



*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*

*Vigourity levels of a forest plantation using the NDVI index (normalized difference vegetation index) using RPAS unmanned aircraft, in the Palmira parish, Guamote canton, Chimborazo province*

*Níveis de vigor de uma plantaço florestal utilizando o índice NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) utilizando aeronaves não tripuladas RPAS, na freguesia de Palmira, cantão de Guamote, província de Chimborazo*

Fabian Marcelo Remache Reinoso <sup>I</sup>

[fabianforestal1991@gmail.com](mailto:fabianforestal1991@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0002-7320-1025>

Shirley Dayana Horna Durán <sup>II</sup>

[dayahorna40@gmail.com](mailto:dayahorna40@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-6189-3725>

Diego Francisco Cushquicullma Colcha <sup>III</sup>

[diego.cushquiculma@esPOCH.edu.ec](mailto:diego.cushquiculma@esPOCH.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-6265-8164>

Norma Ximena Lara Vásconez <sup>IV</sup>

[norma.lara@esPOCH.edu.ec](mailto:norma.lara@esPOCH.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-8381-0401>

**Correspondencia:** [fabianforestal1991@gmail.com](mailto:fabianforestal1991@gmail.com)

Ciencias de la Educación

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 30 de octubre de 2023 \* **Aceptado:** 30 de noviembre de 2023 \* **Publicado:** 14 de diciembre de 2023

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.

## Resumen

La presente investigación tuvo como propósito realizar un análisis del nivel de vigorosidad de una plantación forestal de la especie *Pinus radiata* D. Don ubicada en la parroquia Palmira, cantón Guamote, provincia de Chimborazo, para lo cual se delimitó y georreferenció el área neta de la plantación la misma que contaba con 29.22 has, no se evidenció ningún tipo de manejo silvicultural tampoco la presencia de plagas y enfermedades. Mediante un dron Matrice DJI 200 con cámara multiespectral se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) obteniendo como resultado un valor mínimo de 0.23 y un valor máximo de 1, con una media de 0.62 y una desviación estándar de 0.10. Se determinó las categorías en base a los niveles de coloración en los árboles dentro del rodal, donde se obtuvo lo siguiente: 3.89 has correspondiente al 13,31% de área sin cubierta vegetal, 5.55 has equivalente al 18,99% con bajo vigor, 7.12 has equivalente al 24,36 % con medio vigor y 12.66 correspondiente a 43,32% has con alto vigor. Por lo que se aprecia un buen nivel de vigorosidad en los árboles producto de una buena calidad de sitio y una buena calidad de la planta a ello se suma las condiciones edafoclimáticas del sitio.

**Palabras Clave:** NDVI, Plantación forestal, Dron.

## Abstract

The purpose of this research was to carry out an analysis of the level of vigor of a forest plantation of the species *Pinus radiata* D. Don located in the Palmira parish, Guamote canton, province of Chimborazo, for which the net area of the plantation was delimited and georeferenced. plantation, which had 29.22 hectares, there was no evidence of any type of silvicultural management nor the presence of pests and diseases. Using a Matrice DJI 200 drone with a multispectral camera, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated, resulting in a minimum value of 0.23 and a maximum value of 1, with a mean of 0.62 and a standard deviation of 0.10. The categories were determined based on the levels of color in the trees within the stand, where the following was obtained: 3.89 hectares corresponding to 13.31% of area without vegetation cover, 5.55 hectares equivalent to 18.99% with low vigor, 7.12 hectares equivalent to 24.36% with medium vigor and 12.66 corresponding to 43.32% hectares with high vigor. Therefore, a good level of vigor is seen in the trees as a result of a good quality of site and a good quality of the plant, in addition to the edaphoclimatic conditions of the site.

**Keywords:** NDVI, Forest plantation, Drone.

## Resumo

O objetivo desta pesquisa foi realizar uma análise do nível de vigor de uma plantação florestal da espécie *Pinus radiata* D. Don localizada na freguesia de Palmira, cantão de Guamote, província de Chimborazo, para a qual a área líquida do A plantação foi delimitada e georreferenciada. Na plantação, que tinha 29,22 hectares, não havia evidências de qualquer tipo de manejo silvicultura nem presença de pragas e doenças. Utilizando um drone Matrice DJI 200 com câmera multiespectral, foi calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), resultando em valor mínimo de 0,23 e valor máximo de 1, com média de 0,62 e desvio padrão de 0,10. As categorias foram determinadas com base nos níveis de cor das árvores do talhão, onde se obteve: 3,89 hectares correspondendo a 13,31% de área sem cobertura vegetal, 5,55 hectares equivalentes a 18,99% com baixo vigor, 7,12 hectares equivalentes a 24,36 % com médio vigor e 12,66 correspondendo a 43,32% hectares com alto vigor. Portanto, percebe-se um bom nível de vigor nas árvores como resultado de uma boa qualidade do local e de uma boa qualidade da planta, além das condições edafoclimáticas do local.

**Palavras-chave:** NDVI, Plantação florestal, Drone.

## Introducción

La superficie total de las plantaciones forestales existentes en el mundo oscila entre 120 y 140 millones de hectáreas. Estas están en aumento tanto en los países templados como en los tropicales. Especialmente en los trópicos, el ritmo de establecimiento de plantaciones (2-3 millones de hectáreas al año) duplica el de los años sesenta y setenta (FAO, 1992; Evans, 1992). La finalidad de las plantaciones es la producción industrial o la utilización doméstica de la madera en forma de postes para la construcción, leña y forraje.

Según la FAO (2020) las plantaciones forestales abarcan alrededor de 131 millones de hectáreas, el cual representa el 3% de la superficie forestal y un 45% de la superficie total de bosques plantados. En América del Sur, se encuentra una proporción alta de plantación forestal representa un 99 % de la superficie total de bosque plantado y el 2 % de la superficie forestal total.

La mayor extensión de plantaciones productivas se encuentra en Asia, donde totalizan 44,4 millones de hectáreas. La segunda región con mayor extensión de plantaciones forestales es Europa, seguida de la región América del Norte y Central con 21,65 y 17,65 millones de hectáreas respectivamente.

En el Ecuador el 34,7% de la superficie nacional está cubierta por bosques, el 98.5% son bosques naturales, las plantaciones no superan el 1.5% restante del patrimonio forestal (Grijalva et al., 2012). Durante el período 2007-2010, la madera autorizada para aprovechamiento con el 58,5%, correspondió a plantaciones forestales (Palacios & Quiroz, 2012).

En el período 1990-2018 la remanencia de los bosques nativos del Ecuador se redujo de 68% a 56% del área forestal original teórica. Aproximadamente el 86% del área agropecuaria, de acuicultura y plantaciones en el 2018 fue creada mediante la transformación de bosques naturales. La especie *Pinus radiata* D. Don es una de las especies exóticas que mayormente predomina en climas templados y suelos diversos (Carle et al., 2009). Después del eucalipto es la segunda especie plantada en la serranía ecuatoriana de alta capacidad productiva que prospera en suelos de textura media con pH desde ácido a neutro y con buen drenaje. Entre 1800 a 3500 msnm, con una precipitación de 800 a 1300 mm y una temperatura de 11 a 17 °C (Ecuador Forestal, 2013). En la región sierra, esta especie es priorizada para la reforestación con fines comerciales debido a su adaptabilidad, rápido crecimiento y rentabilidad (MAGAP, 2015, p.42).

El estudio de los Índices de Vegetación Normalizados (NDVI), obtenidos a partir de la toma de fotos aéreas con drones y cámara multiespectral, permite zonificar las plantaciones por niveles de vigorosidad. Estos niveles, a su vez, pueden asociarse con zonas de buen o mal crecimiento, permitiendo en los sitios de bajo crecimiento realizar acciones de manejo puntuales para mejorar las condiciones de sitio y así minimizar o reducir las posibilidades de enfermedades en las plantaciones. (Sánchez et al, 2016), demostraron en estudios realizados con drones la gran utilidad de estos equipos para el seguimiento y evaluación de actividades agroforestales. Por otra parte, las limitaciones determinadas por la distancia y las grandes extensiones a ser objeto de análisis pueden ser mitigadas por la disponibilidad de información captadas por estos sensores remotos (Jobbágy et al., 2002); (Knapp y Smith, 2001).

Este índice es utilizado en todo el mundo, para hacer el seguimiento a fenómenos como: sequías, supervisión y predicción de zonas con riesgo de incendios, cartografiar desertización, compensación de cambios en condiciones de iluminación, pendiente de la superficie, orientación, entre otros (Lillesand, Kiefer & Chipman, 2007).

La aplicación de tecnologías geoespaciales es cada vez más relevante para estimar y monitorear parámetros forestales en períodos cortos (Foody et al., 2003; Hall et al., 2006) (Fuchs et al., 2009) (Sobrinho et al., 2019) (Verbesselt et al., 2010)

De acuerdo con Herold *et al.* (2011) existe un particular interés en el manejo forestal del uso de sensores remotos para la estimación de atributos forestales, ya que favorecen la obtención de datos consistentes, actualizada y espacialmente explícita en áreas de difícil acceso y con amplia cobertura. Al respecto, la estimación de parámetros forestales a partir de la combinación del uso de sensores remotos y de sitios de campo georreferenciados (sitios permanentes) se han convertido en técnicas útiles y confiables para estimar variables como el volumen forestal, el área basal y la biomasa forestal aérea (Hernández-Ramos *et al.*, 2020) (López-Serrano *et al.*, 2020).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el nivel de vigorosidad de la plantación a través de índices espectrales (NDVI), con el propósito de que sirva de base para la implementación de un manejo forestal sostenible y sustentable que permita un mejor rendimiento volumétrico a la hora de la cosecha final.

## Metodología

### Área de Estudio

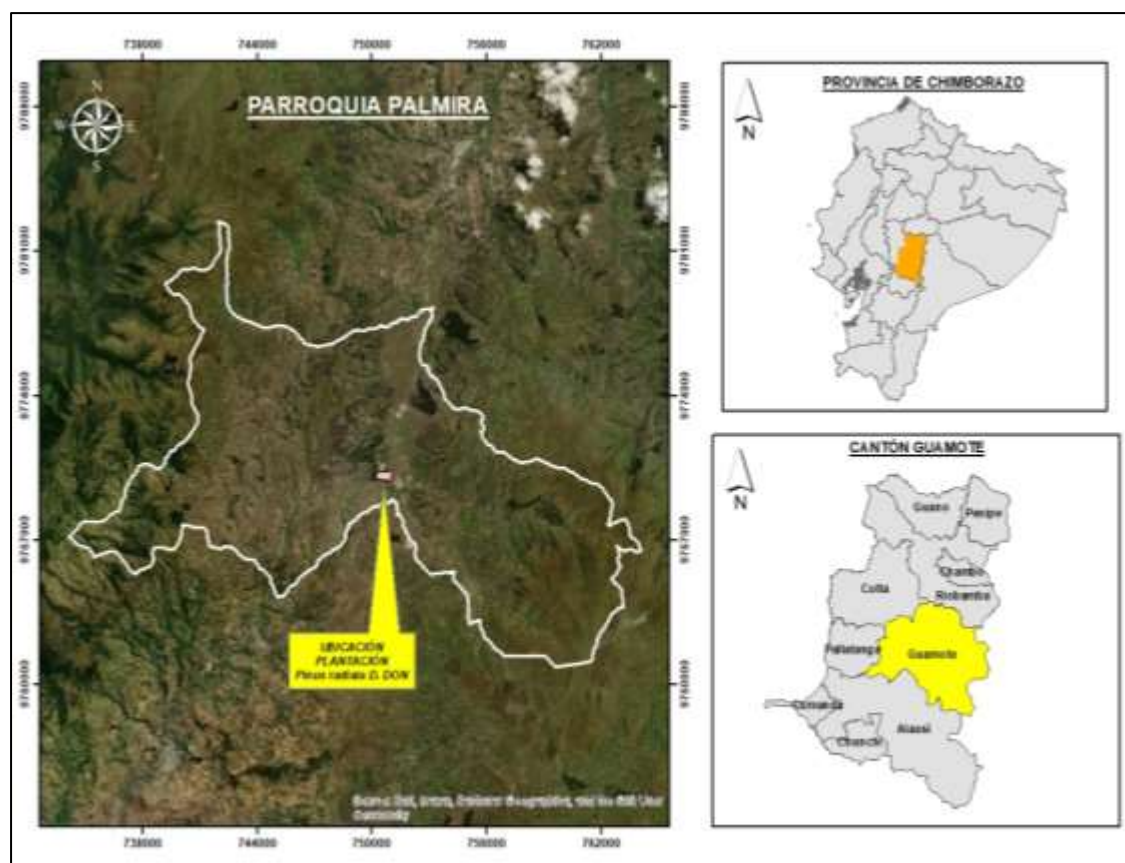
La parroquia Palmira se encuentra ubicada al sur occidente de la provincia de Chimborazo (Figura 1), pertenece al cantón Guamote. Presenta las siguientes características geográficas y climáticas:

<b>Latitud</b>	750612
<b>Longitud</b>	9770161
<b>Temperatura</b>	9-13 C
<b>Altitud</b>	2560-4200 msnm
<b>Precipitación</b>	681,35 mm
<b>Velocidad del viento</b>	13,46 m/s
<b>Humedad relativa</b>	96,8%
<b>Clima</b>	Invierno húmedo frío en los meses de octubre a mayo, verano cálido seco y ventoso de junio a septiembre.
<b>Topografía</b>	La mayor parte del área presenta pendientes pronunciadas las que en algunos casos sobrepasan el

	50%. Los territorios de las comunidades tienen pendientes superiores al 10%
--	---

Fuente: PDOT Palmira (2019)

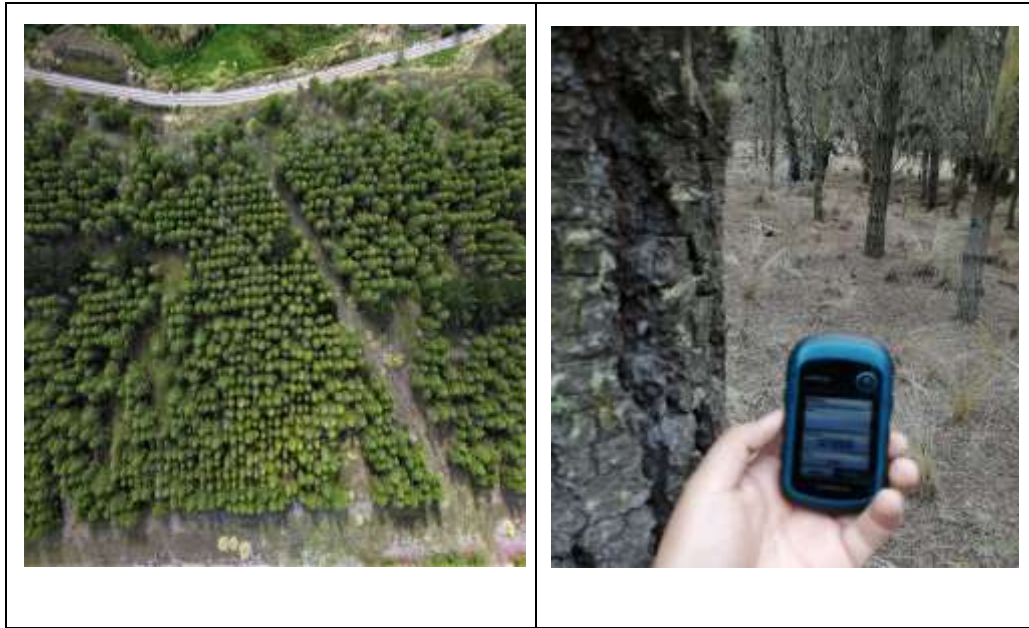
Una vez localizada la plantación, se realizó el recorrido y reconocimiento, con el acompañamiento de técnicos de investigación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se analizó in-situ las características dasométricas de los árboles cumpliendo ciertos parámetros primordiales como homogeneidad, diámetros, alturas totales y comerciales, raleos, estado fitosanitario y área basal



**Figura 1.** Ubicación de plantación forestal

### **Levantamiento cartográfico y fotogramétrico**

Con la ayuda de un GPS, se tomó las coordenadas geográficas UTM (latitud y longitud) de los perímetros de cada zona de la plantación, posteriormente, con el uso de un DRON MULTIESPECTRAL se capturó las fotografías aéreas. El área neta de la plantación permitió definir el número de parcelas a implementar.



**Figura 2.** Vista aérea y geolocalización de unidades de muestreo

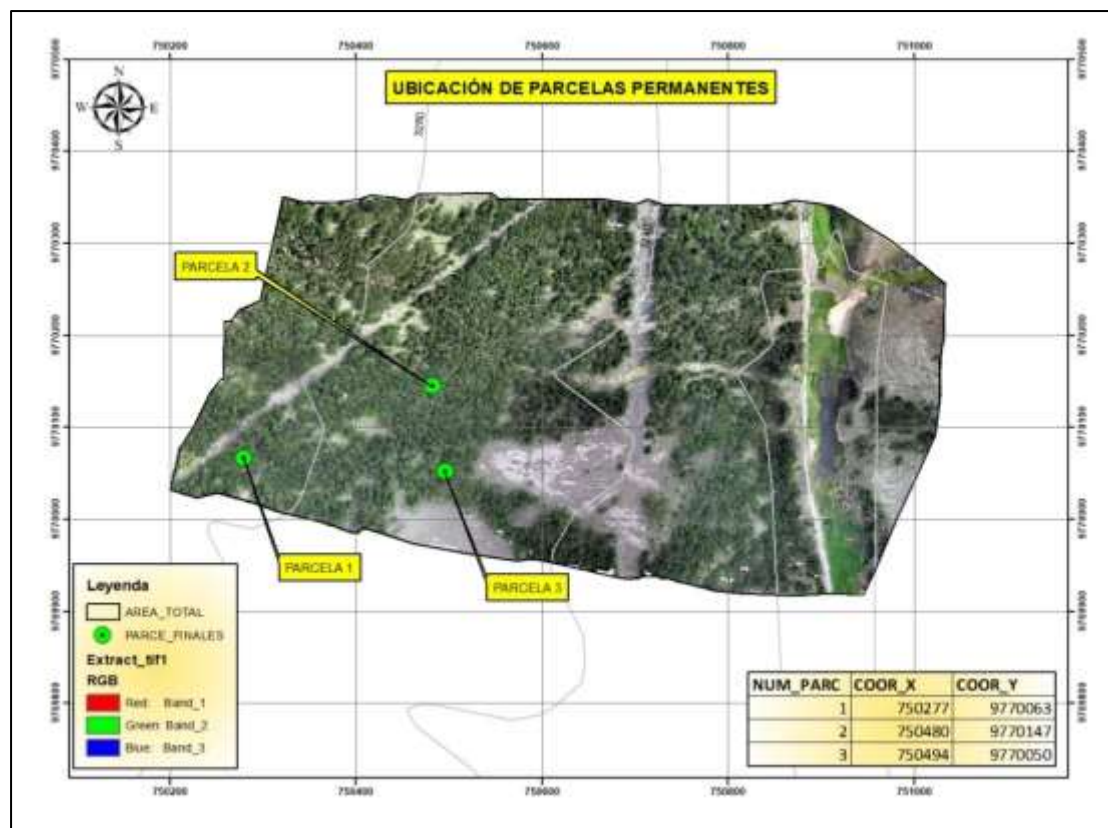
### **Determinación del tipo de muestreo y número de parcelas**

Se usó el muestro al azar realizando tres unidades de muestreo circulares de radio  $12,62 \text{ m}^2$ , lo que equivale a un área de  $500 \text{ m}^2$ , este tipo de parcela se aplicó debido a las facilidades que presentó el rodal en términos de transitabilidad y manejo silvicultural (FERREIRA, O.1994).

### **Registro de datos dasométricos**

Para la medición del DAP se utilizó la forcípula, esta la ubicamos a la altura del pecho, es decir,  $1.30 \text{ m}$  en todos aquellos árboles que estaban dentro del sitio de muestreo y que tenían un diámetro igual o superior a  $10 \text{ cm}$ , por ser considerados como árboles aprovechables.

En cuanto a la altura total y comercial, se manejó el clinómetro SUUNTO tanto en grados como en porcentaje.



**Figura 3.** Distribución de parcelas de monitoreo

### Toma de variables cualitativas

A cada uno de los árboles de la parcela se le asignó un valor entre 1 y 4 el cual determinó el nivel de su estado fitosanitario. La pérdida de vigor se evaluó en base a los códigos que van de PV0 a PV3.

N	Pérdida de Vigor	Código
1	Cuando el árbol está totalmente sano y no presenta pérdida de vigor.	<b>AV0</b>
2	El árbol presenta pocos síntomas de pérdida de vigorosidad.	<b>AV1</b>
3	El árbol tiene síntomas avanzados de pérdida de vigorosidad. Clorosis	<b>AV2</b>
4	La pérdida de vigor en los árboles es muy alta. El árbol está cerca de morir o muerto.	<b>AV3</b>

Fuente: Autor



## Procesamiento y análisis

Mediante los datos obtenidos de las variables cualitativas y cuantitativas de las unidades de muestreo y los análisis del Índice de Vegetación Normalizada de Vegetación en las fotografías obtenidas del área, se determinó la correlación existente entre los valores obtenidos de las observaciones en campo versus los valores NDVI a partir de fotos (Cargua, 2018).

El Índice de diferencia normalizada de vegetación se calcula a partir de la siguiente formula:

$$\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

Donde:

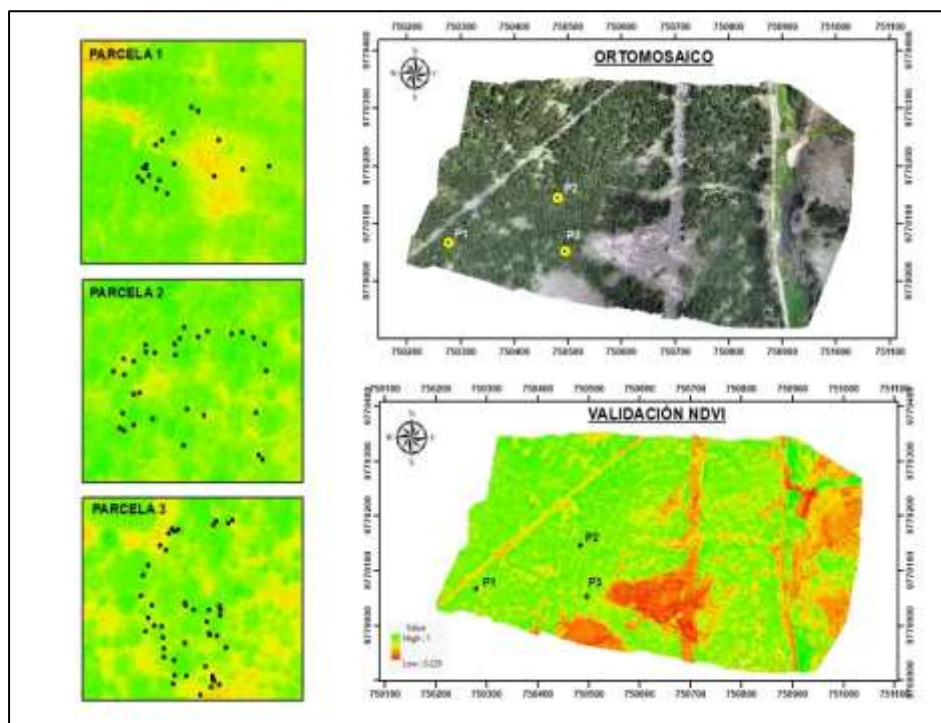
**NIR:** Reflectancia espectral del canal infrarrojo cercano

**RED:** Reflectancia en el canal del rojo visible

Una vez encontradas las correlaciones, se realizó el método inverso; con el uso de las fotografías se determinaron los valores para otros sitios fuera de las parcelas de monitoreo. Estos valores se verificaron en campo para validar las correlaciones existentes entre los análisis NDVI a partir de las fotografías versus los datos reales de campo.

Para el proceso del análisis NDVI de las imágenes multiespectrales se empleó el software de información geográfica ArcGIS 10.6.1

## Resultados y discusión



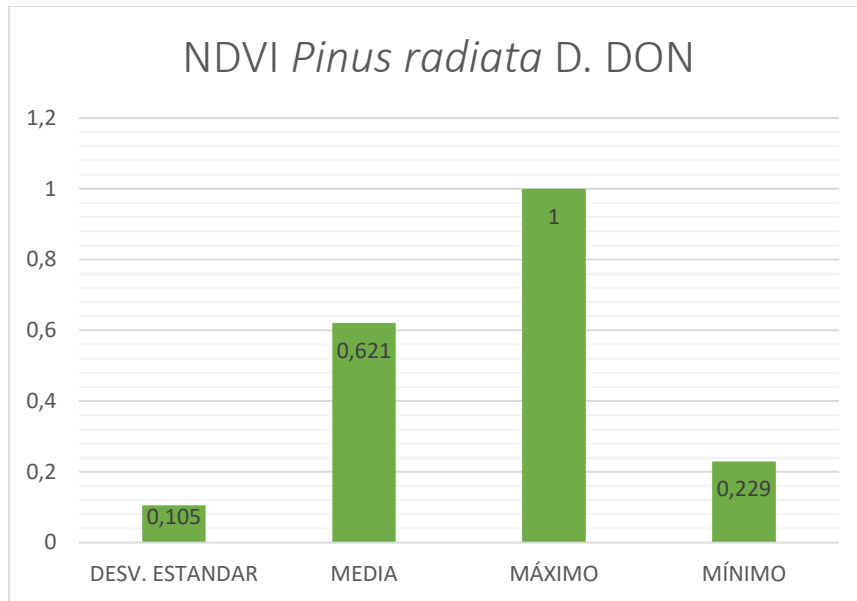
**Figura 4.** Valores NDVI por parcela

Con las imágenes obtenidas en el vuelo realizado con el uso del dron con cámara multispectral que trabaja con cuatro bandas (Red, Blue, Green y NIR). Se obtuvo el mapa de reflectancia sin corrección radiométrica, el cual fue procesado con el software ArcGIS 10.6.1 (Plaza, 2020)

La cantidad de árboles fueron diferentes en cada parcela, lo que concuerda con que las condiciones del sitio, orografía y orientación en que se encuentren los sitios muestreados tienen influencia sobre las mediciones. Otra variable por considerar es la edad de la plantación, asumiendo por sus características dasométricas que se trata de un rodal coetáneo.

Para el proceso del análisis NDVI de las imágenes multispectrales se empleó el software Pix4D. Los datos obtenidos, de los análisis de imágenes y del monitoreo en campo se analizaron de igual manera en los softwares antes mencionados. Los valores de los índices encontrados mediante los análisis NDVI, se contrastaron con los valores de los índices encontrados en la valoración del estado fitosanitario de los árboles.

La dinámica del NDVI permite identificar una firma funcional para cada tipo de vegetación puesto que captura diferencias que van más allá de su rango de factores climáticos (Alcaraz et al., 2009).



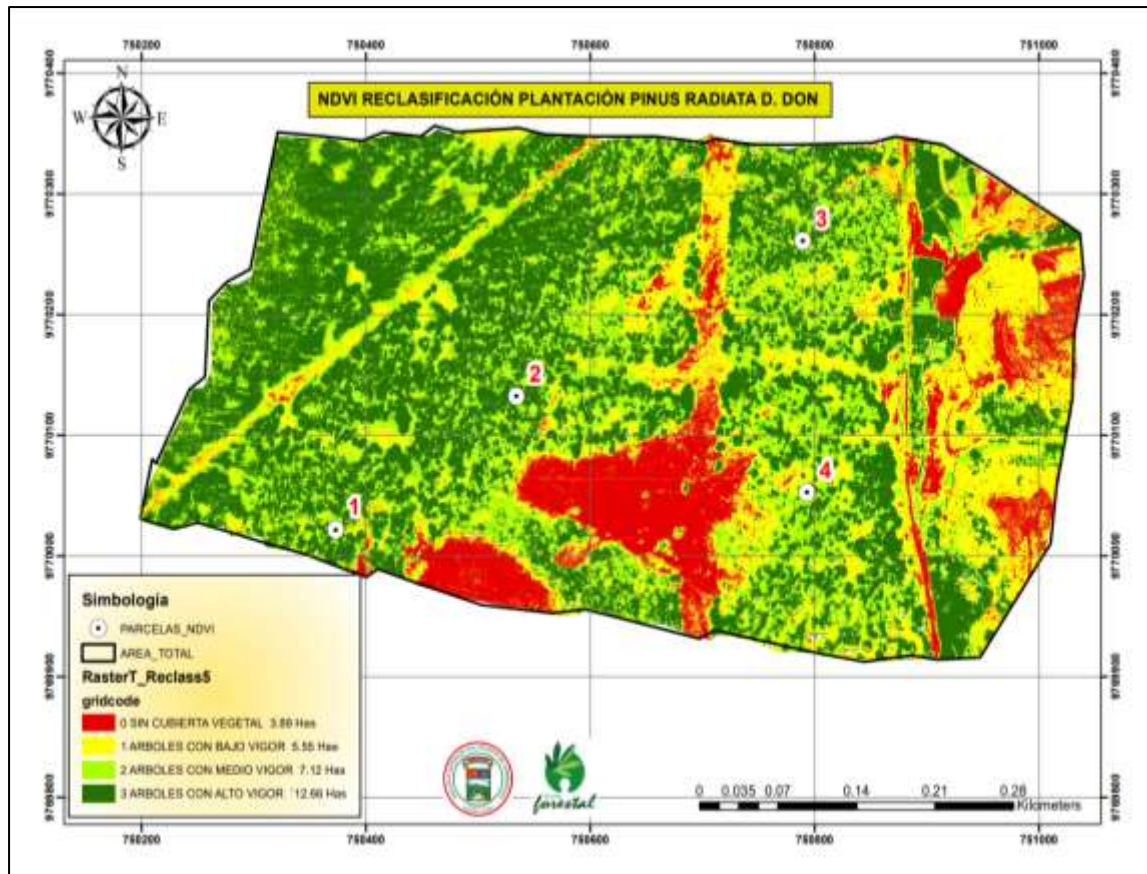
**Figura 5.** Valores NDVI de plantación forestal *Pinus radiata* D. Don

La figura N<sup>o</sup> 5 para el año 2023 muestra un valor mínimo de 0.23 su valor máximo corresponde a 1, con una media de 0.62 y una desviación estándar de 0.10. Según Robalino (2021), en su estudio “Análisis multitemporal de la evolución de Plantaciones de Pino establecidas en la parroquia Palmira, cantón Guamote, con la aplicación de tecnologías geoespaciales” mediante imágenes satelitales obtuvo los siguientes resultados para el año 2014, un valor que oscila entre 0.082 a 0.864, se puede observar que el valor máximo es cercano al 1 y se encuentran en mayor cantidad a los años anteriores.

Según Robalino (2021), para el año 2019 obtuvo un valor que oscila entre 0.063 a 0.897, igual que en el caso anterior se puede observar según datos positivos obtenidos son valores altos cercanos a 1, con valores dispersos en toda el área de la zona representada por la existencia de vegetación densa.

Según Morocho (2018), en el análisis espacio temporal en Atapo – Palmira en el periodo del 2001 al 2017, se obtuvo valores máximos para el NDVI en el año 2017, los cuales oscilan entre 0,025 a 0,538, de tal modo los datos comparados no presentan similitud, esto se debería a la presencia de una temporada invernal al momento de la selección de imágenes satelitales, lo que aumenta el NDVI de la cobertura vegetal.

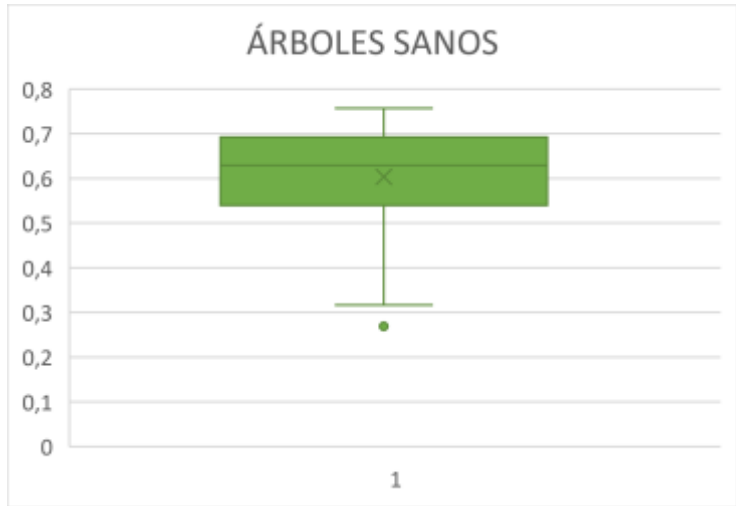
El índice NDVI presenta un valor máximo de 0,86 según (Mejía et al., (2023) encontrando resultados más precisos en la estimación de este índice. En un estudio denominado Estimación de biomasa y carbono con herramientas de teledetección en bosques secos tropicales del Tolima, Colombia.



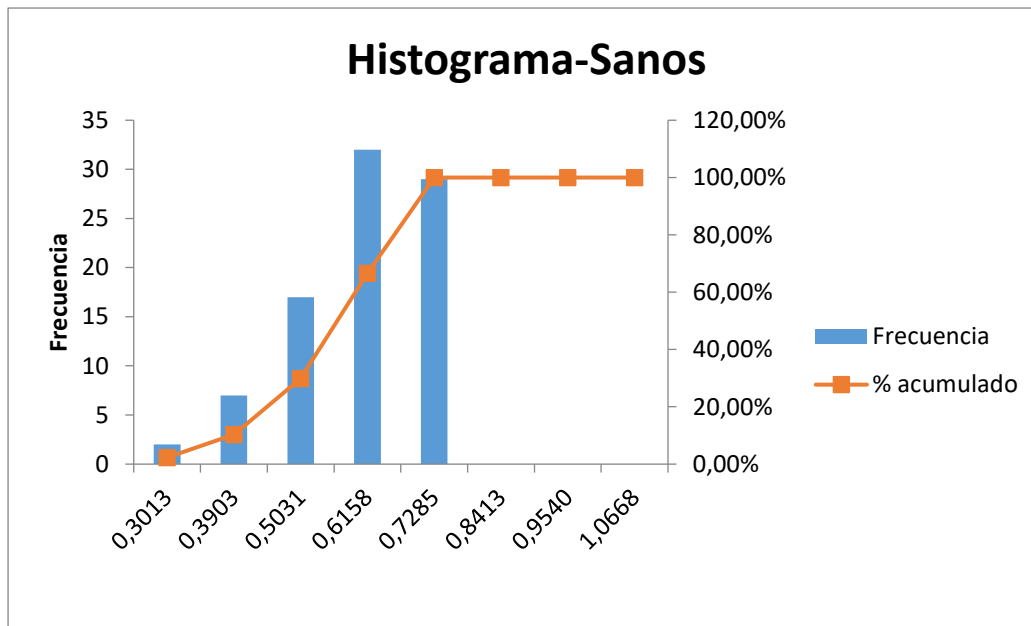
**Figura 6.** Reclasificación de NDVI por coberturas

Mediante el software ArcGIS 10.6.1 con la herramienta Arc Toolbox en la opción Raster Reclass se obtuvo los valores por las siguientes categorías: 3.89 Has correspondiente al 13.31% (Área sin cubierta vegetal), 5.55 Has equivalente al 18.99% (Árboles con bajo vigor), 7.12 Has correspondiente al 24.36% (Árboles con medio vigor) y finalmente 12.66 Has equivalente al 43.32% (Árboles con alto vigor).

<b>Análisis Estadístico - Árboles Sanos</b>	
Media	0.603390659
Error típico	0.012017742
Mediana	0.629321
Desviación estándar	0.112736409
Varianza de la muestra	0.012709498
Curtosis	0.253237656
Coefficiente de asimetría	-0.888800824
Rango	0.487839
Mínimo	0.268567
Máximo	0.756406
Suma	53.098378
Cuenta	88
Nivel de confianza(95.0%)	0.023886563



**Figura 7.** Gráfico de cajas y bigotes de árboles sanos



**Figura 8.** Histograma de valores NDVI árboles sanos

En las figura 7 y 8 se puede observar la interpretación realizada mediante gráficos de cajas y bigotes e histograma, los árboles con alto nivel de vigorosidad se encuentran en el rango 0.6158 – 0.7285, además se evidencia una tendencia similar en las evaluaciones con el NDVI y las mediciones directas en campo. La medición del estado de los bosques cuenta con un alto reconocimiento, las que han sido utilizadas para monitorear los cambios ocurridos en la plantación forestal (Coppin y

Bauer 1996) (Hame *et al.*, 1998) (Fraser *et al.*, 2005) (Panigrahy *et al.*, 2010), y la evaluación de las perturbaciones forestales, ya sean antropogénicas o naturales, las que dependen cada vez más de datos detectados a distancia (Sader *et al.*, 2003).

El NDVI obtenido en campo son valores elevados, aproximados a 1, siendo vegetación densa densa y sana según Gonzaga (2014).

Esta respuesta de la plantación forestal está ligada con una alta productividad primaria neta, lo que coincide con lo reportado por algunos autores (Paruelo *et al.*, 2000, 2004; Piñeiro *et al.*, 2006).

Por otra parte (Oliveira *et al.*, 2016), indica que la eficiencia en el uso del agua y el mejoramiento de las condiciones fotoquímicas arroja valores aceptables del NDVI.

Análisis estadístico Árboles con Clorosis	
Media	0.37837938
Error típico	0.03013377
Mediana	0.3807079
Desviación estándar	0.067381157
Varianza de la muestra	0.00454022
Curtosis	-1.123009403
Coefficiente de asimetría	-0.374689016
Rango	0.167537
Mínimo	0.28605
Máximo	0.453587
Suma	1.8918969
Cuenta	5



Figura 7. Gráfico de cajas y bigotes de árboles muertos

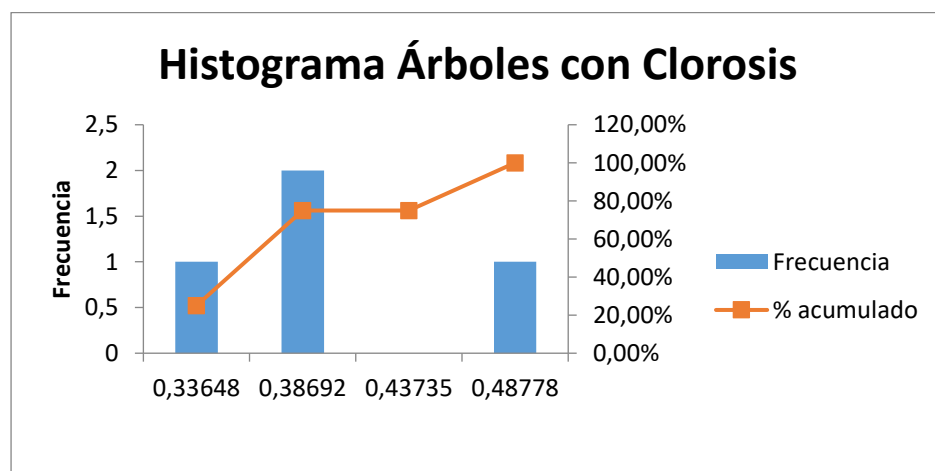


Figura 9. Histograma de valores NDVI de árboles muertos

En el histograma, mostrado en la Figura. 9 los árboles que presentan menor nivel de vigorosidad se encuentran en un rango que va desde los 0.33648 hasta 0.48778, estos presentan una coloración amarillenta en sus acículas debido a la alta humedad y al poco manejo que presentó el rodal. Con la llegada del verano presentó una mejoría lo cual conlleva a elevar su valor NDVI.

Según (Paruelo, 2004). Los datos proporcionados por las imágenes Landsat TM nos permitieron generalizar la información de campo tanto para las características estructurales (fisonomía de la vegetación) como funcionales (ANPP) de los ecosistemas de una extensa área de la Patagonia. A partir de información espacialmente explícita sobre la estructura de la vegetación, el funcionamiento del ecosistema y los factores abióticos, se pudo describir patrones regionales y generar hipótesis cuantitativas sobre los controles abióticos y bióticos de los atributos ecológicos. La estructura florística y fisionómica (proporción de tipos funcionales de plantas) de la vegetación de las estepas patagónicas no estuvieron relacionadas. Muchas de las estepas herbáceas-arbustivas, estepas herbáceas de cubierta baja y semidesiertos mapeados en el análisis correspondían a estados degradados, ya sea por sobrepastoreo (León & Aguiar, 1985) o por incendios accidentales. A pesar de los cambios en la abundancia de PFT o la cobertura total, muchas de las especies de la comunidad vegetal original permanecen en estados degradados. Por ejemplo, los semidesiertos, que cubrían el 10% del área, se presentaron como grandes parches hacia el este, en los ambientes más secos de la región.

Estos resultados son similares con lo reportado por (Kelly, 2002) e (Ismail et al., 2006) que demuestran que las imágenes de NDVI, en comparación con otros índices de vegetación, puede evaluar mejor las afectaciones de la población forestal.

En un estudio mencionado por Sánchez (2020) se encontró que el índice NDVI muestra que a manera que se incrementa la densidad, también lo hace la importancia de las especies, proyectando su permanencia en la cobertura vegetal. Este índice comienza a saturar cuando la cubierta vegetal es superior a 50%, y no es sensible al verde cuando la cubierta vegetal es baja. Sin embargo, puede sobre o subestimar la cubierta vegetal, dando información errónea en algunas zonas (Zhongming et al., 2010)

Por otro lado, Alatorre et al (2010) analizaron la evolución espacio temporal del índice NDVI en áreas con distinta cantidad de cobertura vegetal y determinaron que el clima influye sobre la

vegetación al igual que la temperatura resultó ser el factor más explicativo, mientras que la precipitación influyó.

### Conclusiones

- Los niveles de vigorosidad detectados por la cámara multispectral mediante el índice NDVI en el rodal fueron diferentes y fluctuaron en los siguientes rangos: 3.89 Has (correspondiente a caminos y áreas sin plantar), 5.55 Has (6166 árboles bajo vigor/enfermos), 7.12 Has (7910 medio vigor/árboles sanos) y 12.66 Has (14065 con alto vigor/árboles dominantes).
- Los porcentajes de índices de vegetación encontrados a través de la foto aérea muestran tendencias similares a los resultados obtenidos a través de la toma de datos en campo de cuatro parcelas de monitoreo instaladas. Se obtuvo el mapa multispectral con el índice de vegetación NDVI para el área neta de la plantación, identificándose los diferentes estados de vigorosidad y salud.

### Referencias

- Alatorre, L., Beguería, S. Y Vicente-Serrano, S. (2010). Análisis de la evolución espacio-temporal del NDVI sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el Pirineo central. *Revista de Ecología de Montaña*. Vol. 165, 7-27.
- Alcaraz, D., Cabello, J., & Paruelo, J. (2009). Caracterización de la línea base de los principales tipos de vegetación ibérica basada en la dinámica del NDVI. *Plant Ecology*, 202(1), 13-29. <https://doi.org/10.1007/s11258-008-9555-2>
- Cargua, F. (2018). Evaluación del estado de conservación del bosque de ceja andina sur occidental del Parque Nacional Sangay, para una mejor gestión del recurso forestal.
- Carle, J., J, B., & A, d. (2009). The Global Thematic Study of Planted Forests. In: *Planted Forests. Uses, Impacts And Sustainability*. J. Evans. FAO, CABI.
- Coppin PR, Bauer ME (1996) Digital change detection in forest ecosystems with remotely sensed imagery. *Remote Sens Rev* 13:207–234
- ECUADOR FORESTAL. “Ficha Técnica N° 13 pino (*Pinus radiata*) [en línea], 2013. [Consulta: 5 febrero 2021]. Disponible en: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-13-pino-pinus-radiata/>.



- FAO. 2020. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020.
- Ferreira J, Herrera R, Labidi J, Esteves B, Domingos I (2018). Energy and environmental profile comparison of TMT production from two different companies a Spanish/Portuguese case study. *iForest* 11: 155-161. – doi: 10.3832/ifor2339-010 [online 2018- 02-07].
- Foody, G. M., D. S. Boyd and M. E. J. Cutler. 2003. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sensing of Environment* 85: 463-474. Doi:10.1016/S0034-4257(03)00039- 7.
- Grijalva, J. (2012). Situación de los recursos genéticos forestales en Ecuador. Informe país Ecuador. Quito.
- Gonzaga, C. (2014). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador [Tesis, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/34487>
- Hernández-Ramos, J., X. García-Cuevas, R. Pérez-Miranda, A. González-Hernández y L. Martínez-Ángel. 2020. Inventario y mapeo de variables forestales mediante sensores remotos en el estado de Quintana Roo, México. *Madera y Bosques* 26(1):e2611884. Doi:10.21829/myb.2020.2611884
- Herold, M., R. M. Román-Cuesta, D. Mollicone, Y. Hirata, P. Van Laake, G. P. Asner, C. Souza, M. Skutsch, V. Avitabile and K. Macdicken. 2011. Options for monitoring and estimating historical carbon emissions from forest degradation in the context of REDD+. *Carbon Balance and Management* 6: 1-13. Doi:10.1016/j.rse.2009.08.014
- Jobbágy, E., Sala, O., Paruelo, J. (2002). Patterns and control of primary production in the Patagonian steppe: a remote sensing approach. *Ecology* 83: 307-319.
- Kelly NM. 2002. Monitoring Sudden Oak Death in California Using High-resolution Imagery. [place unknown]. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR184, 799-810.
- León, RJC & Aguiar, MR (1985) El deterioro por uso de pasturil en estepas herbáceas patagónicas. *Phytocoenologia*, 13, 181–196
- Lillesand, T., Kiefer, R., & Chipman, J. (2007). *Remote sensing and image interpretation*, 6.
- Mejía, C. E., Andrade, H. J., & Segura, M. (2023). Estimación de biomasa y carbono con herramientas de teledetección en bosques secos tropicales del Tolima, Colombia. *Revista de Teledetección*, 62, Article 62. <https://doi.org/10.4995/raet.2023.19242>.

- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. MAGAP. (2015). Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales. Guayaquil, Ecuador: MAGAP.
- MOROCHO GUALÁN, Rut Noemí. Análisis espacio-temporal de la dinámica de cambio del uso de suelo y cobertura vegetal en respuesta al sistema de riego presurizado Atapo-Palmira (2010-2017) [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. [Consulta: 2021-02-21]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4937/1/UNACH-EC-ING-AMBT-2018-0014.pdf>.
- Oliveira, P. E. ; Cunha, A. G. ; Reyes, G. ; Gacitúa, W. ; Petit-Breuilh, X., 2016. Chusquea quila, a natural resource from Chile: its chemical, physical, and nanomechanical properties. *BioResources*, 11 (4): 10057-10069.
- Palacios , W., & Quiroz, H. (2012). Sondeo de percepciones sobre la rentabilidad del aprovechamiento de madera por pequeños propietarios. Proyecto USAID Costas y Bosques sostenibles. Quito, Ecuador .
- Paruelo, J., Golluscio, R., Guershman, J., Cesa, A., Jouve, V., Garbulsky, M. (2004). Relation scale relationships between ecosystem structure and functioning. The case of the Patagonian steps. *Global Ecology and Biogeography* 13: 385-395.
- Paruelo, J., Oestetheld, M., Di Bella, C., Arzadium, M., Lafontaine, J., Cahupé, M., Rebella, X. (2000). Estimation of primary production of subhumid rangelands form remote sensing data. *Applied Vegetation Science* 3: 189-195.
- PDOT PALMIRA. “Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Palmira 2019 – 2023”. [en línea], 2019. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.palmira.gob.ec/images/pdf/PDOTPALMIRA.pdf>.
- Plaza, H. (2020). Niveles de vigorosidad de plantaciones de teca, (*tectona grandis*), mediante índices de vegetación. en cantón buena fe, año 2020.
- Robalino, J. (2021). Análisis multitemporal de la evolución de plantaciones de pino establecidas en la parroquia palmira, cantón guamote, mediante la aplicación de tecnologías geoespaciales
- Sader SA, Bertrand M, Wilson EH (2003) Satellite change detection of forest harvest patterns on an Industrial forest landscape. *For Sci* 49:341–353.

Sánchez, L; Marcos, R; Herrero, E; Hernández, S; Carrión, P; 2016. Aplicación de tecnologías de detección al estudio de biomasa forestal. Artículo Científico. Revista Ibérica de Sistemas de Tecnologías de Información. Río Tinto, Portugal. Pp.61-76.

Sánchez, C. (2020). Caracterización de la cobertura vegetal boscosa del Sector Sur de la Poligonal Olmos Proyecto Especial Olmos Tinajones (PEOT) mediante teledetección (imagen de satélite Landsat). <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8463>

Zhongming, W., Lees, B. G., Feng, J., Wanning, L., & Haijing, S. (2010). Stratified vegetation cover index: A new way to assess vegetation impact on soil erosion. *Catena*, 83, 87-93. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.07.006>

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).