agricultura de precisión por medio de drones. *Revista Espacios*, 39(45).  
<https://www.revistaespacios.com/a18v39n45/18394518.html>.
- EOS DATA ANALYTICS. 15 -11-2022. Indices de vegetación y su aplicación en la agricultura digital.  
<https://eos.com/es/industries/agriculture/msavi/>
- Faiçal, B. S., Costa, F. G., Pessin, G., Ueyama, J., Freitas, H., Colombo, A., Fini, P. H., Villas, L., Osório, F. S., Vargas, P. A., & Braun, T. (2014). The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor networks for spraying pesticides. *Journal of Systems Architecture*, 60(4), 393–404. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2014.01.004>
- Fern, R. R., Foxley, E. A., Bruno, A., & Morrison, M. L. (2018). Suitability of NDVI and OSAVI as estimators of green biomass and coverage in a semi-arid rangeland. *Ecological Indicators*, 94, 16–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.029>
- Hafeez, A., Husain, M. A., Singh, S. P., Chauhan, A., Khan, Mohd. T., Kumar, N., Chauhan, A., & Soni, S. K. (2022). Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review. *Information Processing in Agriculture*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.inpa.2022.02.002>
- Eastman R.J. (2012). Idrisi Selva. Guía para SIG y procesamiento de imágenes. Manual versión 17. Clark University. 321pp.
- Isaaks EH, Srivastava RM.1989. Applied geostatistics. Oxford University Press. New York. 561 pp.
- Putra, A. N., Kristiawati, W., Mumtazydah, D. C., Anggarwati, T., Annisa, R., Sholikah, D. H., Okiyanto, D., & Sudarto. (2021). Pineapple biomass estimation using unmanned aerial vehicle



in various forcing stage: Vegetation index approach from ultra-high-resolution image. *Smart Agricultural Technology*, 1, 100025.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100025>

Raj, M., Gupta, S., Chamola, V., Elhence, A., Garg, T., Atiquzzaman, M., & Niyato, D. (2021). A survey on the role of Internet of Things for adopting and promoting Agriculture 4.0. *Journal of Network and Computer Applications*, 187, 103107.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103107>

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SAS INSTITUTE. SAS system for Windows. Version 9.3 (TS1M2) Cary: SAS Institute. 2013.

Steven, M. D. 1998. The sensitivity of the OSAVI vegetation Index to observational parameters. *Remote Sens Environ* 63: 49-60

van der Merwe, D., Burchfield, D. R., Witt, T. D., Price, K. P., & Sharda, A. (2020). *Chapter One - Drones in agriculture* (D. L. B. T.-A. in A. Sparks, Ed.; Vol. 162, pp. 1–30). Academic Press.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.03.001>

Wang Y., Y. Dong, Z. Su, S. Mudd, Q. Zheng, G. Hu, D. Yan (2020). Spatial distribution of water and wind erosion and their influence on the soil quality at the agropastoral ecotone of North China. *International Soil and Water Conservation Research* 8 (2020) 253- 265.  
<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.05.001>

