

Análisis exploratorio de la condición de vigor en el cultivo de olivo

(*Olea europaea L.*), a través del índice de la diferencia normalizada de la vegetación (NDVI), en el distrito de La Yarada Los Palos, Tacna, Perú

2021-2024

DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ECONÓMICOS
DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICAS AGRARIAS



PERÚ

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego



BICENTENARIO
PERÚ
2024



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO
VICEMINISTERIO DE POLÍTICAS Y SUPERVISIÓN DEL DESARROLLO AGRARIO

Ministro de Desarrollo Agrario y Riego

Ángel Manuel Manero Campos

Viceministra de Políticas y Supervisión del Desarrollo Agrario

Carmen Inés Vegas Guerrero

Director General de Políticas Agrarias

Jorge Fidel Castro Trkovic

Director de Estudios Económicos

Fernando Javier Martínez Ruiz

Responsable de la elaboración

Carolina Elena Barreda Polar

Diseñadora de Edición Digital

Jenny Miriam Acosta Reátegui

Editado por:

@Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

Dirección General de Políticas Agrarias | Dirección de Estudios Económicos

Jr. Cahuide N.° 805, Jesús María, Lima 1

Publicado en noviembre de 2024

Resumen ejecutivo

Con el objetivo de evaluar la condición de vigor del cultivo de olivo en el distrito de La Yarada - Los Palos, Tacna, durante las campañas agrícolas 2021/22, 2022/23 y 2023/24; se analizan los valores mensuales del índice de la diferencia normalizada de la vegetación (NDVI), estimados a partir de imágenes satelitales; los cuales, fueron extraídos por puntos de muestreo determinados por coordenadas geográficas, en plantaciones de olivo adultas.

Como resultado del análisis, se encontró que el NDVI durante la campaña 2021/22, entre agosto 2021 y julio 2022, se incrementó desde valores mínimos de $NDVI=0,06$, en agosto, justo antes del inicio de la etapa de crecimiento vegetativo del cultivo, hasta alcanzar picos máximos de NDVI (0,62-0,71), entre noviembre y enero; lo cual, denota el desarrollo vegetativo del cultivo y, seguidamente se observaron valores de NDVI decrecientes asociados al desarrollo prioritario de la etapa reproductiva de floración, llenado y maduración del fruto. Asimismo, se encontraron valores mínimos de 0,02 y máximos de 0,58-0,67 (noviembre – enero), en la Campaña 2022/23 y, mínimos de 0,05 y máximos de 0,60-0,65 (noviembre – enero), en la Campaña 2023/24.

La condición de vigor de las plantaciones de olivo, estimada a partir de las diferencias entre los valores acumulados de NDVI, registrados durante cada campaña y, el máximo valor acumulado de NDVI (nivel de referencia), mostró que el 8,7% de las parcelas del cultivo de olivo evaluadas, presentaron una condición de vigor buena en la campaña 2022/23; mientras que, el 56,5%; 52,2% y el 56,5% presentaron condición regular en las campañas 2021/22, 2022/23 y 2023/24, respectivamente y el 43,5%; 39,1% y el 43,5% presentaron condición deficiente en las campañas 2021/22, 2022/23 y 2023/24, respectivamente; lo cual, se reflejó parcialmente en el desempeño productivo del cultivo de olivo.



I. INTRODUCCIÓN

El índice de la diferencia normalizada de la vegetación (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), (Rouse et. al. 1974), es uno de los índices de vegetación más utilizados para medir el vigor o la condición de “salud” de la vegetación a partir de la respuesta espectral, registrada por sensores remotos. El patrón de reflectancia característico de la vegetación sana muestra un contraste entre las regiones espectrales del infrarrojo cercano (NIR) y el rojo (RED); lo cual, permite realzar el verdor de la vegetación a través del cálculo de un índice de vegetación como el NDVI y, expresarla en un rango normalizado de -1 a 1.

El monitoreo de cultivos a través del NDVI permite cuantificar la respuesta integrada del cultivo frente a los factores determinantes de la producción, como el suelo, el clima, el agua, el genotipo y las prácticas de manejo del productor agrario, facilitando el seguimiento espacial y temporal de la condición salud de los cultivos agrícolas transitorios y permanentes.

Cultivos de alto potencial de desarrollo agroindustrial como el olivo, en la región sur del Perú, han mostrado un crecimiento sostenido desde el 2005, proyectando un alto potencial exportador debido al desarrollo de ventajas competitivas (Sepulveda-Chavera et. al., 2013). El olivo procedente de Europa, se adaptó bien a los microclimas del sur del Perú (Sotomayor, 2017), donde se cultiva principalmente la variedad Sevillana, de importancia económica regional (Contreras y Tapia, 2016).

La producción de olivo en el departamento de Tacna, de gran importancia a nivel nacional, se ha cuadruplicado de 27,8 miles de toneladas, en el 2016 (Rendimiento 2.4 t/ha) a 128,8 miles de toneladas, en el 2023 (Rendimiento 5.9 t/ha), (MIDAGRI 2024a) y es destinada al mercado nacional e internacional.

En este sentido, el empleo de índices de vegetación como el NDVI, puede contribuir a mejorar el monitoreo de los factores determinantes de la producción del cultivo y, como herramienta para la toma de decisiones de manejo agronómico frente al riesgo que influye considerablemente en la respuesta del cultivo (Pino y Ascencios 2022) y ocasiona fluctuaciones en el rendimiento. El monitoreo del NDVI en el cultivo de olivo ha correlacionado bien con el índice de área foliar (Cantini et al., 2019), la densidad de cobertura vegetal (Lima-Cueto et al., 2019) y con la producción de biomasa (Brunori et al., 2017).

Con el objetivo de analizar la condición de vigor en el cultivo de olivo, se evaluó el comportamiento de datos mensuales de NDVI, en el Distrito de La Yarada - Los Palos, Provincia de Tacna, Departamento de Tacna, durante las campañas agrícolas 2021/22, 2022/23, 2023/24.

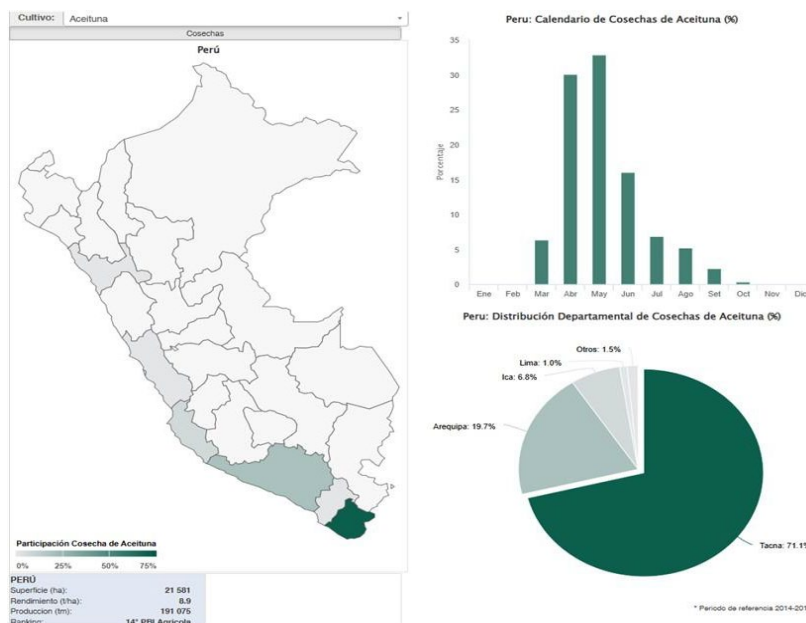


II. ANÁLISIS

2.1 Cultivo de olivo en el distrito de La Yarada - Los Palos

El distrito de La Yarada - Los Palos, es el principal productor de olivo, en el departamento de Tacna y le siguen los departamentos de Arequipa, Ica, Lima y La Libertad; los cuales, presentan cosechas significativas entre los meses de abril, mayo y junio (Gráfico 1)

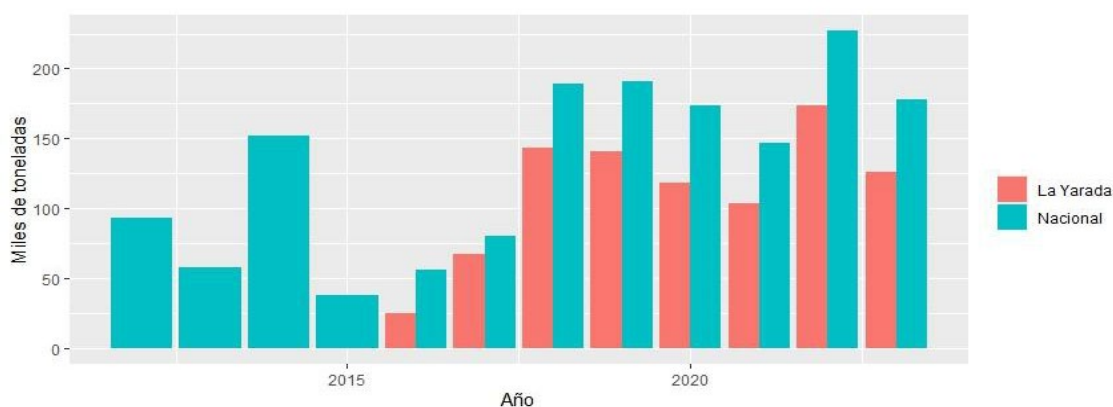
Gráfico 1. Calendario de cosechas en los principales departamentos productores de olivo



Fuente: MIDAGRI 2024a. Sistema Integrado de Estadística Agraria – SIEA.

La producción nacional de olivo se ha incrementado de manera consistente a partir del año 2018 (Gráfico 2). El distrito de La Yarada - Los Palos, representa más del 70% de la producción nacional de olivo desde el 2017 y durante los años 2021, 2022 y 2023 reportó un volumen de producción de 104, 174 y 126 mil toneladas, respectivamente. Este cultivo representó el 80,5% del valor bruto de la producción - VBP agrícola del distrito, en el año 2023 (MIDAGRI 2024a).

Gráfico 2. Volumen de producción del cultivo de olivo a nivel nacional y en el distrito de La Yarada - Los Palos, Tacna (2012-2023)



Fuente: MIDAGRI 2024a. Sistema Integrado de Estadística Agraria – SIEA.

Elaboración: DEE

El rendimiento promedio nacional fue 6,9, 8,5 y 6,2 t/ha en el 2021, 2022 y 2023, respectivamente y en el distrito de La Yarada - Los Palos se reportaron rendimientos de 7,5, 9,1 y 6,0 durante los años 2021, 2022 y 2023, respectivamente (MIDAGRI 2024a).

El desarrollo del cultivo del olivo, comprende ocho etapas fenológicas: i) desarrollo de yemas, ii) hojas y iii) parte aérea, iv) aparición de la inflorescencia, v) floración, vi) desarrollo del fruto, vii) maduración del fruto y viii) senescencia, de acuerdo a la escala internacional BBCH (Sanz-Cortez et al., 2002). Considerando estas etapas fenológicas, las principales prácticas de manejo agronómico del cultivo que se realizan en la región Tacna, son: agoste, poda, inducción floral, riego y fertilización y, cosecha (Casanova et al., 2022), (Cuadro 1).

Cuadro 1. Etapas fenológicas y principales prácticas de manejo agronómico en el cultivo de olivo

Etapas fenológicas (BBCH)	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Maduración (vii) y (viii)							x	x	x			
Desarrollo del fruto (vi)				x	x	x	x					
Floración (v)			x	x								
Inflorescencia (iv)		x										
Crecimiento vegetativo (i) (ii) y (iii)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Manejo agronómico	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Agoste										x	x	x
Poda	x											x
Inducción floral		x										
Riego	x			Demanda hídrica máxima								
Cosecha										x	x	x

Fuente: Adaptado de Sanz-Cortez et. al. 2002; Casanova 2022

Elaboración: DEE

2.2 Variación estacional de los valores de NDVI

Las muestras de NDVI fueron identificadas y extraídas por coordenadas geográficas en plantaciones adultas de olivo, en la irrigación La Yarada - Los Palos (Gráfico 3). El NDVI promedio mensual fue estimado mediante técnicas de percepción remota, a partir de los mosaicos mensuales de imágenes Planet optimizados para el análisis científico y cuantitativo con efectos minimizados de la atmósfera y los artefactos del sensor, con una resolución espacial de 5 m. y resolución temporal diaria, a partir de las regiones del infrarrojo cercano (NIR) y el rojo (RED), mediante la ecuación $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, (MIDAGRI 2024b).

Gráfico 3. Plantaciones de olivo en el distrito de La Yarada - Los Palos, Tacna



Fuente: MIDAGRI 2024b. Sistema Integrado de Estadística Agraria – SIEA.

La secuencia mensual de los valores de NDVI, fue evaluada durante la campaña 2021/22, 2022/23 y 2023/24, como un referente de la evolución temporal de la condición de vigor del cultivo de olivo. Los valores oscilaron entre mínimos de 0,06 y máximos de 0,62-0,71 entre los meses de noviembre y enero (Campaña 2021/22); mínimos de 0,02 y máximos de 0,58-0,67 entre los meses de noviembre y enero (Campaña 2022/23) y mínimos de 0,05 y máximos de 0,60-0,65 entre los meses de noviembre y enero (Campaña 2023/24), durante el ciclo del cultivo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estadística descriptiva del Índice de la diferencia normalizada de la vegetación (NDVI) en el cultivo de olivo, en el distrito de La Yarada - Los Palos, Tacna (2021-2024)

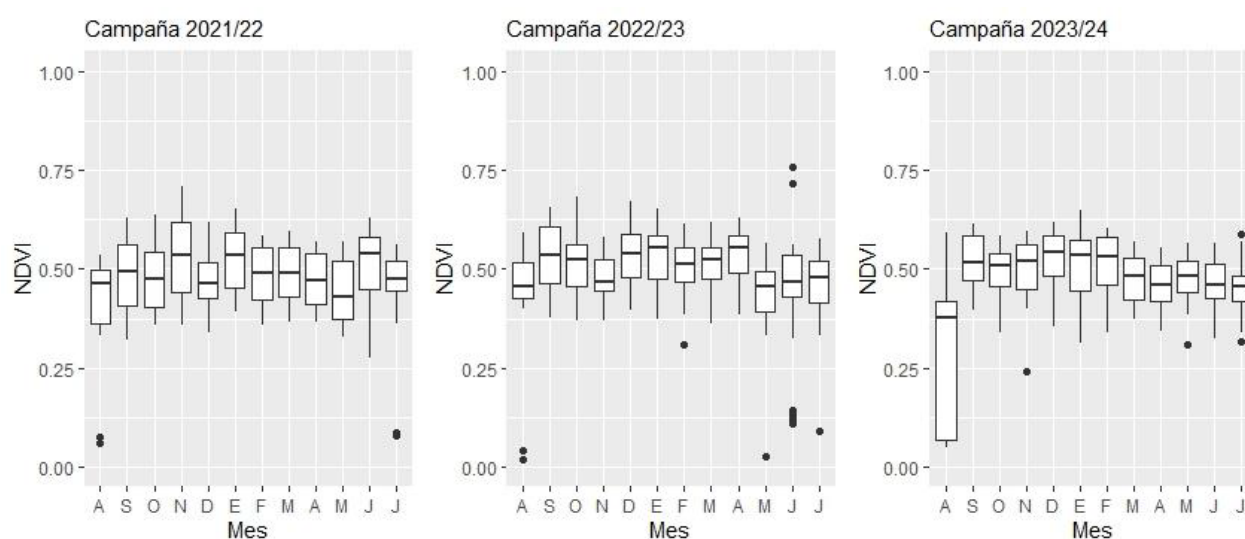
Campaña 2021/22							Campaña 2022/23							Campañas 2023/24						
Fecha	Min.	1er Cu.	Mediana	Promedio	3er Cu.	Max.	Fecha	Min.	1er Cu.	Mediana	Promedio	3er Cu.	Max.	Fecha	Min.	1er Cu.	Mediana	Promedio	3er Cu.	Max.
Ago-21	0,06	0,36	0,46	0,40	0,50	0,54	Ago-22	0,02	0,43	0,46	0,44	0,52	0,59	Ago-23	0,05	0,07	0,38	0,29	0,42	0,59
Set-21	0,32	0,41	0,50	0,48	0,56	0,63	Set-22	0,38	0,46	0,54	0,53	0,61	0,66	Set-23	0,40	0,47	0,52	0,52	0,58	0,61
Oct-21	0,36	0,41	0,47	0,49	0,54	0,64	Oct-22	0,37	0,46	0,52	0,51	0,56	0,68	Oct-23	0,34	0,46	0,51	0,50	0,54	0,58
Nov-21	0,36	0,44	0,54	0,53	0,62	0,71	Nov-22	0,37	0,45	0,47	0,48	0,52	0,58	Nov-23	0,24	0,45	0,52	0,50	0,56	0,60
Dic-21	0,34	0,43	0,46	0,48	0,52	0,62	Dic-22	0,40	0,48	0,54	0,53	0,59	0,67	Dic-23	0,35	0,48	0,54	0,53	0,59	0,62
Ene-22	0,39	0,45	0,54	0,53	0,59	0,65	Ene-23	0,37	0,48	0,55	0,53	0,58	0,65	Ene-24	0,31	0,44	0,54	0,52	0,57	0,65
Feb-22	0,36	0,42	0,49	0,49	0,56	0,58	Feb-23	0,31	0,47	0,51	0,50	0,56	0,61	Feb-24	0,34	0,46	0,53	0,52	0,58	0,60
Mar-22	0,37	0,43	0,49	0,49	0,55	0,60	Mar-23	0,36	0,48	0,52	0,51	0,56	0,62	Mar-24	0,37	0,42	0,48	0,48	0,53	0,57
Abr-22	0,37	0,41	0,47	0,47	0,54	0,57	Abr-23	0,39	0,49	0,55	0,53	0,59	0,63	Abr-24	0,34	0,42	0,46	0,46	0,51	0,56
May-22	0,33	0,37	0,43	0,44	0,52	0,57	May-23	0,03	0,39	0,46	0,44	0,49	0,56	May-24	0,31	0,44	0,48	0,48	0,52	0,57
Jun-22	0,28	0,45	0,54	0,50	0,58	0,63	Jun-23	0,11	0,43	0,47	0,45	0,54	0,76	Jun-24	0,33	0,43	0,46	0,46	0,51	0,57
Jul-22	0,08	0,44	0,48	0,45	0,52	0,56	Jul-23	0,09	0,42	0,48	0,46	0,52	0,58	Jul-24	0,32	0,42	0,46	0,45	0,48	0,59

Fuente: MIDAGRI 2024b. Sistema Integrado de Estadística Agraria – SIEA.

Elaboración: DEE

En las campañas evaluadas, se observó que, durante la etapa de crecimiento vegetativo, los valores de NDVI presentaron un patrón de comportamiento ligeramente ascendente, hasta alcanzar picos máximos entre noviembre, diciembre y enero, en algunos casos asintótico (Mediana=0.54) y seguidamente iniciar una caída, que refleja la entrada de la etapa reproductiva de desarrollo de frutos, hasta la maduración y cosecha (Gráfico 4).

Gráfico 4. Distribución de los valores de NDVI en el cultivo de olivo, en el distrito de La Yarada - Los Palos, Tacna (2021-2024)



Fuente: MIDAGRI 2024b. Sistema Integrado de Estadística Agraria – SIEA.

Elaboración: DEE

La mediana del NDVI, presentó una variación relativamente pequeña, durante la campaña, debido a que el olivo es una especie permanente y siempre verde que mantiene su follaje verde y su actividad fotosintética la mayor parte del año. Además, las muestras seleccionadas, corresponden a plantaciones adultas con una cobertura vegetal superior al 90%. Sin embargo, los valores encontrados de NDVI fueron inferiores a los reportados en un sistema de cultivo superintensivo de olivo de 14 años, donde la variación estacional del NDVI estuvo entre 0,3 y 0,8 (Cantini et al., 2023).

De acuerdo a la literatura, los valores positivos entre 0,1 a 0,5 indican vegetación dispersa y los valores sobre 0,6 indican vegetación densa; mientras que, los valores positivos cercanos a cero indican suelo desnudo y los valores negativos de NDVI, indican nubes y cuerpos de agua (Kriegler 1969). En general, los valores altos de NDVI cercanos a 1, son indicadores de una condición fisiológica normal del cultivo que repercute en el buen crecimiento y desarrollo del cultivo; lo cual, se traduce en una alta probabilidad de obtener buenos rendimientos, sobre todo, cuando los valores de NDVI se mantienen altos a lo largo del ciclo del cultivo, como resultado de un desarrollo libre de factores de estrés biótico o abiótico; es decir, sin limitaciones por agua o nutrientes y con un manejo adecuado de plagas y enfermedades.

2.3 Evaluación de la condición de vigor

Para el análisis integrado de vigor en el cultivo de olivo, durante las campañas 2021/22, 2022/23 y 2023/24, se calculó la diferencia entre los valores acumulados de NDVI, respecto del valor máximo acumulado durante diez meses por cada punto observado (nivel de referencia), y estas diferencias fueron expresadas como porcentaje del valor de referencia. Los valores acumulados de NDVI presentaron Min=4,6 y Max=6.9 (Campaña 2021/22), entre Min=4.5 y Max=7.2 (Campaña 2022/23) y entre Min=4 y Max=6.7 (Campaña 2023/24).

De otro lado, las diferencias porcentuales mostraron valores similares en las campañas evaluadas, entre Min=-30,79% y Max=-54,24% (Campaña 2021/22), entre Min=-27,55% y Max=-55,09% (Campaña 2022/23) y entre Min=-33,08% y Max=-54,24% (Campaña 2023/24). Los valores más negativos indican condiciones de vigor deficientes; mientras que, las diferencias porcentuales cercanas a cero, denotan una buena condición de vigor durante el ciclo del cultivo, cercana al valor de referencia. Se esperarían los mejores rendimientos en las plantaciones que obtuvieron las menores diferencias porcentuales de NDVI, ya que reflejan una buena condición de vigor del cultivo. Mientras que, las plantaciones con mayores diferencias porcentuales de NDVI, podrían presentar alguna condición de estrés biótico o abiótico, que se podría traducir en reducciones en el rendimiento del cultivo.

Las diferencias fueron clasificadas en las categorías de vigor: i) buena (NDVI>-20%), ii) regular (NDVI =[-20% a -40%]) y iii) deficiente (NDVI<-40%). De acuerdo a la clasificación de vigor, las tres campañas evaluadas mostraron un comportamiento similar, se estimó que el 8,7% de las parcelas del cultivo de olivo evaluadas, presentaron una condición de vigor buena en la campaña 2022/23; mientras que, el 56,5%; 52,2% y el 56,5% presentaron condición regular en las campañas 2021/22, 2022/23 y 2023/24, respectivamente y, el 43,5%; 39,1% y el 43,5% presentaron condición deficiente en las campañas 2021/22, 2022/23 y 2023/24, respectivamente (Cuadro 3).

Se puede observar que, la mayoría de plantaciones de olivo, fueron categorizadas en las condiciones de vigor regular y deficiente; lo cual, indica que existieron factores limitantes para el crecimiento y desarrollo del cultivo, en las tres campañas evaluadas. También se puede afirmar que existe un potencial de crecimiento para la productividad de olivo y una necesidad de mejorar la respuesta frente a factores adversos que afectan la productividad. Los principales factores que pueden explicar los resultados serían

la ocurrencia de eventos ENSO (El Niño Southern Oscillation), en las tres campañas evaluadas (GGWS 2024) y la permanente incidencia de plagas en los cultivos, reportada en las plantaciones de olivo, en Tacna (Pino y Huayna 2022), además de la alternancia productiva que es una característica de la especie y que podría haber influido considerablemente en la respuesta de vigor encontrada en las plantaciones de olivo evaluadas.

El NDVI integró la respuesta de los factores que afectaron el crecimiento del follaje aéreo que influye grandemente en el desempeño productivo del cultivo; sin embargo, podría tener menos sensibilidad para detectar los efectos de los factores que afectan directamente a los órganos reproductivos, como por ejemplo, la diferenciación de las yemas reproductivas que fue afectada durante la campaña 2023/24 debido a la ocurrencia de condiciones de temperatura que sobrepasaron el rango óptimo requerido por el cultivo para el proceso de floración, que es una etapa crítica para el desarrollo de frutos, reduciendo considerablemente la productividad del cultivo, en esta campaña.

Cabe mencionar que se requiere explorar una serie temporal más amplia que incluya campañas agrícolas bajo un clima normal, sin limitaciones por factores bióticos y/o abióticos para el cultivo, para tener un dato de referencia más ajustado a la realidad, ya que las tres campañas evaluadas estuvieron influenciadas por eventos ENSO. Asimismo, explorar otros índices de vegetación que complementen los resultados obtenidos, junto con información recolectada en campo.

Cuadro 3. Clasificación de la condición de vigor en el cultivo de olivo, en el distrito de La Yarada - Los Palos, Tacna (2021-2024)

Condición de vigor	Campaña		
	2021/22	2022/23	2023/24
Buena	0,0%	8,7%	0,0%
Regular	56,5%	52,2%	56,5%
Deficiente	43,5%	39,1%	43,5%

Fuente: DEE

La planta de olivo, adaptada a las condiciones de la costa sur del Perú, puede alcanzar un buen desarrollo y rendimientos aceptables, en la medida en que se alcancen sus requerimientos óptimos de temperatura y precipitación. La temperatura tiene una gran influencia en el desempeño del olivo; los valores óptimos para el crecimiento y desarrollo del cultivo se encuentran entre 15 °C a 25 °C (Ozturk et al., 2021) y los umbrales máximos se encuentran entre 5 y 40 °C (Ruíz 2020). Además, se requieren temperaturas diurnas alrededor de 20°C para la floración, polinización y cuajado de fruto, con una humedad relativa entre 60 y 80% (Ruíz 2020). El cultivo puede desarrollarse con precipitaciones desde 200 hasta 1200 mm., por año y presenta óptimos de 400 a 700 mm., anuales (FAO 2000).

Entre los factores que pueden influir en las condiciones de vigor observadas, las condiciones meteorológicas fueron determinantes. Las campañas evaluadas se desarrollaron en una coyuntura de eventos ENSO, La Niña moderada (Campaña 2021/22), La Niña débil (Campaña 2022/23) y El Niño fuerte (Campaña 2023/24), (GGWS 2024). La Niña se mantuvo activa desde agosto de 2021 hasta enero 2023, con una duración de 18 meses; mientras que, El Niño inició en mayo 2023, alcanzó máximos en diciembre 2023 (ONI=2) y finalizó en abril 2024, con una duración de 12 meses (NOAA 2024).

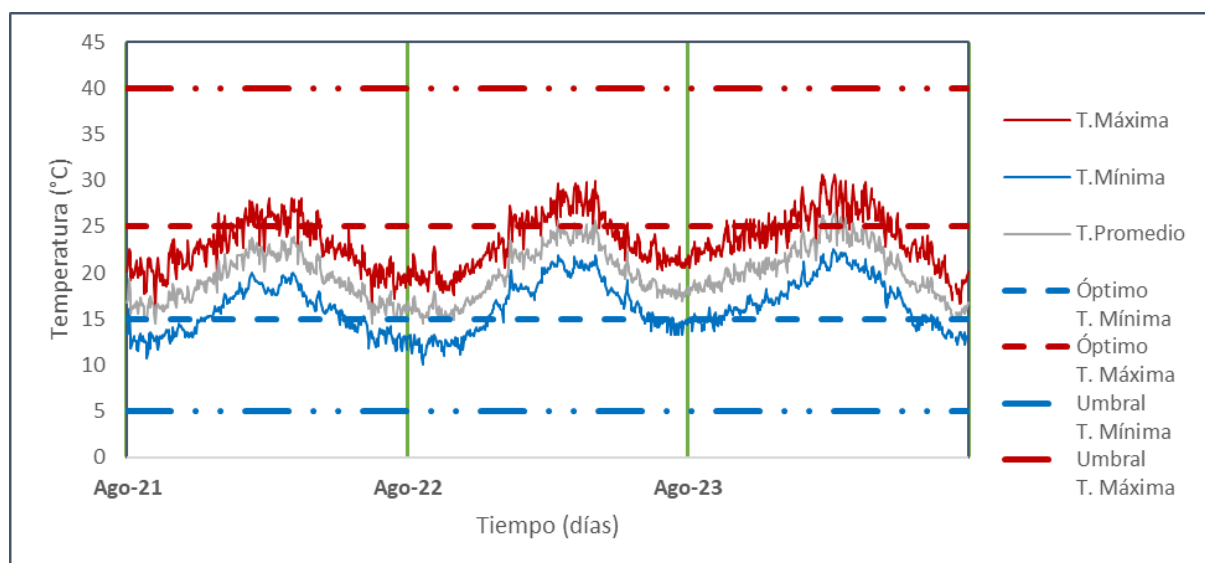
En este contexto, las variables meteorológicas temperatura mínima, temperatura máxima y humedad relativa, correspondientes a la coordenada geográfica (Lat -18.21, Lon -70.53), ubicada en el distrito de

La Yarada - Los Palos, provincia y departamento de Tacna (NASA 2024), mostraron valores cercanos a los requerimientos óptimos del cultivo. En general, las condiciones de temperatura promedio fueron favorables para el crecimiento vegetativo y la maduración de frutos y, parcialmente favorables para la floración del olivo (Gráfico 5). La temperatura promedio en los meses de setiembre, octubre y noviembre, durante la etapa de floración, osciló entre 15-21°C en la campaña 2021/22, y entre 15-20°C en la campaña 2022/23; mientras que, en la campaña 2023/24 se incrementó entre 18-22°C, con algunos valores fuera del rango óptimo para la floración. En dicho periodo, se estimaron temperaturas mínimas de 12-16°C; 11-17°C; 14-18°C y máximas de 16-26°C; 18-24°C; 22-27°C, en las campañas 2021/22, 2022/23 y 2023/24, respectivamente.

La ocurrencia de temperaturas no óptimas durante la etapa de floración, observadas principalmente en la campaña 2023/24, podría explicar en cierta medida, un bajo porcentaje de floración y cuajado de frutos, afectando seriamente la producción. Las temperaturas extremas, pueden poner en riesgo la producción del cultivo de olivo; el incremento de la temperatura podría provocar efectos como el adelanto de la floración y el alargamiento del periodo de crecimiento (Pérez et al., 2008) y esto podría ser uno de los factores explicativos de la prevalencia de las categorías de vigor regular y deficiente, observadas en las plantaciones de olivo (2021-2024).

Cabe mencionar, que la humedad relativa en las campañas 2021/22, 2022/23 y 2023/24, con valores entre 71-86%; 64-88% y 73-83%, estuvo bastante cercana al rango óptimo para la floración.

Gráfico 5. Condiciones de temperatura (°C) para el desarrollo del cultivo de olivo en el distrito de La Yarada - Los Palos, Tacna (2021-2024)



Fuente: NASA 2024; Ozturk et al., 2021; Ruiz 2020

Elaboración: DEE

Además, otros factores como el manejo del riego, la fertilización y el manejo adecuado de plagas y enfermedades, pudieron haber influido en la condición de vigor del cultivo.

En este sentido, estados de afectación leve, moderado y muy fuerte, por plagas de importancia como la *Orthezia olivícola* y el barrenillo del olivo (*Phloeotribus scarabaeoides*), fueron reportados en el 100% de las plantaciones de olivo en la región Tacna (1985-2020), (Pino y Huayna 2022); lo cual, puede limitar el crecimiento, desarrollo y la productividad de las plantaciones de olivo en esta región.

Los resultados del análisis de NDVI, como indicador de vigor, pueden contribuir en los esfuerzos de monitoreo de los principales factores de producción para mejorar la eficiencia de uso de los recursos e incrementar los rendimientos en el cultivo de olivo, como parte de un plan de seguimiento de cierre de brechas de rendimiento de cultivos.

III. CONCLUSIONES

- La evolución temporal de NDVI, como indicador de vigor del cultivo de olivo en el distrito de La Yarada - Los Palos, Tacna, mostró variaciones entre valores mínimos de 0,06 y máximos de 0,62-0,71 (noviembre – enero), en la Campaña 2021/22, valores mínimos de 0,02 y máximos de 0,58-0,67 (noviembre – enero), en la Campaña 2022/23 y, valores mínimos de 0,05 y máximos de 0,60-0,65 (noviembre – enero), en la Campaña 2023/24.
- En las campañas evaluadas, los valores de NDVI presentaron un patrón temporal de comportamiento ligeramente ascendente, hasta alcanzar picos máximos en noviembre, diciembre y enero (Mediana=0.54) y una caída durante el periodo de maduración y cosecha.
- Se estimó que el 8,7% de las parcelas del cultivo de olivo evaluadas, presentaron una condición de vigor buena en la campaña 2022/23; mientras que, el 56,5%; 52,2% y el 56,5% presentaron condición regular en las campañas 2021/22, 2022/23 y 2023/24, respectivamente y el 43,5%; 39,1% y el 43,5% presentaron condición deficiente en las campañas 2021/22, 2022/23 y 2023/24, respectivamente.

IV. RECOMENDACIONES

- Analizar la respuesta de otros índices de vegetación y su relación con las variables de crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo.
- Ampliar el acceso a conjuntos de datos experimentales para mejorar el análisis de monitoreo de vigor en el cultivo de olivo e incorporar nuevos cultivos.

V. BIBLIOGRAFÍA

1. Brunori, A., Dini F., Cantini C., Sala G., La Mantia T., Caruso T., Marra F. P., Trotta C., Nasini L., Regni L., Proietti P. (2017). Biomass and volume modeling in *Olea europaea* L. cv “Leccino”. *Trees*, Volume 31, pages 1859–1874, (2017). <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1592-9>.
2. Cantini C., Nepi P. E., Avola G., Riggi E. (2023). Direct and indirect ground estimation of leaf area index to support interpretation of NDVI data from satellite images in hedgerow olive orchards. *Smart Agricultural Technology*, Volume 5, 2023, 100267, ISSN 2772-3755, <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100267>.
3. Casanova D. (2022). Guía técnica del cultivo de olivo en la región Tacna. Editado por Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. Lima, Perú. ISBN: 978-9972-44-087-8
4. Contreras, R. y Tapia, F. (2016). Identificación genética de la variedad de olivo (*Olea europaea* L.) Sevillana y su relación con variedades productivas existentes en la provincia del Huasco. *Idesia*, 34(3), 17-24. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300003>

5. FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2024). ECOCROP database. FAO, Rome, Italy. Consultado el 15/10/2024, de <https://gaez.fao.org/pages/ecocrop>.
6. GGWS - Golden Gate Weather Services (2024). El Niño and La Niña Years and Intensities. Based on Oceanic Niño Index (ONI). Jan Null, CCM. Updated through July-August-September 2024. Consultado el 15/10/2024, de <https://ggweather.com/enso/oni.htm>.
7. Kriegler, F.J., Malila, W.A., Nalepka, R.F. and Richardson, W., (1969). Preprocessing transformations and their effect on multispectral recognition. En: Proceedings of the sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, University of Michigan, Ann Arbor, MI, pp. 97-131. [https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/Definitions/spotveg.htm#:~:text=In%20general%2C%20NDVI%20values%20orange,vegetation%20\(0.6%20and%20above\)](https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/Definitions/spotveg.htm#:~:text=In%20general%2C%20NDVI%20values%20orange,vegetation%20(0.6%20and%20above))
8. Lima-Cueto, F. J., Blanco-Sepúlveda, R., Gómez-Moreno, M. L., y 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. <https://doi.org/10.3390/rs11212564>
9. MIDAGRI - Ministerio de Desarrollo de Desarrollo Agrario y Riego (2024a). Perfil productivo de los principales cultivos. Sistema integrado de estadística agraria - SIEA. Dashboard temáticos. Dirección de Estadística e Información Agraria. Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas (DGESEP). Consultado el 15/10/2024, de https://siea.midagri.gob.pe/portal/siea_bi/index.html.
10. MIDAGRI - Ministerio de Desarrollo de Desarrollo Agrario y Riego (2024b). Plataforma para el análisis multitemporal de la cobertura vegetal, usando imágenes Planet. Sistema integrado de estadística agraria - SIEA. Herramientas tecnológicas satelitales del MIDAGRI. Dirección de Estadística e Información Agraria. Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas (DGESEP).
11. NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (2024). Historical El Niño/ La Niña episodes (1950-present). National Weather Service. Climate Prediction Center. Consultado el 15/10/2024, de https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
12. NASA - National Aeronautics and Space Administration (2024). Langley Research Center (LaRC). Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) | Data Access Viewer (DAV). Project funded through the NASA Earth Science/Applied Science Program. Consultado el 28/10/2024, de [POWER | DAV \(nasa.gov\)](https://power.larc.nasa.gov/)
13. Ozturk, M., Altay, V., Gönenç, 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. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11020295>

14. Pérez D, F. Ribas, A. Moriana y H. F. Rapoport (2008). Influence of temperature on the growth and development of olive (*Olea europaea* L.) trees. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. March 2008. DOI: 10.1080/14620316.2008.11512366
15. Pino-Vargas, E., y Ascencios-Templo, D. (2021). La implementación de veda como una herramienta para controlar la degradación del acuífero costero La Yarada - Los Palos, Tacna, Perú. *Diálogo Andino*, 66, 489-496. <https://doi.org/10.4067/S0719-26812021000300489>
16. Pino V., E., Chávarri V. E., y Ramos F. L. (2018). Crisis de gobernanza y gobernabilidad y sus implicancias en el uso inadecuado del agua subterránea, caso acuífero costero de La Yarada - Los Palos, Tacna, Perú. *Idesia (Arica)*, 36(3), 75-85. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005001301>
17. Pino-Vargas, E. M. y Ascencios, D. (2022). Sostenibilidad del cultivo de olivo bajo un enfoque climatológico en una región árida, cabecera del desierto de Atacama. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(3), e2652. https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2652
18. Pino-Vargas, E. M., & 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. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.013>
19. Rouse J.W., R.H. Haas, J.A. Scheel, D.W. Deering. 1974. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS). Symposium*, vol. 1 (1974), pp. 48-62. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>
20. Ruíz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y R.A. Martínez P (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
21. Sanz-Cortés, F., Martínez-Calvo, J., Badenes, M. L., Bleiholder, H., Hack, H., Llácer, G., Meier, U. (2002). Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea*). *Annals of Applied Biology*, 140, 151–157. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00167>.
22. Sepulveda-Chavera, G. F., Salvatierra-Martínez, R., & Rodríguez-Molina, M. (2013). Sinopsis de la producción olivícola peruana: 2005-2011. *Idesia*, 31(1), 129-134. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292013000100015>
23. Sotomayor, E. M. (2017). El olivo (*Olea europaea* L) en América. *Idesia*, 35(3), 3-6. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292017000300003>



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO

Dirección General de Políticas Agrarias
Dirección de Estudios Económicos
Jr. Cahuide N.º 805, Jesús María, Lima 1

Para mayor información:
estudios-dee@midagri.gob.pe
www.gob.pe/midagri