

## Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

### **Evaluación de una plantación forestal en el matorral xerófilo mediante el uso de sensor multiespectral**

### **Evaluation of a forest plantation in xerophytic scrub using multispectral sensor**

Authors/Autores: Gutiérrez-Barrientos, M., Alanís-Rodríguez, E., Buendía-Rodríguez, E., Cuéllar-Rodríguez, L.G., Aguirre-Calderón, O. A., Yerena-Yamallel, J. I.

ID: e1954

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1954>

Received/Fecha de recepción: April 25<sup>th</sup> 2025

Accepted /Fecha de aceptación: July 06<sup>th</sup> 2026

Available online/Fecha de publicación: September 29<sup>th</sup> 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Gutiérrez-Barrientos, M., Alanís-Rodríguez, E., Buendía-Rodríguez, E., Cuéllar-Rodríguez, L.G., Aguirre-Calderón, O. A., Yerena-Yamallel, J. I. (2026). Evaluation of a forest plantation in xerophytic scrub using multispectral sensor. *Revista Bio Ciencias*, 13, e1954. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1954>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

*Artículo original/ Original article*

## **Evaluación de una plantación forestal en el matorral xerófilo mediante el uso de sensor multispectral**

### **Evaluation of a forest plantation in xerophytic scrub using multispectral sensor**

**Sensor multispectral en matorral xerófilo /****Multispectral sensor in xerophytic scrub**

Gutiérrez-Barrientos, M.<sup>1</sup> ( <https://orcid.org/0009-0006-9181-8095>), Alanís-Rodríguez, E.<sup>1</sup> ( <https://orcid.org/0000-0001-6294-4275>), Buendía-Rodríguez, E.<sup>2</sup> ( <https://orcid.org/0000-0002-4264-6948>), Cuéllar-Rodríguez, L.G.<sup>1</sup> ( <https://orcid.org/0000-0003-4969-611X>), Aguirre-Calderón, O. A.<sup>1</sup> ( <https://orcid.org/0000-0001-5668-8869>), Yerena-Yamallel, J. I. .<sup>1</sup> ( <https://orcid.org/0000-0002-9216-7427>)

*1Adscripción: Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Linares-Cd. Victoria km 145. Apartado Postal 41. CP. 67700. Linares, Nuevo León, México.*

*2Adscripción: Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Carretera Los Reyes-Texcoco, Km 13.5. Coatlinchán. CP. 56250. Texcoco, Estado de México, México.*

#### **\*Corresponding Author:**

Enrique Buendía-Rodríguez. Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Carretera Los Reyes-Texcoco, Km 13.5. Coatlinchán. CP. 56250. Texcoco, Estado de México, México. Teléfono: (55) 38718700 ip: 85342. e-mail: [buendia.enrique@inifap.gob.mx](mailto:buendia.enrique@inifap.gob.mx)

#### **RESUMEN**

El monitoreo de las plantaciones forestales se realiza *in situ* por lo que implica periodos prolongados y costos económicos elevados, como alternativa para la evaluación de los índices de vegetación calculados a partir de imágenes de alta resolución. El objetivo fue evaluar la supervivencia y vigor por medio de índices de vegetación (NDVI, GCI, SAVI) obtenidos a partir de sensor multispectral y UAV, con el propósito de servir como base para el monitoreo de plantaciones en el matorral xerófilo. Se establecieron parcelas de muestreo de manera aleatoria, se evaluaron en campo las plantas registrando la supervivencia, vigor, identificación de la especie y coordenada. Se realizaron dos vuelos (sequía y lluvia) con un vehículo aéreo no tripulado (UAV) con cámara multispectral, a partir de estos se calcularon: el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), índice de clorofila verde (GCI) y índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI); se realizó la extracción de los valores espectrales a partir de la ubicación de cada planta. Se comprobó que los valores de la media del NDVI son los mejores para identificar la supervivencia con una precisión global de 62.46 % en sequía, 69.38 % en lluvia y el vigor con 36.88 % y 66 % respectivamente. Por lo tanto, el sensor multispectral permite realizar la evaluación de plantaciones del matorral xerófilo.

**PALABRAS CLAVE:**

NDVI, *Havardia pallens*, restauración forestal, UAV, Altum Micasense.

**ABSTRACT**

Monitoring of forest plantations is traditionally carried out *in situ*, a process that requires long periods and incurs high economic costs. As an alternative, vegetation indices derived from high-resolution imagery can be used to assess plantations. The present study aimed to evaluate plant survival and vigor using vegetation indices (NDVI, GCI, and SAVI) obtained from a multispectral sensor mounted on an unmanned aerial vehicle (UAV), thus providing a basis for monitoring plantations established in xerophytic scrub ecosystems. Sampling plots were randomly established, and field assessments were conducted by recording plant survival, vigor, species identification, and geographic coordinates. Two UAV flights were carried out during the dry and rainy seasons using a multispectral camera. From the acquired imagery, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Chlorophyll Index (GCI), and Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) were calculated. Spectral values were extracted from the locations of each plant. Results showed that mean NDVI values performed best in identifying plant survival, achieving overall accuracies of 62.46 % in the dry season and 69.38 % in the rainy season. For plant vigor, overall accuracies of 36.88 % and 66.00 % were obtained for the dry and rainy seasons, respectively. Hence, multispectral sensors are a useful tool for assessing forest plantations established in xerophytic scrub ecosystems.

**KEYWORDS:**

NDVI, *Havardia pallens*, forest restoration, UAV, *Altum micasense*, Vegetation indices.

**Introducción**

Los proyectos de restauración ecológica tienen como propósito fundamental recuperar ecosistemas naturales deteriorados a través de programas de reforestación que no solo favorecen la preservación de la biodiversidad, sino que también promueven el crecimiento socioeconómico sostenible (Katila *et al.*, 2019; Vázquez *et al.*, 2001). Históricamente, el seguimiento y evaluación del desempeño de estas iniciativas se ha basado en mediciones directas en campo de parámetros dasométricos y del vigor de las especies vegetales establecidas (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2021). No obstante, resulta esencial realizar evaluaciones periódicas durante el desarrollo del proyecto para poder aplicar medidas correctivas cuando sea necesario (Pequeño-Ledezma *et al.*, 2016), lo cual requiere sistemas de monitoreo más ágiles y precisos (Mata-Balderas *et al.*, 2022). Las metodologías convencionales de evaluación enfrentan múltiples obstáculos que han impulsado la exploración de soluciones tecnológicas más avanzadas.

El seguimiento convencional de estos proyectos de reforestación se ejecuta directamente en el terreno con la finalidad de recopilar datos sobre las condiciones de la vegetación; no obstante, estos procedimientos resultan onerosos, laboriosos, ocasionalmente restrictivos y requieren extensas jornadas de campo (Mohan *et al.*, 2017). Las tecnologías de percepción remota se presentan como alternativas innovadoras para mejorar estos procesos de evaluación, facilitando un monitoreo continuo y económicamente viable del progreso de las plantaciones forestales.

Una alternativa para evaluar y caracterizar la vegetación es por medio de los índices de vegetación calculados a partir de imágenes multiespectral de alta resolución (Almeida *et al.*, 2019), obtenidas con vehículos aéreos no tripulados (UAV), comúnmente llamados Dron, los cuales disminuyen los tiempos de evaluación en campo (Doi, 2020) y de acuerdo con Herold *et al.* (2011), estos favorecen la obtención de datos consistentes, actualizados y de áreas de difícil acceso. Los

UAVs se desarrollaron a principios del siglo XX con objetivo de ser utilizados en el sector militar, sin embargo, en los últimos años han tenido un creciente interés y se convirtieron en una herramienta muy popular debido a sus múltiples aplicaciones en el monitoreo y manejo de los recursos naturales, esta tecnología permite la obtención de la información con alta resolución temporal y precisión, así como la facilidad para la repetición de los vuelos (Guevara-Bonilla *et al.*, 2020).

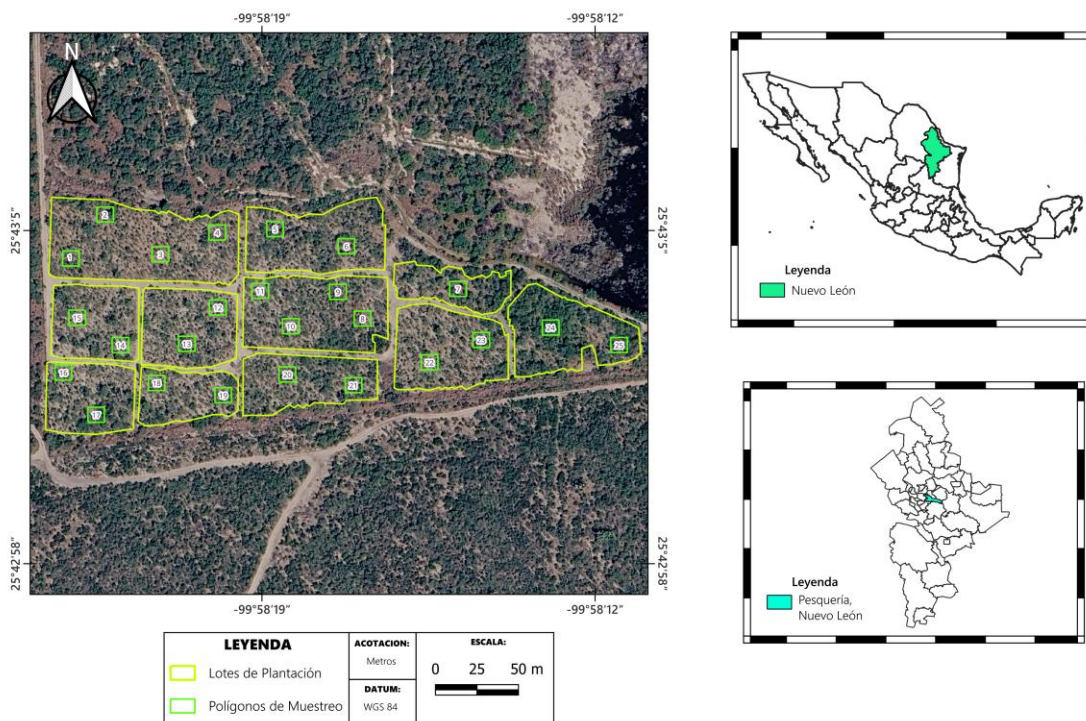
La tecnología basada en UAV constituye herramientas analíticas fundamentales que transforman los datos espectrales capturados en información práctica y cuantificable sobre el estado de la vegetación mediante diversos índices de vegetación. Su aplicación en proyectos de reforestación permite no solo evaluar el éxito de las plantaciones, sino también implementar estrategias de manejo adaptativo basadas en evidencia científica.

Los índices de vegetación permiten determinar los niveles de vigorosidad, que pueden asociarse con zonas de crecimiento bueno o malo, permitiendo realizar acciones correctivas en donde se requiera, aplicando el manejo puntual para mejorar las condiciones del sitio minimizando las posibilidades de enfermedades en las plantaciones (Plaza-Duarte, 2020). Estos índices se basan en el comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la fotosíntesis y la estructura de las hojas, para evaluar el vigor y la salud de las plantas, principalmente (Díaz García-Cervigón, 2015). El índice más utilizado a lo largo de la historia de la teledetección es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) que combina dos bandas del rojo e infrarrojo cercano y sus valores resultantes son de -1 y +1 (Gilabert *et al.*, 1997), en el que valores menores a 0.1 se interpreta como suelos desnudos o cuerpos de agua, mientras que los valores mayores a estos va en relación a la cobertura vegetal, entre más altos los valores indican la actividad fotosintética de las diversas coberturas: matorrales, bosque templado, selva y actividad agrícola (Olivares & López-Beltrán, 2019). Por otro lado, existen otros índices que se han utilizado en la evaluación de procesos de restauración como el índice de verdor, índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI), índice de clorofila verde (GCI), índice de vegetación de proporción (RVI) y el índice de relación simple (SR), entre muchos otros (Beltrán-Hernández, 2017).

A pesar de los avances en tecnologías de monitoreo con vehículos aéreos no tripulados (UAV) e índices de vegetación para evaluar plantaciones forestales, su aplicación en ecosistemas áridos y semiáridos, denominados matorrales (CONABIO, 2023), presenta un notable vacío de información. Esta limitación es particularmente relevante en México, donde los matorrales xerófilos cubren el 28.8 % de la superficie nacional, y específicamente en Nuevo León, que cuenta con 4.2 millones de hectáreas de matorrales, de las cuales 53.5 % corresponden a matorral xerófilo (CONAFOR, 2014). Los altos costos y limitaciones metodológicas de los monitoreos tradicionales *in situ* han restringido la evaluación sistemática de supervivencia y vigor en plantaciones de estos ecosistemas, generando un vacío de conocimiento sobre la efectividad de índices como NDVI, GCI y SAVI en matorrales xerófilos. Por lo que, en este estudio se planteó el objetivo de evaluar supervivencia y vigor por medio de índices de vegetación (NDVI, GCI, SAVI) obtenidos a partir de sensor multiespectral y UAV, con el propósito de servir como base para el monitoreo de plantaciones en el matorral xerófilo.

## Material y Métodos

El área de estudio se ubica en el municipio de Pesquería, Nuevo León, México (Figura 1). En esta zona se encuentra la plantación forestal con fines de restauración de plantas nativas del matorral xerófilo en el que las especies con mayor número de individuos corresponden a *Havardia pallens* (Benth.) Britton & Rose, *Parkinsonia aculeata* L., *Leucophyllum frutescens* (Berland.) I.M. Johnst. y *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn.. El tipo de clima es (A)C(wo)x', lo que indica semicálido subhúmedo según la clasificación de Köppen modificado por García (1988), el tipo de suelo es vertisol (CONABIO, 2001). La plantación está conformada por 11 lotes en la cual se establecieron un total de 25 sitios de forma cuadrada de 100 m<sup>2</sup>, los cuales cubren un área de muestreo con una intensidad del 5 % (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2020). Dichos sitios se distribuyen de manera aleatoria, procurando tener una distancia mínima entre ellos de 30 metros.



**Figura 1. Ubicación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia con datos de CONABIO (2017).**

### Datos de campo

Se llevó a cabo el registro de las plantas obteniendo los datos de: nombre de la especie, clave de identificación, lote, línea y coordenadas UTM (x, y) con una precisión centimétrica, tomadas con un GPS Topcon® GR-5 (GR-5 ofrece resultados RTK (Real Time Kinematic) con errores típicos de 5 mm + 0.5 ppm en horizontal y 10 mm + 0.8 ppm en vertical, según el catálogo de Topcon), además se evaluó la supervivencia y el vigor, este se clasificó en tres categorías de acuerdo con la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2010): 1) Malo: si el follaje es amarillento, ralo y de hojas débiles, así como individuos que en temporada de sequía no presentaban follaje, sin embargo, al momento de revisar su fuste se encontraban vivos, 2) Regular: si el follaje es menos denso, color verde seco a amarillento y 3) Bueno: si el follaje es denso, color verde intenso y tiene amplia cobertura de copa.

### Datos espectrales

La adquisición de las imágenes se obtuvo con un UAV de ala fija Wingtra® equipado con una cámara multispectral Micasense® Altum de cinco bandas multispectrales de 1.6 MP cada una: 1) Azul (475 nm centro, 32 nm ancho de banda), 2) Verde (560 nm centro, 27 nm ancho de banda), 3) Rojo (668 nm centro, 14 nm ancho de banda), 4) Borde rojo (717 nm centro, 12 nm ancho de banda) y 5) infrarrojo cercano NIR (842 nm centro, 57 nm ancho de banda) (Micasense, 2020).

Se realizaron dos vuelos en una superficie de cuatro hectáreas en el año de 2023; uno en temporada de sequía en el mes de marzo y el otro en noviembre (lluvia) en condiciones climáticas de cielo despejado y soleado, la altura de ambos vuelos fue de 71 metros a nivel del suelo en dirección E-W con un traslape del 70 % a una velocidad de 10 m s<sup>-1</sup>, la calibración del sensor se hizo antes de iniciar y terminar cada vuelo con el panel de reflectancia Micasense, obteniendo una

resolución espacial del píxel de 3.0 cm<sup>2</sup>. El procesamiento de las imágenes se realizó en el software PIX4Dmapper® versión 4.7.5 para generar el ortomosaico de cada una de las bandas.

Para evaluar la supervivencia y vigor en los ortomosaicos generados, se utilizó el software Quantum GIS® (QGIS) versión 3.28.3, con el cual, se calcularon tres índices de vegetación: Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), Índice de clorofila verde (GCI), Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) (Tabla 1), para lo cual se realizó la extracción de los valores espectrales (de los ortomosaicos previamente generados) para cada una de las plantas de los sitios de muestreo a partir de sus coordenadas UTM.

**Tabla 1. Índices de vegetación utilizados en este estudio con sus ecuaciones y descripción.**

| Índices                                               | Ecuación                                                                                                                | Descripción                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) | $NDVI = \frac{\text{infrarrojo cercano} - \text{rojo}}{\text{infrarrojo cercano} + \text{rojo}}$                        | Muestra el estado de salud de la vegetación (Chuvieco, 1996).                                                                          |
| Índice de clorofila verde (GCI)                       | $GCI = \frac{(\text{infrarrojo cercano})}{\text{verde}} - 1$                                                            | Es un buen indicador del contenido de clorofila en el dosel (Wu <i>et al.</i> , 2012).                                                 |
| Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)         | $SAVI = \frac{(\text{infrarrojo cercano} - \text{rojo})}{(\text{infrarrojo cercano} + \text{rojo} + L)} \times (1 + L)$ | Este incorpora una constante de suelo y se utiliza dependiendo si la vegetación es de baja – intermedia o alta densidad (Huete, 1988). |

L= Constante de suelo que puede tomar valores de 0.5 y 1.

### Análisis estadístico

Los datos espectrales de los índices de vegetación obtenidos para las dos temporadas de evaluación se sometieron a pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas de Levene, con un grado de significancia de ( $p < 0.05$ ), al no cumplir con ambos supuestos, se realizó la prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney para evaluar la supervivencia y la prueba de Kruskal-Wallis para el vigor, para determinar si existían diferencias significativas en ambas pruebas ( $p < 0.05$ ), estos análisis se llevaron a cabo en el software SPSS® versión 26.0 (Quispe *et al.*, 2019). Con el objetivo de asignar los rangos digitales para la clasificación (Honeyman Lucchini, 2024) se utilizaron los datos estadísticos de la media y la media  $\pm$  desviación estándar (DS).

Por su parte las clasificaciones fueron verificadas con la información de campo y a partir de esta se generaron matrices de confusión para cada uno de los índices de vegetación, las cuales muestran la exactitud de usuario al clasificar correctamente los valores y la exactitud del producto con los valores verificados en campo, así como, los errores de omisión que representan los individuos que pertenecieron a una categoría y no fueron incluidas en ella y los errores de comisión con las plantas incluidas en una categoría diferente. Asimismo, se calculó exactitud global mostrando los individuos que fueron clasificados correctamente (diagonal principal) (Sánchez, 2016) y el índice Kappa (k) el cual define el ajuste debido solo a la exactitud de la clasificación y la realidad observada, considerando la diferencia esperada por azar (Chuvieco, 1996; Congalton & Green, 2019).

## Resultados y discusión

### Supervivencia

De acuerdo con los resultados de los análisis estadísticos se obtuvieron los rangos digitales a partir de la media y la media  $\pm$  DS para los índices de vegetación NDVI, GCI y SAVI, de esta forma, en la Tabla 2 se muestran los valores de los rangos para sequía y lluvia. Los valores con mayor exactitud global (EG) fueron los obtenidos utilizando la media  $\pm$  DS en la época de lluvia, con un 75.78 % con el SAVI, seguido del NDVI (75.49 %). Así mismo, con esta clasificación para la época de sequía el GCI obtuvo 75.51 %. Por su parte, al utilizar la clasificación de la media, las mayores EG para la época de lluvia se obtuvieron con el NDVI (69.38 %) y SAVI (67.2 %), igualmente, estos dos índices presentan la mejor EG en la época de sequía.

**Tabla 2. Rangos digitales para evaluar supervivencia.**

| Índice | Temporada | Media       |             |                      | Media $\pm$ desviación estándar |             |                      |
|--------|-----------|-------------|-------------|----------------------|---------------------------------|-------------|----------------------|
|        |           | Muerta      | Viva        | Exactitud global (%) | Muerta                          | Viva        | Exactitud global (%) |
| NDVI   | Sequía    | 0.07 - 0.22 | 0.22 - 1.00 | 62.46                | 0.10 - 0.33                     | 0.15 - 1.00 | 42.64                |
|        | Lluvia    | 0.15 - 0.56 | 0.56 - 1.00 | 69.38                | 0.36 - 0.75                     | 0.49 - 1.00 | 75.49                |
| GCI    | Sequía    | 0.38 - 1.00 | 1.00 - 4.33 | 58.8                 | 0.61 - 1.40                     | 0.71 - 1.70 | 75.51                |
|        | Lluvia    | 0.70 - 2.61 | 2.61 - 8.09 | 64.29                | 1.30 - 3.93                     | 1.96 - 4.49 | 74.4                 |
| SAVI   | Sequía    | 0.03 - 0.10 | 0.10 - 0.43 | 61.44                | 0.05 - 0.14                     | 0.07 - 0.17 | 43.26                |
|        | Lluvia    | 0.08 - 0.30 | 0.30 - 0.62 | 67.2                 | 0.18 - 0.41                     | 0.25 - 0.46 | 75.78                |

En este sentido, se realizaron matrices de confusión para obtener la precisión de cada clasificación con respecto a lo obtenido en campo, no obstante, solo se muestran de los índices NDVI y GCI que presentaron mayor EG. En las Tablas 3 y 4, se presentan las matrices para la temporada de sequía a) con el índice GCI se obtuvo mejor EG de 75.51 % utilizando los rangos de media  $\pm$  DS. Sin embargo, en la categoría de muertas solo identifica 22 plantas de 156 de las evaluadas en campo en este estado, por lo tanto, no tiene buena precisión para identificar esta categoría. Asimismo, el NDVI fue el que obtuvo una exactitud global de 62.46 %, pero este si identifica mayor cantidad de plantas en cada categoría, por lo tanto, es mejor utilizar este índice.

Para la época de lluvia, en las Tablas 5 y 6, se observa que la clasificación con el SAVI utilizando la media  $\pm$  DS fue la que presentó mejor exactitud global de 75.78 %, sin embargo, en la categoría de muertas solo se identificaron 58 individuos de los 281 determinados en campo. Por otra parte, el NDVI mostró una exactitud del usuario para las plantas muertas de 33.25 % con 139 individuos y para las plantas vivas de 85.16 %, por lo que el NDVI fue el índice que presentó mejor precisión para evaluar la supervivencia en ambas temporadas.

Por su parte, en un estudio realizado por Ramírez-Vargas (2020) sobre la fotogrametría aérea aplicada a encinos (*Quercus spp.*) encontró que la presión del NDVI en temporada seca es de 40 % con un valor kappa de 0.10 valor menor al encontrado en este estudio (62.46 %, kappa 0.21).

## Vigor

De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis se encontraron diferencias significativas entre las categorías de vigor por lo que se establecieron los rangos digitales para su evaluación en cada uno de los índices de vegetación para sequía y lluvia (Tabla 7). Los valores con mayor EG fueron los obtenidos utilizando la media para ambas temporadas, en sequía el NDVI mostró un 36.88 %, en

seguido del GCI con 35.93%, mientras que en la época de lluvia con el NDVI se obtuvo 66 %, seguido de SAVI con 62.52 %. Por su parte la clasificación a partir de la media  $\pm$  DS en ambas temporadas mostró baja EG.

Los rangos digitales del NDVI obtenidos en este estudio para la evaluación de vigor en la categoría de bueno (0.67 a 1) se asemejan a los obtenidos por Gallardo-Salazar *et al.* (2021) en el que clasificó el vigor de *Pinus arizonica* Engelm. Con el rango de 0.66 a 1 para arboles con vigor alto. Otro estudio similar fue el realizado por Vera *et al.* (2020) en el que evaluó la vegetación de comunidades xerófilas con el NDVI obteniendo un rango de 0.25 a 0.28 valores muy aproximados a los obtenidos en este estudio para la categoría de vigor en temporada de sequía (0.23 a 0.28).

**Tabla 3. Matriz de confusión de NDVI con la media en temporada de sequía**

|                       | Media - NDVI |            |            | Exactitud del Producto | Errores de Omisión |
|-----------------------|--------------|------------|------------|------------------------|--------------------|
|                       | Muerta       | Viva       | Total      |                        |                    |
| Muerta                | <b>105</b>   | 51         | 156        | 67.31                  | 32.69              |
| Viva                  | 205          | <b>321</b> | 526        | 61.03                  | 38.97              |
| Total                 | 310          | 372        | <b>682</b> |                        |                    |
| Exactitud del usuario | 33.87        | 86.29      |            |                        |                    |
| Error de Comisión     | 66.13        | 13.71      |            |                        |                    |
| Exactitud global      |              |            |            |                        | <b>62.46</b>       |
| Kappa                 |              |            |            |                        | <b>0.210</b>       |

**Tabla 4. Matriz de confusión de GCI con la media  $\pm$  DS en temporada de sequía.**

|                       | Media $\pm$ DS - GCI |            |            | Exactitud del Producto | Errores de Omisión |
|-----------------------|----------------------|------------|------------|------------------------|--------------------|
|                       | Muerta               | Viva       | Total      |                        |                    |
| Muerta                | <b>22</b>            | 134        | 156        | 14.1                   | 85.9               |
| Viva                  | 33                   | <b>493</b> | 526        | 93.73                  | 6.27               |
| Total                 | 55                   | 627        | <b>682</b> |                        |                    |
| Exactitud del usuario | 40                   | 78.63      |            |                        |                    |
| Error de Comisión     | 60                   | 21.37      |            |                        |                    |
| Exactitud global      |                      |            |            |                        | <b>75.51</b>       |
| Kappa                 |                      |            |            |                        | <b>0.101</b>       |

**Tabla 5. Matriz de confusión de NDVI con la media en temporada de lluvia.**

| Media - NDVI |  |
|--------------|--|
|--------------|--|

|                       | Muerta     | Viva       | Total       | Exactitud del Producto | Errores de Omisión |
|-----------------------|------------|------------|-------------|------------------------|--------------------|
| Muerta                | <b>139</b> | 142        | 281         | 49.47                  | 50.53              |
| Viva                  | 279        | <b>815</b> | 1094        | 74.5                   | 25.5               |
| Total                 | 418        | 957        | <b>1375</b> |                        |                    |
| Exactitud del usuario | 33.25      | 85.16      |             |                        |                    |
| Error de Comisión     | 66.75      | 14.84      |             |                        |                    |
| Exactitud global      |            |            |             |                        | <b>69.38</b>       |
| Kappa                 |            |            |             |                        | <b>0.203</b>       |

**Tabla 6. Matriz de confusión de SAVI con la media  $\pm$  DS en temporada de lluvia.**

| Media $\pm$ DS - SAVI |           |            |             |                        |                    |
|-----------------------|-----------|------------|-------------|------------------------|--------------------|
|                       | Muerta    | Viva       | Total       | Exactitud del Producto | Errores de Omisión |
| Muerta                | <b>58</b> | 223        | 281         | 20.64                  | 79.36              |
| Viva                  | 110       | <b>984</b> | 1094        | 89.95                  | 10.05              |
| Total                 | 168       | 1207       | <b>1375</b> |                        |                    |
| Exactitud del usuario | 34.52     | 81.52      |             |                        |                    |
| Error de Comisión     | 65.48     | 18.48      |             |                        |                    |
| Exactitud global      |           |            |             |                        | <b>75.78</b>       |
| Kappa                 |           |            |             |                        | <b>0.124</b>       |

**Tabla 7.  
digitales  
vigor.**

**Rangos  
para evaluar**

| Índice | Temporada | Media       |             |             | Exactitud global (%) | Media $\pm$ desviación estándar |             |             | Exactitud global (%) |
|--------|-----------|-------------|-------------|-------------|----------------------|---------------------------------|-------------|-------------|----------------------|
|        |           | Malo        | Regular     | Bueno       |                      | Malo                            | Regular     | Bueno       |                      |
| NDVI   | Sequía    | 0.07 - 0.23 | 0.23 - 0.28 | 0.28 - 1.00 | 36.88                | 0.13 - 0.34                     | 0.16 - 0.40 | 0.18 - 1.00 | 29.28                |
|        | Lluvia    | 0.15 - 0.56 | 0.56 - 0.67 | 0.67 - 1.00 | 66.00                | 0.38 - 0.75                     | 0.38 - 0.76 | 0.52 - 1.00 | 37.11                |
| GCI    | Sequía    | 0.38 - 1.03 | 1.03 - 1.18 | 1.18 - 4.23 | 35.93                | 0.68 - 1.38                     | 0.74 - 1.62 | 0.78 - 2.01 | 30.42                |
|        | Lluvia    | 0.70 - 2.60 | 2.60 - 2.70 | 2.70 - 8.09 | 59.51                | 1.41 - 3.79                     | 1.44 - 3.96 | 2.14 - 4.60 | 30.99                |
| SAVI   | Sequía    | 0.03 - 0.10 | 0.10 - 0.11 | 0.11 - 0.43 | 34.98                | 0.05 - 0.14                     | 0.06 - 0.17 | 0.07 - 0.20 | 29.27                |
|        | Lluvia    | 0.08 - 0.29 | 0.29 - 0.31 | 0.31 - 0.62 | 62.52                | 0.18 - 0.40                     | 0.19 - 0.42 | 0.26 - 0.47 | 34.46                |

De la misma manera que la evaluación de la supervivencia, se generaron matrices de confusión; sin embargo, solo se muestran las que obtuvieron mejor EG. En las Tablas 8 y 9, se presentan las del índice NDVI para las dos épocas. En sequía, la exactitud de usuario fue de 30.89 % malo, 44.59 % regular y 41.26 % bueno. Mientras que, en la época de lluvia la categoría de bueno fue la que presentó mejor exactitud de usuario con 84.59 %, por su parte los errores de omisión fueron de 56.82 % malo, 93.28 % regular y 22.59 % bueno.

**Tabla 8. Matriz de confusión de NDVI con la media en temporada de sequía.**

| Media - NDVI          |           |           |           |            |                        |                    |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------------------|--------------------|
|                       | Malo      | Regular   | Bueno     | Total      | Exactitud del Producto | Errores de Omisión |
| Malo                  | <b>76</b> | 21        | 27        | 124        | 61.29                  | 38.71              |
| Regular               | 121       | <b>33</b> | 94        | 248        | 13.31                  | 86.69              |
| Bueno                 | 49        | 20        | <b>85</b> | 154        | 55.19                  | 44.81              |
| Total                 | 246       | 74        | 206       | <b>526</b> |                        |                    |
| Exactitud del usuario | 30.89     | 44.59     | 41.26     |            |                        |                    |
| Error de Comisión     | 69.11     | 55.41     | 58.74     |            |                        |                    |
| Exactitud global      |           |           |           |            |                        | <b>36.88</b>       |
| Kappa                 |           |           |           |            |                        | <b>0.109</b>       |

**Tabla 9. Matriz de confusión de NDVI con la media en temporada de lluvia.**

| Media - NDVI          |           |          |            |             |                        |                    |
|-----------------------|-----------|----------|------------|-------------|------------------------|--------------------|
|                       | Malo      | Regular  | Bueno      | Total       | Exactitud del Producto | Errores de Omisión |
| Malo                  | <b>38</b> | 1        | 49         | 88          | 43.18                  | 56.82              |
| Regular               | 51        | <b>9</b> | 74         | 134         | 6.72                   | 93.28              |
| Bueno                 | 197       | 0        | <b>675</b> | 872         | 77.41                  | 22.59              |
| Total                 | 286       | 10       | 798        | <b>1094</b> |                        |                    |
| Exactitud del usuario | 13.29     | 90       | 84.59      |             |                        |                    |
| Error de Comisión     | 86.71     | 10       | 15.41      |             |                        |                    |
| Exactitud global      |           |          |            |             |                        | <b>66.00</b>       |
| Kappa                 |           |          |            |             |                        | <b>0.142</b>       |

Por su parte, la EG con el índice NDVI en sequía de 36.88 % es baja debido a que durante esta temporada en los matorrales del noreste de México las bajas temperaturas invernales influyen notablemente en la pérdida de follaje (Reid *et al.*, 1990) por lo que en campo y en la clasificación espectral las plantas dan a entender que se encuentran muertas y es difícil diferencial las muertas del vigor malo, lo que afecta en una baja precisión en la asignación de categoría. Por el contrario, en la temporada de lluvia, la exactitud fue 66 %, valor mayor al reportado por Gutiérrez-Barrientos *et al.* (2022) en el que ellos encontraron una exactitud global de 43.79 %. Esta diferencia de precisión puede estar influenciada en que la vegetación se encontraba con mejores condiciones fitosanitarias al momento de realizar la evaluación, los individuos presentan mayor tamaño de amplitud de copa y por lo tanto aumenta su reflectancia.

En este estudio se plantearon tres clases de clasificación para la evaluación de vigor, sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos es difícil identificar las plantas en estado regular por lo que se recomienda utilizar solo dos clases (malo y bueno), un estudio similar (Reinoso *et al.*, 2023) en que evalúan los niveles de vigorosidad mediante el NDVI en una plantación de *Pinus radiata* D., donde encontraron el rango de 0.336 a 0.487 para las plantas de menor vigor y para las de mayor vigor de 0.615 a 0.728 es decir dos categorías de clasificación.

De manera general, el NDVI es un buen indicador de la salud de las plantas de ecosistemas áridos y semiáridos, solamente se debe tener en consideración de la influencia climática que afecta en el vigor del crecimiento, en la temporada húmeda el valor de NDVI se incrementa y por el contrario en temporada seca, los valores son bajos (Erasmí *et al.*, 2009). Asimismo, en un estudio realizado por Heya *et al.* (2017) para especies del matorral espinoso tamaulipeco encontraron que la formación de hojas y renuevo se dio en la temporada que se presentaron mayores precipitaciones y por el contrario la máxima pérdida de follaje se presenta con las temperaturas bajas invernales asociados a la temporada de sequía.

## Conclusiones

El uso de sensor multiespectral a través del NDVI permitió evaluar la supervivencia con una precisión global de 62.46 % y 69.38 % en la temporada de sequía y lluvia, respectivamente, y vigor de las plantaciones con una exactitud global hasta un 66 % en el matorral xerófilo, reduciendo el tiempo de la obtención de la información para el monitoreo, la gestión óptima fitosanitaria y las necesidades hídricas.

## Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, MGB, EAR, EBR; desarrollo de la metodología, MGB, EBR; manejo de software, MGB; validación experimental, MGB, EBR; análisis de resultados, MGB, EBR, OAAC; Manejo de datos, MGB, EBR, LGCR; escritura y preparación del manuscrito, MGB, EBR, LGCR, EAR; redacción, revisión y edición, MGB, EAR, EBR, JLYY; administrador de proyectos, MGB, EAR, JLYY; adquisición de fondos, MGB, EAR, OAAC. Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

## Financiamiento

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por la beca otorgada al primer autor para la realización de la presente investigación.

## Agradecimientos

A la empresa Geoprospect S.A de C.V., la Central Eléctrica Pesquería Techgen S. A de C. V. y el Ing. Juan Daniel Marín Solís por las facilidades para el desarrollo de esta investigación.

## Conflicto de interés

“Los autores declaran no tener conflicto de interés”

## Referencias

- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., & Marroquín-de-la-Fuente, J.S. (2020). Muestreo ecológico de la vegetación. Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 245p. <https://libros.uat.edu.mx/index.php/librosuat/catalog/view/221/182/537>
- Alanís-Rodríguez, E., Molina-Guerra, V.M., Collantes-Chavéz-Costa, A., Buendía-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Sánchez-Castillo, L., Alcalá-Roja, A. G. (2021). Structure, composition and carbon Stocks of woody plant community in assisted and unassisted ecological succession in Tamaulipan thornscrub, Mexico. *Revista Chilena de Historia Natural*, 94(6), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40693-021-00102-6>

- Almeida, D.R.A., Broadbent, E.N., Zambrano, A.M.A., Wilkinson, B.E., Ferreira, M.E., Chazdon, R., Meli, P., Gorgens, E.B., Silva, C.A., Stark, S.C., Valbuena, R., Papa, D.A., & Brancalion, P.H.S. (2019). Monitoring the structure of forest restoration plantations with a drone-lidar system. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 79, 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.03.014>
- Beltrán-Hernández, D. (2017). Aplicación de Índices de Vegetación Para Evaluar Procesos de Restauración Ecológica en el Parque Forestal Embalse del Neusa. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/1215847f-dcf4-48ce-8cfb-23ea60748e8c/content>
- Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de Teledetección Espacial. 3era Edición. Editorial RIAL. Madrid, España. 568p. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstreams/6c2dc1cf-1ed4-4cd6-9638-b651ab49c5f9/download>
- Comisión Nacional Forestal. [CONAFOR]. (2010). Prácticas de reforestación. Manual Básico. 1ra Edición. Zapopan, Jalisco, México. 64p. [https://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/MANUAL\\_PRACTICAS\\_DE\\_REFORESTACION.PDF](https://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/MANUAL_PRACTICAS_DE_REFORESTACION.PDF)
- Comisión Nacional Forestal. [CONAFOR]. (2014). Inventario Estatal forestal y de Suelos Nuevo León. 1era Edición. Zapopan, Jalisco, México. 166p. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD002874.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2001). Datos de Edafología, 1:1000000. México. [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/edafo/tsuelo/eda251mgw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/edafo/tsuelo/eda251mgw)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2017). Mapa de división política de México 1:1000000. México [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/dipol/estata/destdv1gw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/dipol/estata/destdv1gw)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2023). Matorrales. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/Matorral.html>
- Congalton, R., & Green, K. (2019). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practice. 3era Edición. CRC Press. 346p. <https://doi.org/10.1201/9780429052729>
- Díaz García-Cervigón, J. (2015). Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de éstos a la agricultura de precisión (Tesis de maestría, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Geografía e Historia). <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/8f785b6f-2e22-4d29-a2d2-1e6aae847cd8/content>
- Doi, R. (2020). Assessing the reforestation effects of plantation plots in the Thai savanna based on 45 cm resolution true-color images and machine learning. *Environmental Research Letters*, 16(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abcfe3>
- Erasmí, S., Propastin, P., Kappas, M., & Panferov, O. (2009). Spatial Patterns of NDVI Variation over Indonesia and Their Relationship to ENSO Warm Events during the Period 1982-2006. *Journal of Climate*, 22(24), 6612-6623. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2460.1>
- Gallardo-Salazar, J.L., Carrillo-Aguilar, D.M., Pompa-García, M., & Aguirre-Salado, C.A. (2021). Multispectral indices and individual-tree level attributes explain forest productivity in a pine clonal orchard of Northern Mexico. *Geocarto International*, 37(15). 13p. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1886341>
- García, E. (1988). Modificaciones al Régimen de Clasificación Climática de Köppen. México. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F., México. 134p. <https://publicaciones.geografia.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251>
- Gilabert, M.A., González-Piqueras, J., & García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de teledetección*, 8(1), 1-10. [https://www.researchgate.net/profile/Ma-Gilabert/publication/39195330\\_Acerca\\_de\\_los\\_indices\\_de\\_vegetacion/links/00b7d5187635eb5a1a000000/Acerca-de-los-indices-de-vegetacion.pdf?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNOUGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19](https://www.researchgate.net/profile/Ma-Gilabert/publication/39195330_Acerca_de_los_indices_de_vegetacion/links/00b7d5187635eb5a1a000000/Acerca-de-los-indices-de-vegetacion.pdf?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNOUGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19)
- Guevara-Bonilla, M., Meza-Leandro, A., Esquivel-Segura, E., Arias-Aguilar, D., Tapia-Arenas, A., & Masís-Meléndez, F. (2020). Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT's) para el monitoreo y

- manejo de los recursos naturales: una síntesis. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(4), 77-88. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i4.4528>
- Gutiérrez-Barrientos, M., Marín-Solís, J.D., Alanís-Rodríguez, E., & Buendía-Rodríguez, E. (2022). Evaluación de una restauración mediante dron en el matorral espinoso tamaulipeco. *Polibotánica*, 54, 71-85. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.54.5>
- Herold, M., Román-Cuesta, M.R., Mollicone, D., Hirata, Y., Van Laake, P., Asner, G.P., Souza, C., Skutsch, M., Avitabile, V., & MacDicken, K. (2011). Options for monitoring and estimating historical carbon emissions from forest degradation in the context of REDD+. *Carbon Balance and Management*, 6, 1-13. <https://doi.org/10.1186/1750-0680-6-13>
- Heya, M., Pournavab, R., & Carrillo, A. (2017). Respuesta fenológica de especies maderables a los factores ambientales del noreste de México. *Ciencia UANL*, 20(86), 48-55. <https://cienciauanl.uanl.mx/?p=7411>
- Honeyman Lucchini, A. (2024). Validación del uso de datos radar (Sentinel 1) para supervisar desarrollo vegetativo en paltos de zonas costeras de Chile. Ponencia presentada en el Tercer Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión (CLAP2024), Santo Domingo, República Dominicana. [https://www.researchgate.net/publication/378826138\\_Validacion\\_del\\_uso\\_de\\_datos\\_radar\\_Sentinel\\_1\\_para\\_supervisar\\_desarrollo\\_vegetativo\\_en\\_paltos\\_de\\_zonas\\_costeras\\_de\\_Chile](https://www.researchgate.net/publication/378826138_Validacion_del_uso_de_datos_radar_Sentinel_1_para_supervisar_desarrollo_vegetativo_en_paltos_de_zonas_costeras_de_Chile)
- Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295-309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Katila, P., Colfer, C. J. P., de Jong, W., Galloway, G., Pacheco, P., & Winkel, G. (2019). Sustainable development goals: Their impacts on forests and people. *Sustainable Development Goals: Their Impacts on Forests and People*, 1–617. <https://doi.org/10.1017/9781108765015>
- Mata-Balderas, J., Cavada-Prado, K., Sarmiento-Muñoz, T., & González-Rodríguez, H. (2022). Monitoreo de la supervivencia de una reforestación con especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 13(71), 28-52. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1229>
- Micasense. (2020). Micasense Altum and DLS 2 Integration Guide. Seattle, WA. 23p. [https://support.micasense.com/hc/article\\_attachments/360073921173](https://support.micasense.com/hc/article_attachments/360073921173)
- Mohan, M., Silva, C.A., Klauber, C., Jat, P., Catts, G., Cardil, A., Hudak, T.A., & Dia, M. (2017). Individual tree detection from unmanned aerial vehicle (UAV) derived canopy height model in an open canopy mixed conifer forest. *Forests*, 8(9), 1-17. <https://doi.org/10.3390/f8090340>
- Olivares, B. O., & López-Beltrán, M. A. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(2), 112-121. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v11n2/1659-4266-cinn-11-02-112.pdf>
- Pequeño-Ledezma, M., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O., González-Tagle, M. A., & Molina Guerra, V. M. (2016). Criterios a considerar para desarrollar proyectos de restauración ecológica. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(2), 94-105. <https://www.reibci.org/publicados/2016/jun/1600108.pdf>
- Plaza-Duarte, H. (2020). Niveles de vigorosidad de plantaciones de teca, (*Tectona grandis*), mediante índices de vegetación. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6288>
- Quispe, A., Calla, K., Yangali, J., Rodríguez, J., & Pumacayo, I. (2019). Estadística no paramétrica aplicada a la investigación científica con software SPSS, MINITAB y EXCEL. Enfoque práctico. Editorial Eidec. Colombia. 79p. <https://www.editorialeidec.com/wp-content/uploads/2020/01/Estadística-no-paramétrica-aplicada.pdf>
- Ramírez-Vargas, M. (2020). Fotogrametría aérea aplicada a encinos (*Quercus* spp.) en Sierra La Laguna, Baja California Sur: Recomendaciones para su identificación y conservación (Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.). [http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/3054/ramirez\\_m%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/3054/ramirez_m%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Reid, N., Stafford-Smith, D.M., Beyer-Münzel, P., & Marroquín, J. (1990). Floristic and Structural Variation in the Tamaulipan Thornscrub, Northeastern Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 1(4), 529–538. <https://doi.org/10.2307/3235787>
- Reinoso, F.M., Durán, S.D., Colcha, D.F., & Vásquez, N.X. (2023). Niveles de vigorosidad de una plantación forestal mediante el índice NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) utilizando aeronave no tripulada RPAS, en la parroquia palmira, cantón Guamote, provincia de Chimborazo. Polo del Conocimiento. *Revista científico-profesional*, 8(12), 1186-1204. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/6338/15914>
- Sánchez, J. (2016). Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión. *Pensamiento matemático*, 6(2), 9-26. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5998855.pdf>
- Vázquez, C., Batis, A., Silva, M., Alcocer, M., Gual, M., & Sánchez, C. (2001). Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Proyecto J-084-CONABIO. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.11004.54407>
- Vera, A., Morillo, G., & Pacheco, D. (2020). Índices de vegetación y unidades de paisaje de la Reserva de Fauna Silvestre Ciénaga de La Palmita e Isla de Pájaros, estado Zulia, Venezuela. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 4(11), 157-169. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v4i11.77>
- Wu, C., Niu, Z., & Gao, S. (2012). The potential of the satellite derived green chlorophyll index for estimating midday light use efficiency in maize, coniferous forest, and grassland. *Ecological Indicators*, 14(1), 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.08.018>