



Scientia Agropecuaria

Web page: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo



RESEARCH ARTICLE

Spatial and temporal evolution of olive cultivation due to pest attack, using remote sensing and satellite image processing

Evolución espacial y temporal de cultivo del olivo por efecto del ataque de plagas, utilizando sensoramiento remoto y procesamiento de imágenes satelitales

Edwin Pino-Vargas^{1*} ; Germán Huayna²

¹ Departamento de Ingeniería Civil, H2O-UNJBG, Grupo de Investigación del Agua, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna 23000, Perú.

² H2O-UNJBG, Grupo de Investigación del Agua, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna 23000, Perú.

* Corresponding author: epinov@unjbg.edu.pe (E. Pino-Vargas).

Received: 11 December 2021. Accepted: 19 April 2022. Published: 6 June 2022.

Abstract

Climate change, as well as the appearance of pests and diseases, are affecting olive plantations (*Olea europaea* L.) and the production of olives in the world, therefore, there is an urgent need for tools to help us identify the spatial and temporal evolution of the olive groves, regarding the attack of pests, in this case, the *Orthezia olivicola* and the olive borer *Phloeotribus scarabaeoides*. In this work, we use information from freely available satellite images that allowed us to carry out spatial and temporal analysis and the combination of vegetation indices. For the studied area, according to the values of the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), it was identified that the surface of diseased plants ranges from 42% to 68%, moderately healthy plants from 2% to 18%, and the state of the plantation considered as very healthy plants with a tendency to zero, which means that practically 100% of the olive trees are affected by some level. The temporal variation of the NDVI, DVI, SAVI, GNDVI, EVI2, and MSAVI indices, allowed us to establish the states of affectation as mild, moderate pest attack, the severity of the pest attack added to the water deficit, and very strong pest attack and state of permanent wilting.

Keywords: Olive plague; temporal evolution; remote sensing; spectral signatures; The Yarada; Atacama Desert.

Resumen

El cambio climático, así como la aparición de plagas y enfermedades, están afectando las plantaciones de olivos (*Olea europaea* L.) y la producción de aceitunas en el mundo, por lo tanto, urge la necesidad de contar con herramientas que nos ayuden a identificar la evolución espacial y temporal de los olivares, respecto al ataque de plagas, como la *Orthezia olivicola* y el barrenillo del olivo *Phloeotribus scarabaeoides*. En este trabajo utilizamos información de imágenes satelitales de libre disposición que permitieron realizar el análisis espacial y temporal y la combinación de índices de vegetación. Para la zona de estudio, según los valores del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) se identificó que la superficie de plantas enfermas va de 42% a 68%, plantas moderadamente sanas de 2% a 18%, y el estado de la plantación considerado como plantas muy sanas con tendencia a 0%, lo que significa que prácticamente el 100% de los olivos se encuentran con algún nivel de afectación. La variación temporal de los índices NDVI, DVI, SAVI, GNDVI, EVI2 y MSAVI, permitieron establecer los estados de afectación como leve, ataque de plagas moderado, severidad del ataque de las plagas sumado al déficit hídrico y ataque de plagas muy fuerte asociado al punto de marchitez permanente.

Palabras clave: Plagas del olivo; evolución temporal; sensores remotos; firmas espectrales; La Yarada; Desierto Atacama.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.013>

Cite this article:

Pino-Vargas, E., & Huayna, G. (2022). Evolución espacial y temporal de cultivo del olivo por efecto del ataque de plagas, utilizando sensoramiento remoto y procesamiento de imágenes satelitales. *Scientia Agropecuaria*, 13(2), 149-157.

1. Introducción

El cambio climático global, especialmente el calentamiento global, está afectando la eficiencia de la producción de aceitunas, así como la calidad de sus

productos (Erten & Yildiz, 2011; Ozturk et al., 2021). Por tanto, es de gran utilidad la información oportuna y confiable sobre el manejo, la producción y el rendimiento de los cultivos para garantizar la inocuidad y la seguridad alimentaria (Martos et al., 2021). La mayoría de los cultivos,

incluyendo el olivo (*Olea europaea* L.), son sensibles al estrés hídrico en sus diferentes fases de desarrollo (Nielsen & Nelson, 1998) y, asimismo, las actividades humanas contribuyen significativamente a la propagación mundial de las adversidades fitopatológicas (Buja et al., 2021). Por el contrario, la tecnología de teledetección (RS) permite intervenir para contrarrestar los problemas potenciales antes de que se propaguen ampliamente y se produzca un impacto negativo en la productividad de los cultivos (Khanal et al., 2020).

Es factible centrarse en la reflectancia del dosel para el reconocimiento de cultivares en un olivar y algunas plagas (Assirelli et al., 2021; Avola et al., 2019). La detección temprana de enfermedades de las plantas por síntomas visibles en las primeras etapas del desarrollo de la enfermedad, es posible utilizando teledetección y son fundamentales para la protección del cultivo del olivo (Montes-Osuna & Mercado-Blanco, 2020). La producción de aceitunas es una parte importante en la economía de varios países, por lo tanto, mantener registros del recuento de árboles y el rendimiento de los cultivos es de gran importancia (Daliakopoulos et al., 2009; Waleed et al., 2020).

El uso de la teledetección para mapear la distribución de enfermedades de las plantas ha evolucionado considerablemente en las últimas tres décadas y se puede realizar a diferentes escalas, dependiendo del área a monitorear, así como de la resolución espacial y espectral requerida (Rey et al., 2019). Los datos de temperatura de la superficie terrestre (LST) detectados por los satélites Landsat 8 y MODIS se utilizan como sustitutos de los

servicios ecosistémicos de mitigación del microclima vinculados a la evolución de la cobertura terrestre (Semeraro et al., 2021). De esta forma, se propone un modelo para el monitoreo de plagas basado en imágenes multiespectrales (Zheng et al., 2021); una serie de índices de vegetación y datos meteorológicos, son necesarios para las investigaciones sobre las plagas del olivo bajo el calentamiento global (Caselli & Petacchi, 2021). Asimismo, es factible utilizar el algoritmo LandTrendr y Google Earth Engine para acceder a datos satelitales y explorar la historia de la dinámica de la vegetación y su relación con las plagas (Komba et al., 2021).

En los últimos años, las plagas que afectan con mayor severidad el cultivo del olivo en la irrigación La Yarada, son la "Orthezia olivícola" y el "Barrenillo", reduciendo la producción del cultivo. Las tecnologías digitales permiten detectar, posicionar y cuantificar plagas de forma rápida y precisa (Feng et al., 2022; Pino, 2019a). Para el caso del olivo, estas tecnologías constituyen un mecanismo de identificación de estas plagas en forma remota, rápida, eficaz y sobre todo de bajo costo; en este sentido, el objetivo de este trabajo es caracterizar la incidencia de estas plagas del olivo, usando información de imágenes satelitales de libre disposición que permitan diseñar estrategias de control a gran escala; debido a que estas plagas están relacionadas con varias modificaciones fisiológicas que se reflejan en cambios espectrales, se aplicó el análisis temporal y la combinación de índices de vegetación calculados a partir de imágenes hiperespectrales y térmicas.



Figura 1. (a) Ataque severo de plaga *Orthezia olivicola*. (b) Ataque severo de plaga barrenillo del olivo *Phloeotribus scarabeoides*.

2. Materiales y métodos

Zona de estudio

La zona de estudio se encuentra en la región Tacna (Figura S1, ver en Material Suplementar), en la zona norte del desierto de Atacama, región limítrofe entre Perú y Chile. En esta zona, la disponibilidad de agua para cubrir las demandas para uso poblacional y agrícola son cada vez más escasas (Narvaez-Montoya et al., 2022; Pino, 2019b; Pino et al., 2019, 2020), la fuente principal corresponde al acuífero Caplina, el cual tiene problemas de contaminación por intrusión marina sumado a los problemas de gobernanza y gobernabilidad que se tiene en este sistema (Pino et al., 2017, 2018; Pino, 2021). Esta región se ubica en uno de los principales desiertos del mundo (Stein et al., 2013); tiene clima hiperárido y se atribuye a su ubicación subtropical (Abrook et al., 2019; Bartz et al., 2020; Pino-Vargas et al., 2022).

El cultivo del olivo

El olivo en esta región es de la familia Oleaceae, de origen Mediterráneo y su período vegetativo es prolongado, a los 3 años del injerto se obtiene la primera cosecha. Este cultivo se desarrolla en el Perú en la región Costa o Chala, entre 0 y 200 m.s.n.m, en los departamentos de Tacna, Arequipa, Ica y otros. En la zona de trabajo existen plantaciones de olivos de las variedades Sevillana y Ascolana, con edad entre los 20 y 60 años, en plena producción, instalados en marcos de plantación de 5x5, 7x7 y 10x10 m, bajo riego por goteo.

El olivo es una de las especies de mayor tolerancia a suelos con problemas de salinidad, soporta conductividad eléctrica de hasta 4 dS/m y moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos, con pH entre 5,5 y 8,5 (Pino et al., 2019). Se estima que demanda agua entre 8 mil a 10 mil m³/ha en riego por goteo. En la Tabla S1 (Material Suplementar), se muestra los estados fenológicos, descripción de fases y requerimientos climáticos del cultivo del olivo en el período de enero a diciembre.

El olivo adaptado a ambientes áridos puede constituir recurso genético muy valioso para mejorar la tolerancia al estrés hídrico en el olivo cultivado (Besnard et al., 2021). Este cultivo, se caracteriza por su bajo consumo de agua, debido a la baja conductancia hidráulica del xilema que le

permite evitar la pérdida de agua en días de alta demanda atmosférica (Pino et al., 2019).

Plagas del olivo

Existen varias plagas muy extendidas en el área mediterránea y en varias regiones del mundo en las plantaciones de olivos (Vono et al., 2020). El barrenillo del olivo *Phloeotribus scarabeoides*, es un insecto que se desarrolla principalmente en los olivos, produciendo en algunos casos una importante reducción de la cosecha (González & Campos, 1990; Rodríguez et al., 2003). En la región de estudio, nos centramos en dos plagas del olivo, *Orthezia olivicola* y el barrenillo del olivo *Phloeotribus scarabeoides* (Figura 1), plagas que vienen generando estragos en las plantaciones en gran parte de la irrigación La Yarada, produciendo pérdidas económicas altamente significativas.

Estados de afectación

Se han identificado olivos en 4 estados de afectación por plagas y condiciones de humedad (Figura 2), estableciendo umbrales de afectación. En el caso (a) la afectación es leve, se nota manejo adecuado del riego, labores culturales y sanitarias apropiadas; inclusive se está usando una cobertura geosintética para evitar pérdidas de humedad y a su vez protección contra el desarrollo de malezas. En (b) se nota evidencias de déficit hídrico, y se empieza a evidenciar un ataque de plagas moderado. En (c) se puede notar la severidad del ataque de las plagas sumado al déficit hídrico severo y en (d) ataque de plagas muy fuerte, las plantas ya se encuentran altamente afectadas y en estado de marchitez permanente.

Índices de vegetación

De acuerdo a los estados de los umbrales de afectación identificados, hemos asociado índices de vegetación calculados con las bandas espectrales, de acuerdo a lo mostrado en la Tabla S2 (ver en Material Suplementar), índices NDVI, DVI, SAVI, GNDVI, EVI2 y MSAVI.

Estimar la temperatura de la superficie de la tierra (LST) es cada vez más importante para estudios donde se evalúan las condiciones de la superficie terrestre, por ejemplo, estudios de clima urbano, evapotranspiración y estrés de la vegetación (Ermida et al., 2020; Yang et al., 2021).



Figura 2. Severidad de ataque de las plagas en el olivo en la zona de estudio, desde un estado leve hasta un estado muy grave y en punto de marchitez permanente.

Asimismo, la serie de satélites Landsat tiene el potencial de proporcionar estimaciones LST con alta resolución espacial, lo que es apropiado para estudios locales o de pequeña escala (Burnett & Chen, 2021).

Procesamiento de imágenes

El trabajo se inicia con la adquisición de datos del repositorio Google Earth Engine, LANDSAT/LT05/C01/T1_SR y LANDSAT/LC08/C01/T1_SR, para continuar con la evaluación anual media de imágenes obtenidas del 1 de enero al 31 de diciembre de los años 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020, las cuales se encuentran corregidas radiométrica, atmosférica y geoméricamente a nivel de reflectancia en la superficie terrestre (Figura 3). Este trabajo inicial nos permite calcular los índices de vegetación usando las ecuaciones mostradas en la Tabla S2. Los índices calculados fueron: NDVI, DVI, SAVI, GNDVI, EVI2 y MSAVI; estos índices tienen características especiales propias y se realizó el análisis temporal de cada uno de ellos en el período 1985 a 2020 cada 5 años. Un elemento que se utiliza como referencia y comparación es el LST que también nos permite un análisis del estrés hídrico y estado del cultivo del olivo, en función a los 4 estados de afectación por plagas y condiciones de humedad del suelo.

Rangos de los índices

En la Figura 2 se identificaron los 4 estados de afectación por plagas y condiciones de humedad en el cultivo del olivo (a, b, d y d), por lo tanto, corresponde establecer

numéricamente los umbrales de afectación para cada caso según la Tabla 1; estos valores nos permitieron analizar en forma espacial y temporal el estado de afectación del cultivo.

3. Resultados y discusión

Del análisis de las imágenes satelitales, en la Figura 4a se muestra la variación temporal cada 5 años para el período 1985 a 2020 del comportamiento de la sanidad de la plantación de olivos usando el NDVI y su correlación con la evidencia de campo mostrada en la Figura 2, donde establecimos la severidad de ataque de las plagas en el olivo en la zona de estudio, desde un estado leve hasta un estado muy grave y en punto de marchitez permanente (a, b, c y d).

Las firmas espectrales, brindan la posibilidad de detección temprana de estrés en grandes olivares y ayudaría a los agricultores en la toma de decisiones y la optimización del manejo, la sanidad y la productividad del cultivo (Boshkovski et al., 2022); en la Figura 4b se muestran las firmas espectrales de las plantas moderadamente sanas con baja reflectancia en el espectro visible y una menor reflectancia en las bandas azul y roja, sin embargo, se observa un aumento en la banda verde, lo cual es característico de la clorofila, con una alta reflectancia a lo largo de la longitud de onda 0,85 μm en la zona del infrarrojo cercano. Esto es característico de la vegetación y se asocia al contenido de humedad ya que las hojas verdes absorben poca energía.

Tabla 1
Rango de afectación del cultivo del olivo, según índices de vegetación

Índice de Vegetación	a	b	c	d
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	0,42	0,37	0,25	0,21
Difference Vegetation Index (DVI)	4,18	3,95	2,81	2,12
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	0,63	0,56	0,37	0,31
Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)	0,51	0,46	0,35	0,31
Enhanced Vegetation Index 2 (EVI2)	0,75	0,65	0,41	0,33
Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI)	0,59	0,54	0,40	0,34

Donde: (a) La afectación es leve. (b) Ataque de plagas moderado. (c) Severidad del ataque de las plagas sumado al déficit hídrico. (d) Ataque de plagas muy fuerte y estado de marchitez permanente.

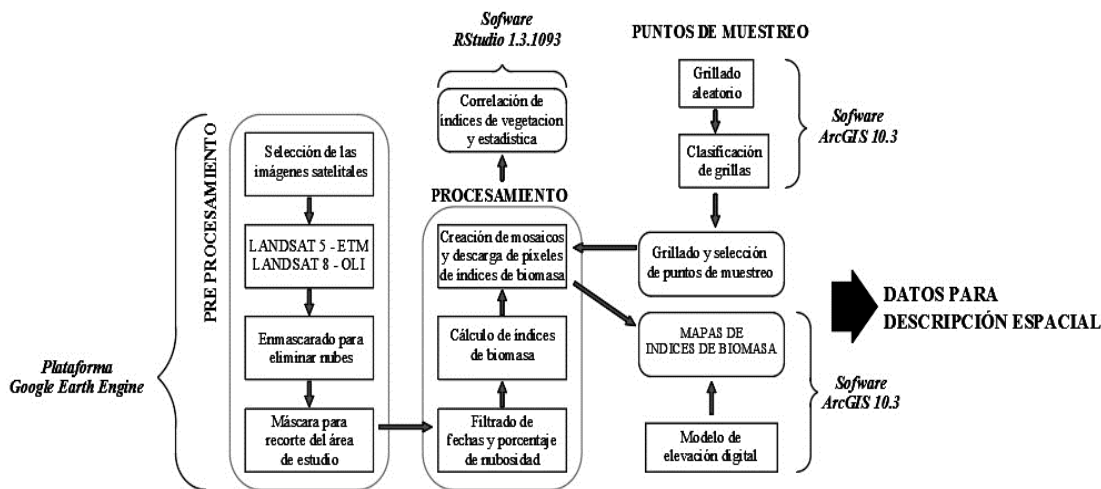


Figura 3. Diagrama flujo para el procesamiento de imágenes satelitales en la plataforma Google Earth Engine, para la obtención de los mapas temporales (1985-2020), y análisis de la variabilidad espacial de los índices de biomasa.

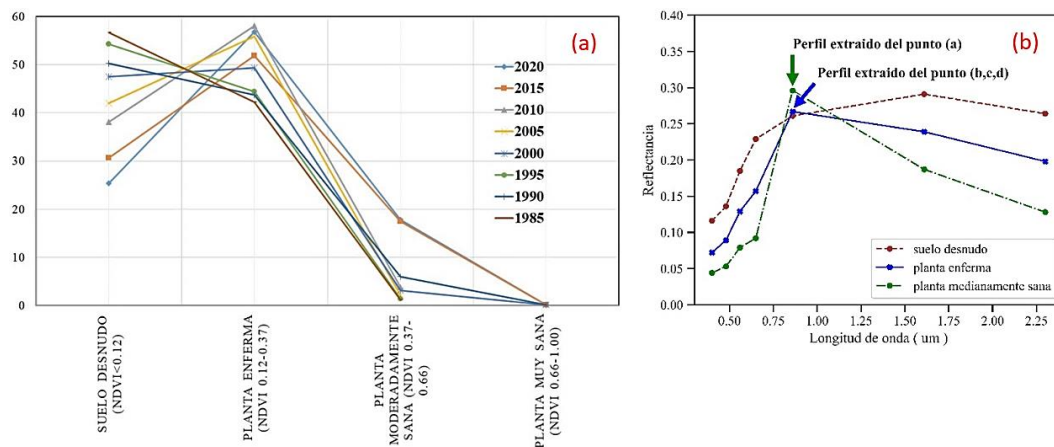


Figura 4. (a) Variación temporal del estado de las plantas período 1985 a 2020 y curvas de reflectancia para suelo desnudo, plantas enfermas y plantas medianamente sanas. (b) Curvas Reflectancia versus Longitud de onda para suelo desnudo, planta enferma y planta medianamente sana.

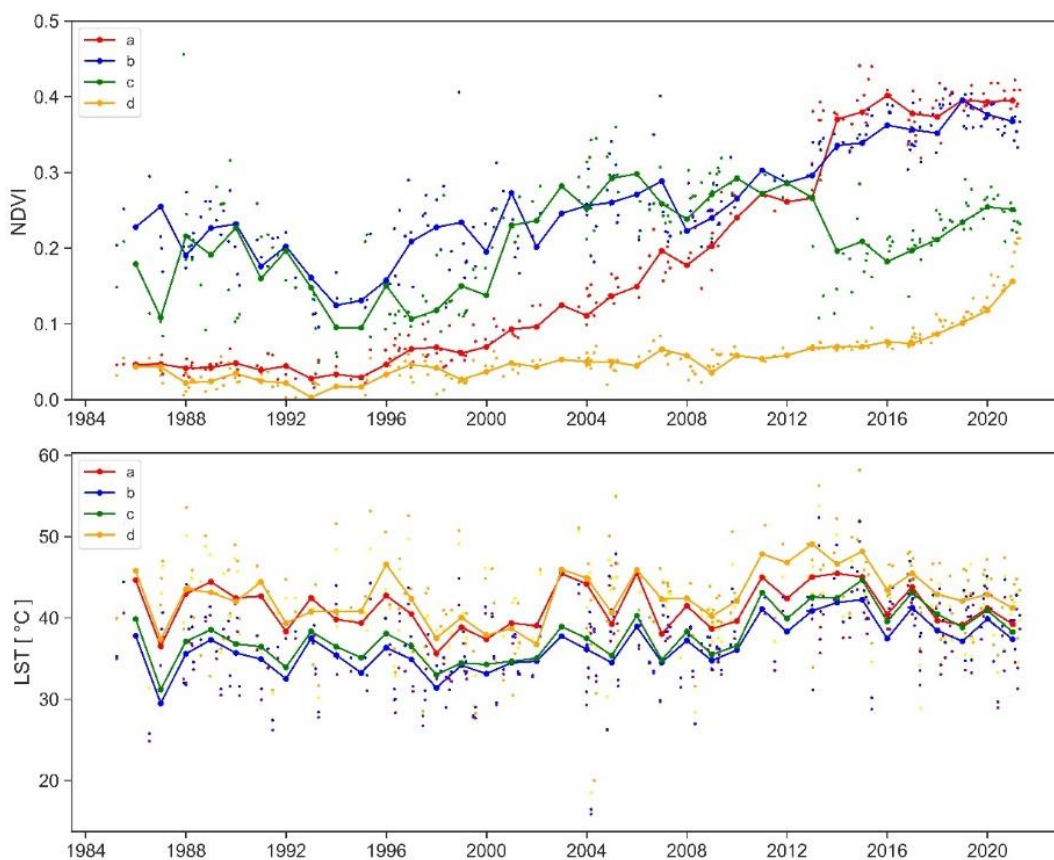


Figura 5. Variación temporal del NDVI y LST en el período 1985 a 2020 en los 4 puntos (a, b, c y d) seleccionados para establecer los rangos en los índices.

En la cobertura de plantas enfermas se puede observar que hay un incremento en la banda verde esto se debe a que hay algún problema en las hojas de la planta ya que hay baja presencia de clorofila y reduce la absorción de la luz solar, haciendo que la planta genere un color diferente. En la zona donde el cultivo presenta valores de NDVI bajos, relacionados al mal estado vegetativo, la banda verde presenta valores más altos de reflectancia

con respecto a los valores de la banda verde de la cobertura moderadamente sana, esto se debe a la presencia de clorofila en esta última cobertura a la que absorbe la radiación y devuelve poca energía a la atmósfera. La tendencia en el tiempo guarda estrecha relación identificándose por ejemplo que en el período de análisis la superficie de plantas enfermas con NDVI de 0,12 a 0,37, varía entre 42% a 68%. Asimismo, para el mismo período

de análisis plantas moderadamente sanas con NDVI entre 0,37 a 0,66, se presenta entre 2% a 18% de la superficie, con una diferencia significativa los años 2015 y 2020, es decir el período más reciente, situación atribuible a la mejora en las labores culturales de las plantaciones en esta zona de estudio. El estado de la plantación considerado plantas muy sanas con NDVI mayor a 0,66, tiene tendencia a 0%. Según **Latini et al. (2019)** a partir del año 2015, apareció el síndrome de declive rápido del olivo en Apulia (sur de Italia), situación que se viene replicando en varios lugares del mundo donde existen plantaciones de olivo y a la cual no es ajena la zona de estudio. En la **Figura 5** se muestra la variación temporal del NDVI y LST en el período 1985 a 2020; donde se registra una reducción del suelo desnudo y las plantaciones de olivo

van en aumento sostenido; a su vez se puede notar el incremento de la superficie con plantas enfermas, establecido en los límites del NDVI; según **Neupane & Baysal-Gurel (2021)**, los investigadores utilizan los valores de los índices vegetativos, como el NDVI entre otros para analizar enfermedades de las plantas.

En el punto inicial de las curvas mostradas en la **Figura 5**, se puede apreciar la tendencia de reducción de las áreas libres o suelo desnudo, en esta irrigación el incremento de áreas de cultivo es progresivo y sostenido en el tiempo, y a su vez genera mayores volúmenes de explotación de agua subterránea generando problemas de contaminación por intrusión marina (**Narvaez-Montoya et al., 2022; Chucuya et al., 2022; Vera et al., 2021**).

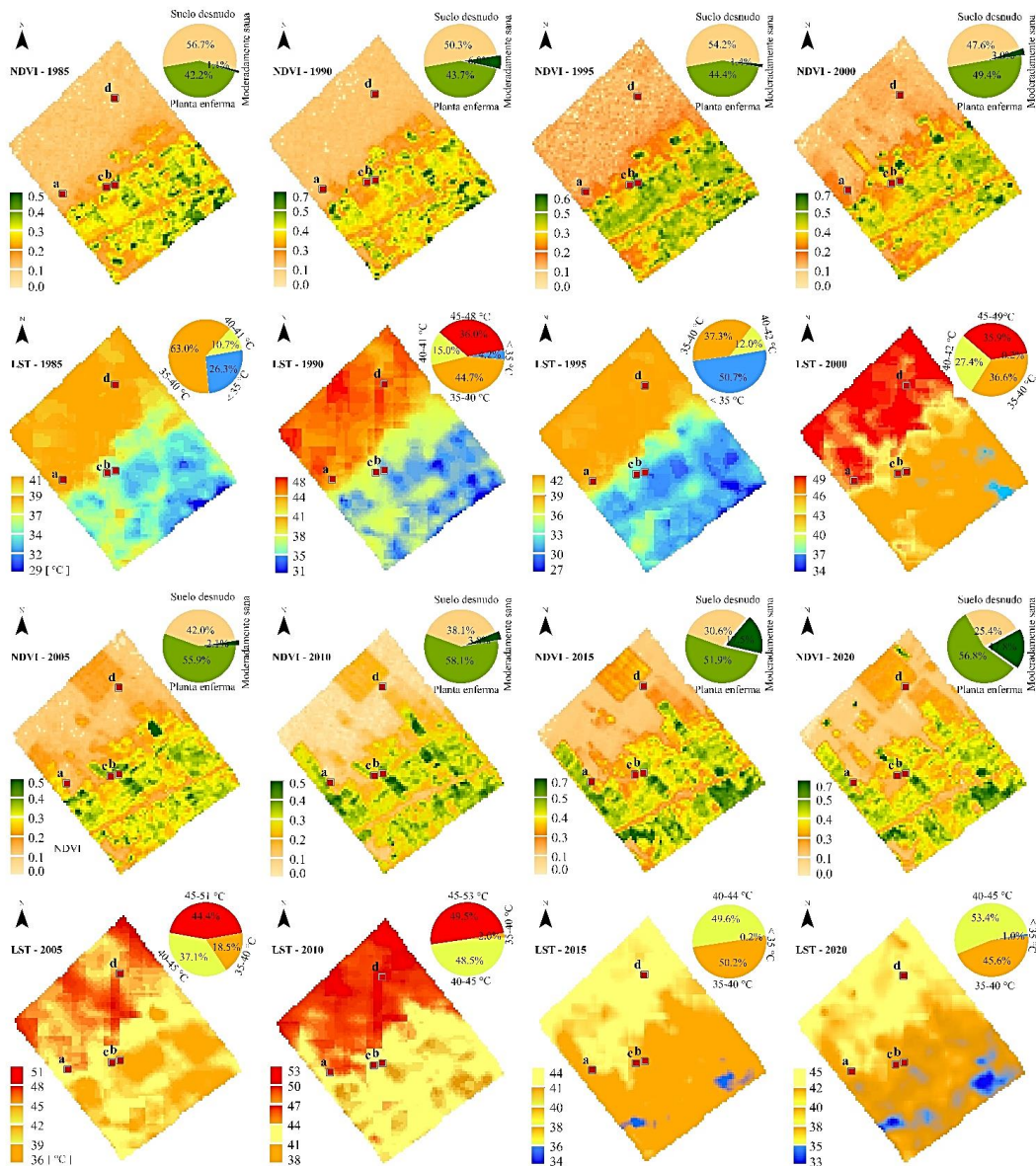


Figura 6. Variación espacial y temporal del NDVI (a, b, c, d, e, f, g, h) y LST (a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1), en el período 1985 a 2020, cada 5 años.

Asimismo, podemos observar la tendencia de los 4 puntos seleccionados que sirvieron para establecer los rangos de afectación del cultivo del olivo, respecto a NDVI y LST. La tendencia se explica de la siguiente manera: (a) Es una zona que correspondía a suelo desnudo hasta el año 1996, hacia adelante se instaló la plantación de olivos injertados de 1 año, acompañado de maíz como cultivo alternativo y de protección para el control las plagas y el clima, de esta forma se explica los valores de NDVI y LST, en el caso del primero su incremento es sostenido y corresponde al desarrollo del cultivo hasta la actualidad. (b) Se trata de una plantación realizada mucho antes de 1980, su desarrollo es regular y normalmente ha presentado problemas permanentes de ataque de plagas y déficit hídrico. (c) El cultivo presenta características similares al caso b, con la diferencia sustancial, a partir del año 2012, el ataque de plagas es severo, esto queda justificado en el valor del NDVI. (d) Es una plantación que a pesar de su edad anterior a 1980, presenta valores de NDVI bastante bajos, se evidencia por un lado severidad de ataque de plagas asociado al déficit hídrico, son plantas en estrés, leñosas, con evidencias de ataques severos tanto de *Orthezia olivicola* y el barrenillo del olivo *Phloeotribus scarabeoides*. El análisis de LST y NDVI es muy importante para identificar el deterioro potencial de la vegetación, ligado a valores con tendencia a disminuir (Andronis et al., 2022). En la Figura 6 se observa la variación espacial y temporal de NDVI y LST, se observa la tendencia en el tiempo de la reducción de suelo desnudo y a su vez la evolución de las plagas en el período seleccionado 1985 a 2020, se puede apreciar la evolución de la superficie desnuda y el estado de las plantas de olivo, evaluado bajo los rangos del NDVI. De la misma forma se evidencia una reducción de LST, la tendencia a disminuir se hace notoria al ir cubriéndose mayor superficie cultivada. Según Ding et al. (2016), muchos investigadores optan por utilizar valores de NDVI para suelo desnudo de 0,05 o 0,04 debido a la tarea extremadamente difícil de especificar este índice para el suelo desnudo a escalas globales o regionales.

En la Figura 7 se aprecia la variación temporal de los índices calculados NDVI, DVI, SAVI, GNDVI, EVI2 y MSAVI, en los 4 puntos seleccionados (a, b, c y d), la tendencia de los valores calculados de estos índices sigue un comportamiento definido. En la Figura 7(a), se nota el crecimiento de los índices a partir del año 1996, en el cual se iniciaron las plantaciones en esa zona. En la Figura 7(b), las plantaciones son mucho más antiguas, estas se hicieron antes de 1985; en la Figura 7(c), las curvas muestran valores que representan ataques severos de las plagas, reflejados en índices bajos y en la Figura 7(d), los valores numéricos de los índices son muy bajos reflejando en las plantaciones de olivos ataque de plagas muy fuerte y el correspondiente estado de marchitez permanente; según Lima-Cueto et al. (2019) el ataque de plagas en el olivo tiende a reflejarse en la disminución progresiva de los índices de vegetación.

En la Figura S2 (ver en Material Suplementar), se muestra la variación temporal de cobertura de biomasa en los índices NDVI, DVI, SAVI, GNDVI, EVI2 y MSAVI, en el período 1985 a 2020 con intervalos de 5 años. Es idónea la aplicación de índices de vegetación como NDVI, SAVI y MSAVI como estimadores potenciales de biomasa verde y cobertura vegetal (Fern et al., 2018). Los resultados muestran que el caso del NDVI varía de 0,0 a 0,7, que representa un rango del estado actual de la plantación de olivos en la zona de estudio, desde suelo desnudo hasta plantas regularmente vigorosas y su relación con el estado fitosanitario definido en los 4 estados, desde afectación leve hasta el ataque de plagas muy fuerte. El DVI arroja valores entre 0,05 hasta 0,83, SAVI de 0,03 hasta 0,52, GNDVI de 0,10 a 0,68, EVI2 de 0,03 a 0,54, MSAVI de 0,03 a 0,52, estos índices calculados establecen las mismas tendencias respecto al estado de afectación de los olivos. Según Assirelli (2021), los resultados respaldan el uso de índices espectrales NDVI y GNDVI para la estimación precisa del biovolumen de árboles dispersos, como olivos y su relación con la afectación de las plagas.

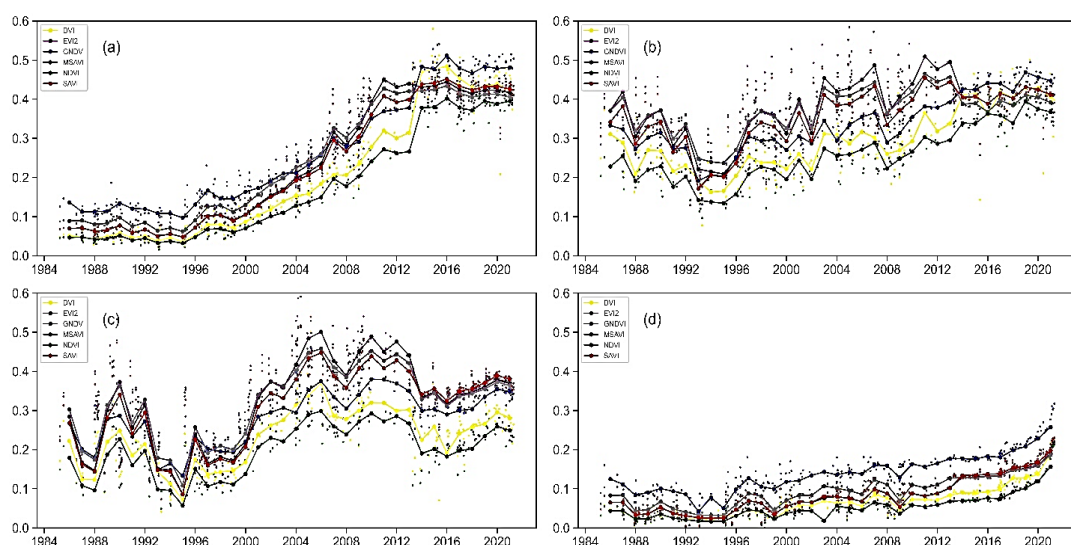


Figura 7. Variación temporal de los índices NDVI, DVI, SAVI, GNDVI, EVI2 y MSAVI, en los 4 puntos seleccionados, (a) La afectación es leve. (b) Ataque de plagas moderado. (c) Severidad del ataque de las plagas sumado al déficit hídrico. (d) Ataque de plagas muy fuertes y estado de marchitez permanente.

4. Conclusiones

El NDVI varía de 0,12 a 0,37, para el período de análisis indicando que la superficie de plantas enfermas va de 42% a 68%, plantas moderadamente sanas entre 0,37 a 0,66, y superficie de plantas de 2% a 18%, con una diferencia significativa los años 2015 y 2020, situación atribuible a la mejora en las labores culturales de las plantaciones en esta zona de estudio. El estado de la plantación considerado como plantas muy sanas con NDVI mayor a 0,66, tiene una tendencia a 0%, lo que significa que prácticamente el 100% de los olivos se encuentran con algún nivel de afectación. La variación temporal de los índices NDVI, DVI, SAVI, GNDVI, EVI2 y MSAVI, calculados en los 4 puntos seleccionados, permitieron establecer los estados de afectación como leve, ataque de plagas moderado, severidad del ataque de las plagas sumado al déficit hídrico y ataque de plagas muy fuerte y estado de marchitez permanente. A futuro, es recomendable realizar un estudio comparativo de la evolución espacial y temporal de cultivo del olivo por efecto del ataque de plagas en las diferentes estaciones del año, utilizando imágenes satelitales y drones.

ORCID

E. Pino-Vargas  <https://orcid.org/0000-0001-7432-4364>

Referencias bibliográficas

- Abrook, A. M., Matthews, I. P., Milner, A. M., Candy, I., Palmer, A. P., & Timms, R. G. O. (2019). Environmental variability in response to abrupt climatic change during the Last Glacial-Interglacial Transition (16-8 cal ka BP): Evidence from Mainland, Orkney. *Scottish Journal of Geology*, 56(1), 30-46.
- Andronis, V., Karathanassi, V., Tsalapati, V., Kolokoussis, P., Miltiadou, M., Danezis, C. (2022). Time Series Analysis of Landsat Data for Investigating the Relationship between Land Surface Temperature and Forest Changes in Paphos Forest, Cyprus. *Remote Sens.* 14, 1010.
- Assirelli, A., Romano, E., Bisaglia, C., Lodolini, E. M., Neri, D., & Brambilla, M. (2021). Canopy Index Evaluation for Precision Management in an Intensive Olive Orchard. *Sustainability*, 13(15), 8266.
- Avola, G., Gennaro, S. F. Di, Cantini, C., Riggi, E., Muratore, F., Tornambè, C., & Matese, A. (2019). Remotely Sensed Vegetation Indices to Discriminate Field-Grown Olive Cultivars. *Remote Sensing*, 11(10), 1242.
- Bartz, M., Walk, J., Binnie, S. A., Brill, D., Stauch, G., Lehmkuhl, F., Hoffmeister, D., & Brückner, H. (2020). Late Pleistocene alluvial fan evolution along the coastal Atacama Desert (N Chile). *Global and Planetary Change*, 190, 103091.
- Besnard, G., Gorrilliot, O., Raimondeau, P., Génot, B., El Bakkali, A., Anthelme, F., & Baali-Cherif, D. (2021). Contrasting Genetic Footprints among Saharan Olive Populations: Potential Causes and Conservation Implications. *Plants*, 10(6), 1207.
- Boshkovski, B., Doupis, G., Zapolska, A., Kalaitzidis, C., & Koubouris, G. (2022). Hyperspectral Imagery Detects Water Deficit and Salinity Effects on Photosynthesis and Antioxidant Enzyme Activity of Three Greek Olive Varieties. *Sustainability*, 14(3), 1432.
- Buja, I., Sabella, E., Monteduro, A. G., Chiriaco, M. S., Bellis, L. De, Luvisi, A., & Maruccio, G. (2021). Advances in Plant Disease Detection and Monitoring: From Traditional Assays to In-Field Diagnostics. *Sensors*, 21(6), 2129.
- Burnett, M., & Chen, D. (2021). The Impact of Seasonality and Land Cover on the Consistency of Relationship between Air Temperature and LST Derived from Landsat 7 and MODIS at a Local Scale: A Case Study in Southern Ontario. *Land*, 10(7), 672.
- Caselli, A., & Petacchi, R. (2021). Climate Change and Major Pests of Mediterranean Olive Orchards: Are We Ready to Face the Global Heating? *Insects*, 12(9), 802.
- Chucuya, S., Vera, A., Pino-Vargas, E., Steenken, A., Mahlknecht, J., & Montalván, I. (2022). Hydrogeochemical Characterization and Identification of Factors Influencing Groundwater Quality in Coastal Aquifers, Case: La Yarada, Tacna, Peru. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 2815.
- Daliakopoulos, I. N., Grillakis, E. G., Koutroulis, A. G., & Tsanis, L. K. (2009). Tree crown detection on multispectral VHR satellite imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 75(10), 1201-1211.
- Ding, Y., Zheng, X., Zhao, K., Xin, X., & Liu, H. (2016). Quantifying the Impact of NDVIsoil Determination Methods and NDVIsoil Variability on the Estimation of Fractional Vegetation Cover in Northeast China. *Remote Sensing*, 8(1), 29.
- Ermida, S. L., Soares, P., Mantas, V., Göttsche, F.-M., & Trigo, I. F. (2020). Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series. *Remote Sensing*, 12(9), 1471.
- Erten, L., & Yildiz, M. (2011). Screening for resistance of Turkish olive cultivars and clonal rootstocks to Verticillium wilt. *Phytoparasitica*, 39(1), 83-92.
- Feng, J., Sun, Y., Zhang, K., Zhao, Y., Ren, Y., Chen, Y., Zhuang, H., & Chen, S. (2022). Autonomous Detection of Spodoptera frugiperda by Feeding Symptoms Directly from UAV RGB Imagery. *Applied Sciences*, 12(5), 2592.
- 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.
- González, R., & Campos, M. (1990). Evaluation of natural enemies of the phloeotribus scarabaeoides (bern.) (col: scolytidae) in Granada olive groves. *Acta Horticulturae*, 286, 355-358.
- Khanal, S., KC, K., Fulton, J. P., Shearer, S., & Ozkan, E. (2020). Remote Sensing in Agriculture—Accomplishments, Limitations, and Opportunities. *Remote Sensing*, 12(22), 3783.
- Komba, A. W., Watanabe, T., Kaneko, M., & Chand, M. B. (2021). Monitoring of Vegetation Disturbance around Protected Areas in Central Tanzania Using Landsat Time-Series Data. *Remote Sensing*, 13(9), 1800.
- Latini, A., Foxi, C., Borfecchia, F., Lentini, A., De Cecco, L., Iantosca, D., Serafini, M., Laneri, U., Citterio, M., Campiotti, A., Benelli, G., & Mariani, S. (2019). Tacking the vector of Xylella fastidiosa: geo-statistical analysis of long-term field observations on host plants influencing the distribution of Phylloxera spumarius nymphs. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(7), 6503-6516.
- Lima-Cueto, F. J., Blanco-Sepúlveda, R., Gómez-Moreno, M. L., & Galacho-Jiménez, F. B. (2019). Using Vegetation Indices and a UAV Imaging Platform to Quantify the Density of Vegetation Ground Cover in Olive Groves (*Olea Europaea* L.) in Southern Spain. *Remote Sensing*, 11(21), 2564.
- Martos, V., Ahmad, A., Cartujo, P., & Ordoñez, J. (2021). Ensuring Agricultural Sustainability through Remote Sensing in the Era of Agriculture 5.0. *Applied Sciences*, 11(13), 5911.
- Montes-Osuna, N., & Mercado-Blanco, J. (2020). Verticillium Wilt of Olive and Its Control: What Did We Learn during the Last Decade? *Plants*, 9(6), 735.
- Narvaez-Montoya, C., Torres-Martínez, J. A., Pino-Vargas, E., Cabrera-Olivera, F., Loge, F. J., & Mahlknecht, J. (2022). Predicting adverse scenarios for a transboundary coastal aquifer system in the Atacama Desert (Peru/Chile). *Science of The Total Environment*, 806, 150386.
- Neupane, K., & Baysal-Gurel, F. (2021). Automatic Identification and Monitoring of Plant Diseases Using Unmanned Aerial Vehicles: A Review. *Remote Sensing*, 13(19), 3841.

- Nielsen, D. C., & Nelson, N. O. (1998). Black Bean Sensitivity to Water Stress at Various Growth Stages. *Crop Science*, 38(2), 422–427.
- Ozturk, M., Altay, V., Gonenç, T. M., Unal, B. T., Efe, R., Akçiçek, E., & Bukhari, A. (2021). An overview of olive cultivation in Turkey: Botanical features, eco-physiology and phytochemical aspects. *Agronomy*, 11(2), 295.
- Pino-Vargas, E., Chávarri-Velarde, E., Ingol-Blanco, E., Mejía, F., Cruz, A., & Vera, A. (2022). Impacts of Climate Change and Variability on Precipitation and Maximum Flows in Devil's Creek, Tacna, Peru. *Hydrology*, 9(1), 10.
- Pino, V. (2019a). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia*, 37(1), 75–84.
- Pino, E. (2019b). El acuífero costero La Yarada, después de 100 años de explotación como sustento de una agricultura en zonas áridas: una revisión histórica. *Idesia*, 37(3), 39–45.
- Pino, E., Chávarri V., E., & Ramos F., L. (2018). Governability and governance crisis its implications in the inadequate use of groundwater, case coastal aquifer of La Yarada, Tacna, Perú. *Idesia*, 36(3), 77–85.
- Pino, E., Ramos F., L., Mejía M., J., Chávarri V., E., Ascencios T., D., Pino V., E., Ramos F., L., Mejía M., J., Chávarri V., E., & Ascencios T., D. (2020). Medidas de mitigación para el acuífero costero La Yarada, un sistema sobreexplotado en zonas áridas. *Idesia*, 38(3), 21–31.
- Pino, E., Ramos Fernández, L., Avalos, O., Tacora, P., Chavarri, E., Angulo, O., Ascencios Templo, D. R., & Mejía, J. (2019). Factores que inciden en el agotamiento y la contaminación por intrusión marina en el acuífero costero de La Yarada, Tacna, Perú. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(5), 177–213.
- Pino, E., Tacora, P., Steenken, A., Alfaro, L., Valle, A., Chávarri, E., Ascencios, D., & Mejía, J. (2017). Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 08(6), 77–99.
- Pino V., E. (2021). Conflictos por el uso del agua en una región árida: Caso Tacna, Perú. *Diálogo Andino*, 65, 405–415.
- Pino V., E., Montalván D., I., Vera M., A., & Ramos F., L. (2019). La conductancia estomática y su relación con la temperatura foliar y humedad del suelo en el cultivo del olivo (*Olea europaea* L.), en periodo de maduración de frutos, en zonas áridas. La Yarada, Tacna, Perú. *Idesia*, 37(4), 55–64.
- Rey, B., Aleixos, N., Cubero, S., & Blasco, J. (2019). Xf-Rovim. A field robot to detect olive trees infected by *Xylella fastidiosa* using proximal sensing. *Remote Sensing*, 11(3), 221.
- Rodríguez, E., Peña, A., Sánchez Raya, A. J., & Campos, M. (2003). Evaluation of the effect on arthropod populations by using deltamethrin to control *Phloeotribus scarabaeoides* Bern. (Coleoptera: Scolytidae) in olive orchards. *Chemosphere*, 52(1), 127–134.
- Semeraro, T., Buccolieri, R., Vergine, M., De Bellis, L., Luvisi, A., Emmanuel, R., & Marwan, N. (2021). Analysis of Olive Grove Destruction by *Xylella fastidiosa* Bacterium on the Land Surface Temperature in Salento Detected Using Satellite Images. *Forests*, 12(9), 1266.
- Stein, B. A., Staudt, A., Cross, M. S., Dubois, N. S., Enquist, C., Griffis, et al. (2013). Preparing for and managing change: Climate adaptation for biodiversity and ecosystems. In *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(9), 502–510.
- Vera, A., Pino-Vargas, E., Verma, M. P., Chucuya, S., Chávarri, E., Canales, M., Torres-Martínez, J. A., Mora, A., & Mahlknecht, J. (2021). Hydrodynamics, Hydrochemistry, and Stable Isotope Geochemistry to Assess Temporal Behavior of Seawater Intrusion in the La Yarada Aquifer in the Vicinity of Atacama Desert, Tacna, Peru. *Water*, 13(22), 3161.
- Vono, G., Bonsignore, C. P., Gullo, G., & Marullo, R. (2020). Olive Production Threatened by a Resurgent Pest *Liothrips oleae* (Costa, 1857) (Thysanoptera: Phlaeothripidae) in Southern Italy. *Insects*, 11(12), 887.
- Waleed, M., Um, T.-W., Khan, A., & Khan, U. (2020). Automatic Detection System of Olive Trees Using Improved K-Means Algorithm. *Remote Sensing*, 12(5), 760.
- Yang, J., Ren, J., Sun, D., Xiao, X., Xia, J., Jin, C., & Li, X. (2021). Understanding land surface temperature impact factors based on local climate zones. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102818.
- Zheng, Q., Ye, H., Huang, W., Dong, Y., Jiang, H., Wang, C., Li, D., Wang, L., & Chen, S. (2021). Integrating Spectral Information and Meteorological Data to Monitor Wheat Yellow Rust at a Regional Scale: A Case Study. *Remote Sensing*, 13(2), 278.