

Gestión y sostenibilidad ambiental

Artículo de investigación científica y tecnológica

Sostenibilidad del cultivo de olivo bajo un enfoque climatológico en una región árida, cabecera del desierto de Atacama

Sustainability of olive cultivation under a climatological approach in an arid region at the Atacama Desert

 Edwin Martin Pino-Vargas ^{1*}  David Ricardo Ascencios

¹ Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.

² Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

*Autor de correspondencia: Edwin Martin Pino-Vargas, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Ciudad Universitaria, avenida Miraflores S/N, Tacna, Perú.
epinov@unjbg.edu.pe

Recibido: 31 de julio del 2021
Aprobado: 22 de septiembre del 2022
Publicado: 15 de noviembre del 2022

Editor temático: Layanis Mesa Garriga,
(Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]), Bogotá, Colombia.

Para citar este artículo: 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

Resumen: La región de Tacna, Perú, caracterizada por su hiperaridez, se encuentra ubicada en la cabecera del desierto de Atacama, donde la agricultura es uno de los principales sectores económicos y el cambio climático causa grandes impactos, especialmente sobre la sostenibilidad del cultivo de olivo reflejada en la baja producción de aceituna. En este trabajo buscamos identificar la sostenibilidad del cultivo de olivo en la región de Tacna, basada en un enfoque climatológico, correlacionando la producción del cultivo con el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). La sostenibilidad del cultivo está directamente relacionada con el clima, siendo la temperatura el factor principal, con amplitud de tolerancia térmica de -7 °C a 40 °C, amplitud óptima entre 15 °C y 25 °C y amplitud en la región de estudio entre 7 °C y 32 °C, lo que consideramos adecuado según los rangos establecidos, donde se obtienen rendimientos relativamente altos respecto a otras regiones del mundo. Por su lado, el fenómeno ENOS, identificado en los años de baja producción: 1980, 1983, 1992, 1998, 2009, 2015 y 2016, reportó volúmenes de producción que se reducen drásticamente. Un caso muy marcado ocurrió en el año 1998, en el cual la producción nacional (Perú) y regional (Tacna) se redujeron a 1,5 y 1,0 miles de toneladas (t), respectivamente, mientras que los valores máximos corresponden a 190,0 y 148,0 miles de t, respectivamente, para el periodo 1979-2020. Hacia el año 2025, convergen las producciones local y nacional, representando que la local sería el 100 % de la nacional.

Palabras clave: agroexportación, cambio tecnológico, climatología, producción aceituna, *Olea europaea*.

Abstract: The Tacna region, Peru, characterized by its hyper-aridity, is located at the head of the Atacama Desert, where agriculture is one of the main economic sectors and climate change causes great impacts, especially on the sustainability of olive cultivation reflected in low olive production. In this work we seek to identify the sustainability of olive cultivation in the Tacna region, based on a climatological approach, correlating the production of the crop with the El Niño Southern Oscillation (ENSO) phenomenon. The sustainability of the crop is directly related to the climate, with temperature being the main factor, with thermal tolerance amplitude from -7 to 40 °C, optimal amplitude between 15 and 25 °C and amplitude in the study region between 7 and 32 °C, which we consider adequate according to the established ranges, obtaining relatively high yields, compared to other regions of the world. For its part, the ENSO phenomenon, identified in the years of low production 1980, 1983, 1992, 1998, 2009, 2015 and 2016, reported production volumes that are drastically reduced. A very marked case occurred in 1998, in which national (Peru) and regional (Tacna) production fell to 1.5 and 1.0 thousand tons (t), while the maximum values correspond to 190, 0 and 148.0 thousand tons, respectively, for the period 1979 – 2020, respectively. Towards the year 2025, local and national production converge, representing that the local would be 100 % of the national.

Keywords: agroexport, climatology, *Olea europaea*, olive production, technological change.



Introducción

La agricultura es uno de los principales sectores económicos donde el cambio climático presenta grandes impactos, afectando el desarrollo de los cultivos y, en consecuencia, la productividad (Georgopoulou et al., 2017), además se sabe que el 77 % de la superficie mundial de olivares es en secano y el 23 % es de bajo riego (Vilar et al., 2018). Con esto en cuenta, la evaluación de recursos hídricos no convencionales y las técnicas de ahorro de agua han ganado importancia durante las últimas décadas en ambientes áridos y semiáridos (Romero-Trigueros et al., 2019).

En estas regiones (áridas y semiáridas), la vulnerabilidad al cambio climático, combinada con la sobreexplotación de los recursos hídricos, está poniendo en peligro la seguridad alimentaria y el olivo no es ajeno a esta problemática (Abahous et al., 2021), por lo tanto, los olivares representan un sistema agrícola clave con un gran protagonismo económico y medioambiental (Lombardo et al., 2021; Mairech et al., 2021) y el incremento de la temperatura, en alrededor de 3 °C en condiciones invernales suaves, podría generar valores negativos de margen neto y productividad del agua de riego (Cabezas et al., 2021).

Desde los primeros años del descubrimiento de América, fue manifiesta la idea de aclimatar cultivos del viejo mundo en los nuevos territorios americanos y, con ellos, la tecnología de su explotación (Henríquez, 2003). El olivo, originario de Europa, fue trasladado a partir del año 1519 a la América colonial y se reportaron los primeros proyectos de aclimatación (Martínez, 2015).

Las zonas agroecológicas áridas y salinas del norte de Chile y el sur del Perú presentan un enorme potencial agrícola para el cultivo y la explotación agroindustrial de variedades mejoradas y comerciales de olivo (Alfaro et al., 2019). En esta región desértica se cultivan más de 15.000 hectáreas de olivo, con el producto destinado al mercado nacional e internacional, como aceituna en salmuera y aceite de oliva virgen y extra virgen, las condiciones climáticas de la zona permiten a esta región ser la más importante del país por el volumen de producción y su calidad de producto (Dirección Regional de Agricultura de Tacna, 2020). El cultivo principal de aceituna de mesa en Perú es ‘criollo’ y representa el 97 % del total de los olivares (Castillo-Llanque et al., 2008). En Perú, desde 2005, la actividad olivícola muestra un sostenido desarrollo, sustentado por mejoras agronómicas e incorporación de capital, posicionándose competitivamente en la región (Sepulveda-Chavera et al., 2013).

El cambio climático global, especialmente el calentamiento global, está afectando la eficiencia de la producción de aceitunas, así como la calidad de sus productos (Ozturk et al., 2021). En regiones áridas, los ecosistemas terrestres desempeñan un papel importante en los procesos biofísicos al reflejar y absorber la radiación solar y mantener el equilibrio de los componentes atmosféricos (Feng & Squires, 2018). En este sentido, el desierto de Atacama forma uno de los principales desiertos hiperáridos del mundo y la región en estudio tiene un clima hiperárido (Pino, 2019a, b; Pino et al., 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020). Esta característica se ha atribuido a su ubicación subtropical, las aguas frías sobre el adyacente océano Pacífico sudoriental y la presencia de la cordillera de los Andes (Garreaud et al., 2010; Hashim et al., 2019).

En los últimos reportes del comportamiento climático en las regiones norte del desierto de Atacama, sur de Perú y norte de Chile, se presentan anomalías en la precipitación pluvial y que ha evolucionado favorablemente, teniéndose registros de acumulación de agua en forma de pequeñas lagunas, lo que genera un cambio significativo en la disponibilidad hídrica de esta región (Pino-Vargas & Huayna, 2022; Pino-Vargas & Ascencios-Templo, 2021). Asimismo, en los últimos años en esta región del desierto de Atacama se han presentado eventos extraordinarios de precipitación que han generado almacenamientos superficiales, crecimiento de vegetación y flujos en superficie, tipo aluvión, en zonas donde no se presentaban. Las evidencias actuales de cambio climático pueden catalogarse como favorables o desfavorables para la disponibilidad hídrica (Pino & Chávarri, 2022).

Por su parte, la climatología tropical de América del Sur y especialmente del altiplano (figura 1) ha contribuido a una comprensión más profunda de la variabilidad de la precipitación y sus causas en el desierto de Atacama (Espinoza-Molina et al., 2022, Houston, 2006). Esta variación de precipitación espaciotemporal conduce a un sistema hidroclimatológico con inundaciones en verano asociadas con el fenómeno de La Niña y en invierno a lo largo del desierto asociadas con El Niño.

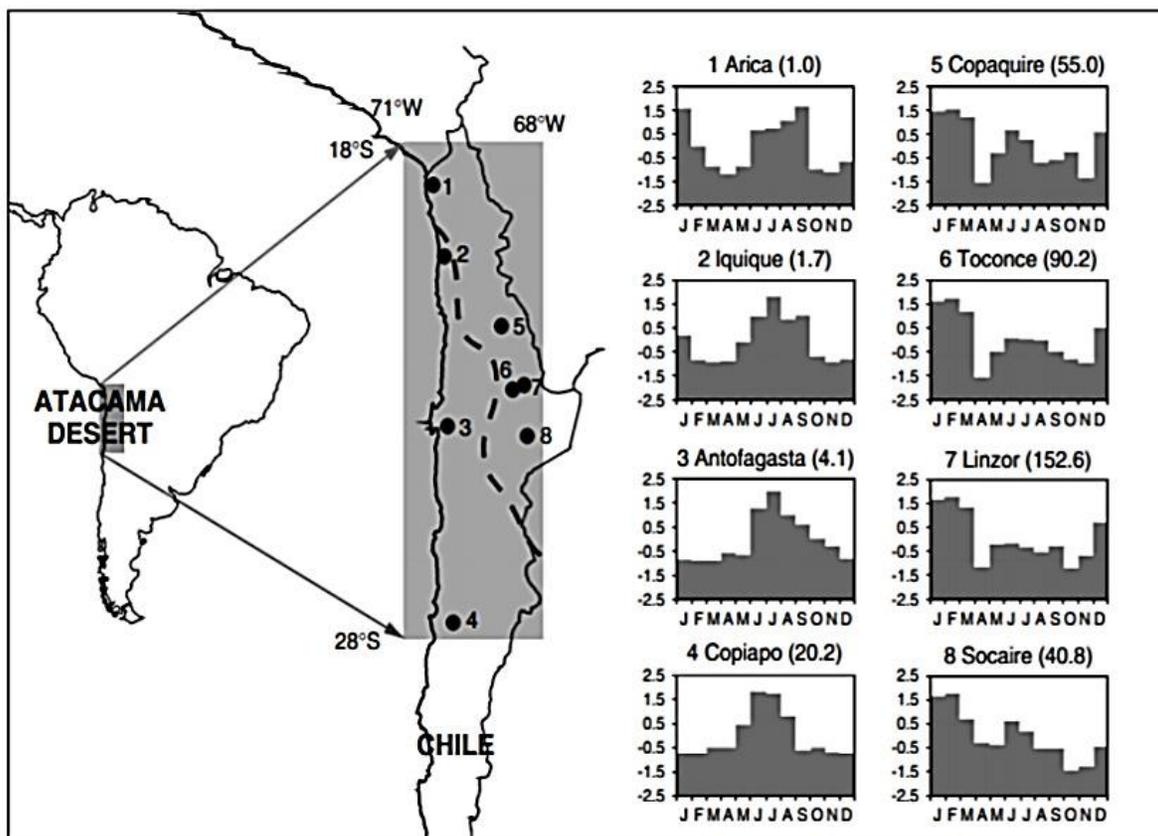


Figura 1. Histogramas de frecuencia mensual de lluvias para cuatro estaciones costeras ubicadas en el desierto de Atacama, se muestra la variación de enero a diciembre de la precipitación total mensual.

Fuente: Houston (2006)

Según Rivera-Díaz (2018), el aporte etnohistórico es una herramienta fundamental para conocer el comportamiento del medioambiente desértico de Atacama en los últimos siglos, donde el desierto experimentó episodios intercalados de condiciones húmedas y áridas. Evidencia de esto se observó en la ciudad de Tacna, donde se registraron flujos de detritos en el verano del 2020, con una recurrencia de 90 años, habiéndose dado un evento anterior de esta magnitud en el año 1927.

En muchas regiones del mundo se evidenciaron fluctuaciones entre el rendimiento de los cultivos y el ENOS (Shmelev et al., 2021), por lo que el enfoque basado en servicios climáticos para los cultivos requiere desarrollar un pronóstico de los rendimientos para estar mejor preparados frente a los riesgos climáticos (Pignède et al., 2021). Hallazgos recientes mostraron que la temperatura afectó de forma significativa y negativamente la producción de los cultivos (He et al., 2022). En este sentido, es importante correlacionar la producción histórica del cultivo de olivo y el factor climático, representado por la temperatura y la ocurrencia de fenómenos ENOS.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la sostenibilidad del cultivo de olivo en la región de Tacna, caracterizada por su hiperaridez y su ubicación en la cabecera del desierto de Atacama, bajo un enfoque de cambio climático, esperándose obtener una correspondencia entre la ocurrencia entre el fenómeno ENOS y la reducción de la producción en el cultivo de olivo.

Materiales y métodos

La evaluación de la sostenibilidad del cultivo de olivo fue basada en un enfoque por cambio climático, el estudio fue de carácter descriptivo, recabando antecedentes de estudios anteriores y reportes estadísticos sobre datos agronómicos, superficies de bajo riego, volúmenes de explotación de agua subterránea y producción y exportación de aceituna peruana a los principales mercados mundiales. Además, se determinaron las características productivas del rubro olivícola, en función de las relaciones entre ellas y basadas en una investigación no experimental de tipo documental y sus tendencias (Hernández et al., 1998).

Asimismo, se analizaron los elementos para caracterizar el cambio climático, las evidencias meteorológicas y las tendencias en el tiempo para correlacionarlos con las series temporales de producción, superficie cultivada y otros. Finalmente, se infirieron tendencias utilizando las series históricas de la región de Tacna, Perú. La información se recopiló estableciendo series a partir del año 1956 y los valores de los registros utilizados se obtuvieron a partir de las bases de datos del Ministerio de Agricultura y Riego de Perú (Minagri), Instituto Nacional de Estadística e Informática (inei) y consultores privados, entre otras fuentes de información.

Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra emplazada en la región de Tacna (figura 2), ubicada en la cabecera del desierto de Atacama y se encuentra en el extremo sur de Perú y al norte de Chile, donde los recursos hídricos superficiales y subterráneos son muy limitados, estos últimos se

encuentran en proceso de contaminación por intrusión marina, debido a la sobreexplotación por problemas de gobernanza y gobernabilidad en la gestión del agua (Pino et al., 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020). En esta región, la disponibilidad de agua para cubrir las demandas de uso poblacional y agrícola son cada vez más escasas (Garreaud et al., 2009, 2010; Houston, 2006; Pino, 2021; Narváez-Montoya et al., 2022; Chucuya et al., 2022; Vera et al., 2021, 2022).

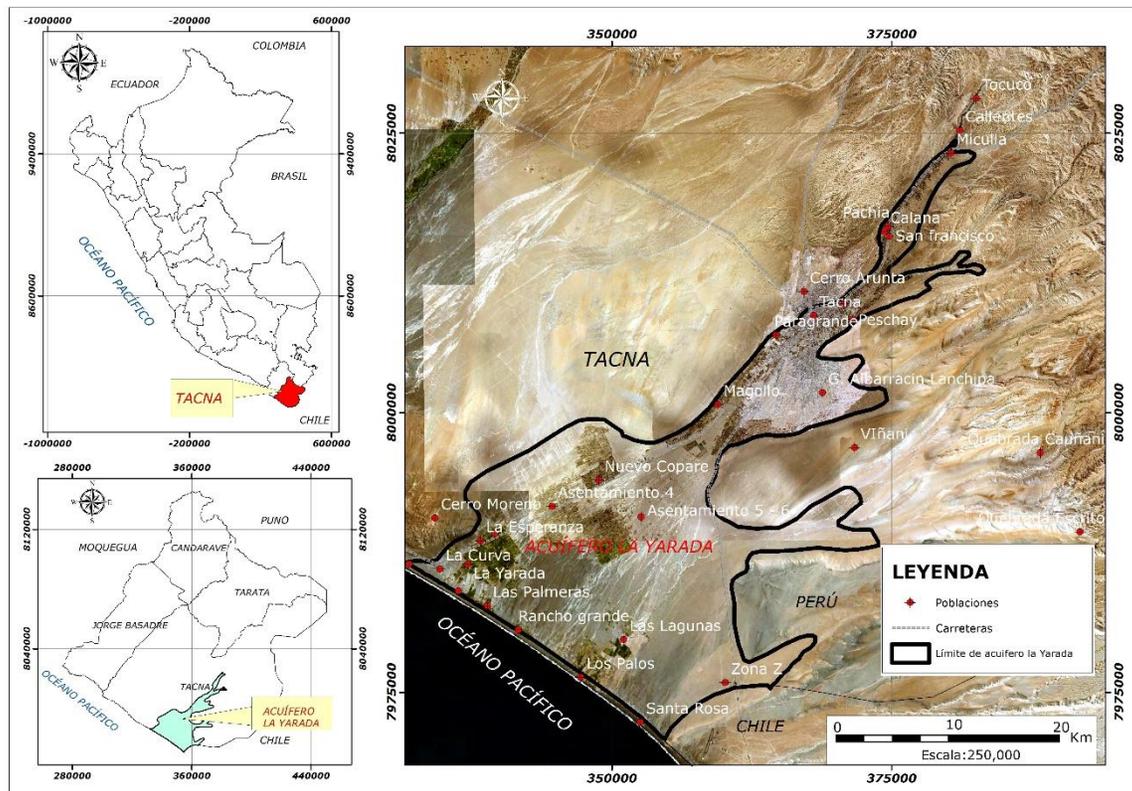


Figura 2. Ubicación de la zona de estudio, zona sur de Perú y límite con el norte de Chile, región que corresponde a la cabecera del desierto de Atacama donde se emplaza el acuífero La Yarada.

Fuente: Pino (2019b)

El cultivo de olivo en la región

En 1560, el olivo se introdujo desde España en Perú y Chile, las primeras plantaciones se hicieron en Lima y posteriormente en los valles de Casma, Huarmey, Acarí, Yauca, Camaná, Ilo y el valle de Azapa en Arica, al norte de Chile. En el año 1753, el cultivo del olivo se introduce en Tacna, al sur de Perú (Sotomayor, 2017). El olivo traído desde Europa se adaptó muy bien en el continente americano y, actualmente, los países sudamericanos han aumentado su superficie implantada con olivos y el volumen de producción gracias al uso de tecnologías de riego de alta

frecuencia, labores culturales y un avanzado manejo agronómico. De las variedades españolas comercializadas en el sur de Perú y el norte de Chile (figura 3), la de mayor importancia económica regional es la Sevillana (Contreras & Tapia, 2016).



Figura 3. (a) Olivares de 25 años de edad en la zona de estudio (irrigación La Yarada-Los Palos), cultivo de Sevillana en producción, marco de 7×7 m, densidad de 200 plantas/ha y sistema de riego por goteo con emisores de 2 l/h a 50 cm en doble hilera. (b) Vuelo de vehículo aéreo no tripulado con cámara infrarroja para la medición de la temperatura. (c) Medición de la temperatura foliar superficial. (d) Medición de la temperatura y la humedad en el suelo.

Fuente: Elaboración propia

El rendimiento (t/ha) del olivo para el año 2017 ubica a Perú en un lugar privilegiado, encabeza la lista Egipto con un rendimiento de 8,7, seguido por Perú con 5,1, Argentina con 2,8, Jordania con 2,5, Grecia con 2,4, Turquía con 1,9, España con 1,8, Italia con 1,7, Marruecos, Portugal y

Argelia con 1,3, Siria con 0,6 y Túnez con 0,2 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018).

Requerimientos de temperatura

En cuanto a las temperaturas máximas, medias y mínimas, se cuenta con la estación meteorológica La Yarada, cuyo periodo de registro data del 1972 al 2020, se ubica en las coordenadas 18° 14'S, 70° 23'O y tiene una altitud de 58 m s.n.m. Las anomalías en las temperaturas máximas y mínimas tienen efectos desfavorables sobre la productividad de aceituna cuando se generan valores fuera del rango óptimo de 15 °C a 25 °C.

Resultados y discusión

En los últimos cinco siglos se han presentado por lo menos 120 episodios de ENOS en Perú y según investigaciones geomorfológicas, sedimentarias y paleontológicas se establece que este fenómeno se da por lo menos desde hace 40.000 años (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi], 2014).

La temperatura es uno de los factores más importante en el desarrollo del cultivo del olivo (Bonofiglio et al., 2008; Cuevas et al., 1994) y el análisis meteorológico demostró que el ciclo biológico de la aceituna estaba muy influenciado por la temperatura (Bonofiglio et al., 2008; Caruso et al., 2008; Cuevas et al., 1994; Lavee & Wodner, 1991), aunque la planta de olivo tolera temperaturas entre -7 °C y 40 °C, la temperatura óptima exigida para el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de frutos es de 15 °C a 25 °C (Ozturk et al., 2021).

En la figura 4 se muestran las temperaturas en la estación La Yarada a nivel diario en el periodo 2005-2020, donde los ciclos regulares de temperatura se repiten, el rango óptimo de desarrollo del cultivo es superado y la tolerancia térmica del cultivo no es superada.

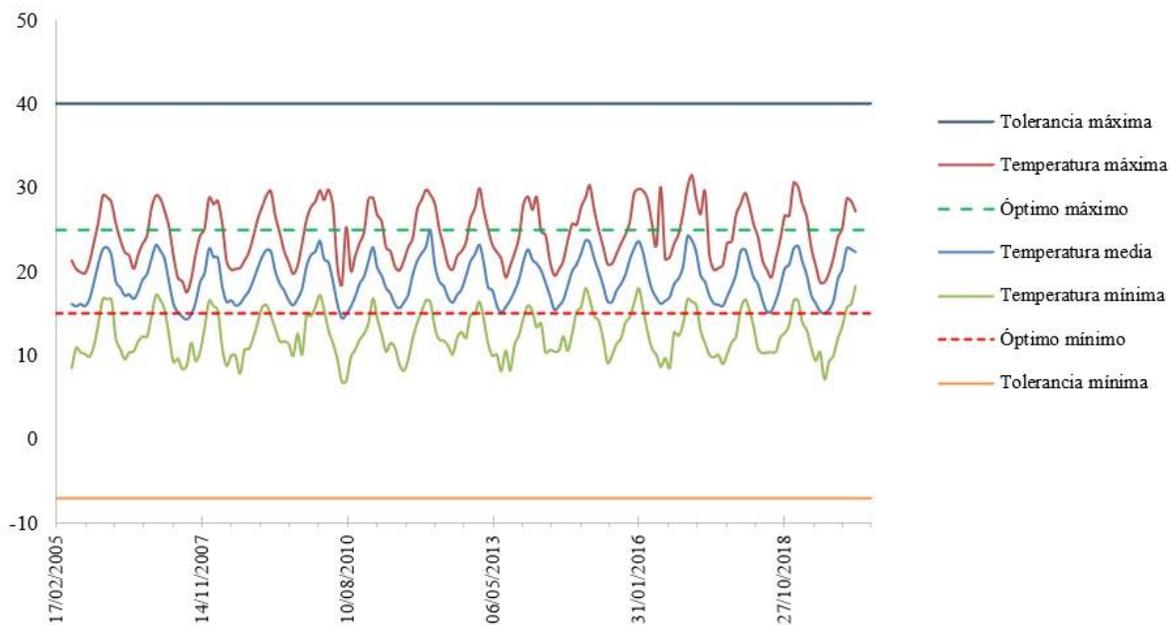


Figura 4. Temperaturas (°C) de la estación La Yarada a nivel diario, periodo 2005-2020.
Fuente: Elaboración propia

En la región de estudio se presentan temperaturas mínimas de 7 °C y máximas de 32 °C, valores que superan los extremos del rango de temperaturas óptimo; sin embargo, no se magnifican a los extremos de las temperaturas tolerantes para este cultivo. Los valores de rendimiento obtenidos en esta región, respecto a otras del mundo, representan valores que se encuentran por encima de estas. En este sentido, los rendimientos promedios para el periodo 2012-2015 fueron de: Italia 2,72 t/ha, España 2,44 t/ha y Grecia 2,16 t/ha (Russo et al., 2016). En Perú fue de 4,49 t/ha y en la región de Tacna fue de 5,41 t/ha (Ministerio de Agricultura, 2020).

Estadísticas de producción

El incremento en la producción de aceitunas en Perú alcanzó niveles significativos desde el enfoque cualitativo y cuantitativo y, a su vez, un importante posicionamiento de sus exportaciones hacia Brasil, Chile, EE. UU. y Japón, entre otros países. Según el Ministerio de Agricultura (2020), del total de producción nacional en Perú, en el año 2020, 86,54 % se produjo en la región de Tacna como primer productor nacional, 7,56 % en Ica, 3,32 % en Arequipa, 2,16 % en Lima y 0,21 % en Moquegua y La Libertad. En la figura 5 se muestra la evolución de la superficie cultivada (ha), el volumen de explotación (hm³), la producción de aceitunas a nivel local (Tacna), nacional (Perú) y mundial.

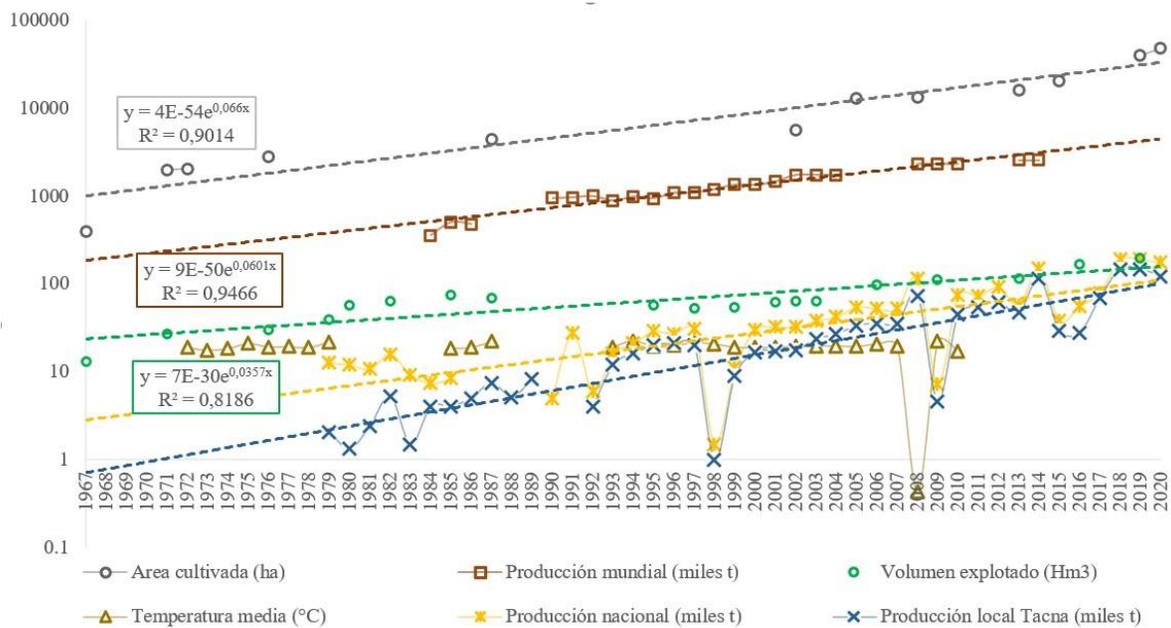


Figura 5. Superficie cultivada (ha) y volumen de explotación (hm^3) en la irrigación La Yarada y producción de aceitunas a nivel local (Tacna), nacional (Perú) y mundial.

Fuente: Elaboración propia con base en Ministerio de Agricultura (2020)

En la figura 5 se puede visualizar la tendencia exponencial en el tiempo (eje de ordenadas en función logarítmica) para la superficie cultivada de olivo ($y = 5E-52e^{0,0636x}$, $r^2 = 0,89$) y el volumen de agua explotado ($y = 7E-30e^{0,0357x}$, $r^2 = 0,82$) del acuífero en la irrigación La Yarada. La producción mundial de aceituna tiene una tendencia similar ($y = 4E-41e^{0,0501x}$, $r^2 = 0,96$) y las producciones nacional y local siguen la misma tendencia, pero se nota que la producción local en la irrigación La Yarada en Tacna presenta un crecimiento a mayor tasa, llegando a cortar la curva de la producción nacional en el año 2020, esto significa que la irrigación La Yarada ha crecido en superficie cultivada y producción en t por año, de forma que representa más del 90 % de la producción nacional.

Por otro lado, se identificaron periodos en los que la producción de aceitunas disminuyó considerablemente, correspondiente a los años 1980, 1983, 1992, 1998, 2009, 2015 y 2016.

El ENOS y el cultivo de olivo

El ENOS es el principal impulsor de la variabilidad climática en ambos lados del Pacífico, vinculando las historias ambientales del desierto de Atacama y las tierras secas de Australia (Williams et al., 2008). El clima es el principal determinante de la productividad agrícola en muchas partes del mundo y gran parte de la variación del clima de un año a otro se atribuye a este fenómeno (Adams et al., 1999; de la Casa et al., 2021). La sequía es un peligro natural importante en el altiplano centroamericano que causa grandes pérdidas agrícolas (Alva et al., 2012; Anderson et al., 2017; Canedo-Rosso et al., 2021) y el ENOS ha sido tratado como un disruptor del equilibrio ambiental y socioeconómico, tanto en la antigüedad como en el Perú

actual (Caramanica et al., 2020). Estudios precedentes establecieron la relación entre la variabilidad de la “Oscilación del Sur” y un clima más seco y húmedo para el oeste de América del Sur, particularmente para el norte de Chile (Amador, 2008; Cid-Serrano, 2015; Gouirand et al., 2014).

Las operaciones agrícolas en el sur de Perú son particularmente vulnerables a la variabilidad climática debido a la escasez de recursos hídricos (Mortensen & Block, 2018). En este sentido, es importante conocer el potencial de un producto seguro basado en el índice ENOS (Luo et al., 1994; Miranda & Farrin, 2012). En el registro histórico de este fenómeno tenemos los que generaron grandes inundaciones y, por otro lado, sequías en el sur de Perú.

El sector de la producción de aceituna es muy importante para varios países del mundo (Jellali et al., 2021) y los eventos extremos de La Niña y El Niño corresponden a rendimientos por debajo del promedio en el cultivo de aceitunas (Abahous et al., 2021).

Se identificaron periodos de ENOS entre los años 1980 y 2016, periodo en el cual disponemos de información de producción nacional y local de aceituna que nos permite analizar la relación entre la reducción de producción de aceituna y este fenómeno climático. En la tabla 1 se muestran valores que denotan esta relación (figura 6).

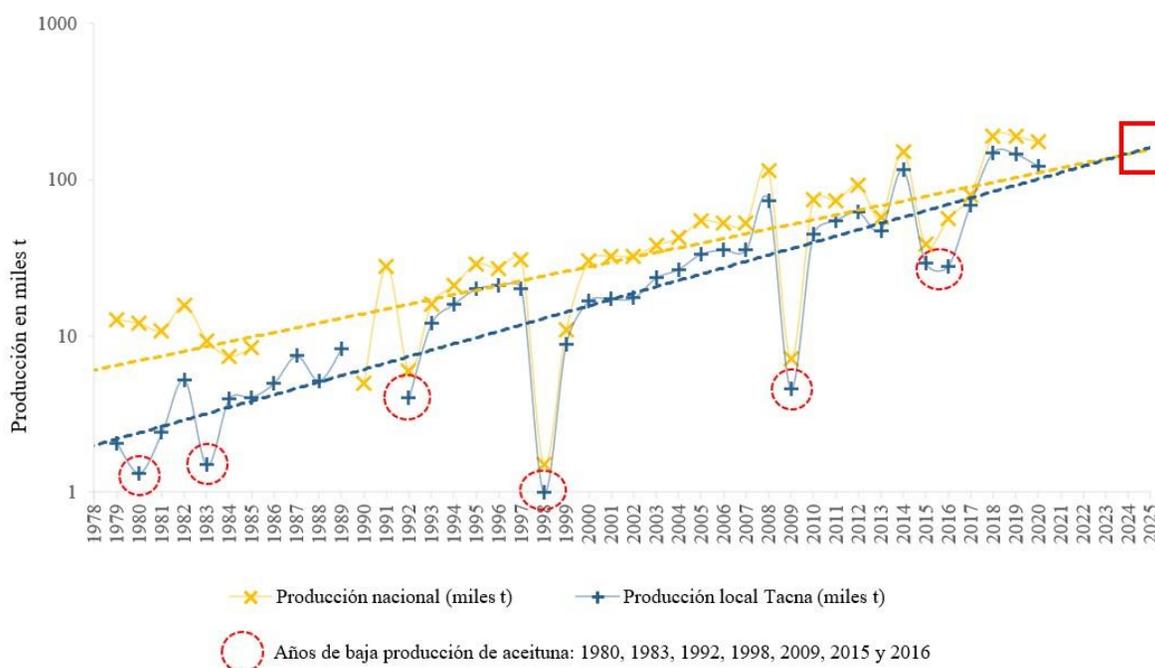


Figura 6. Producción de Perú y Tacna, serie 1979-2020

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Valores bajos de producción de aceituna y fenómeno ENOS

Año	Producción nacional (miles de t)	Producción local de Tacna (miles de t)	Fenómeno ENOS en Perú
1980	12,02	1,33	El ENOS 1982-1983, en la costa norte presentó anomalías entre +8 °C a +10 °C, con precipitaciones de 3000 mm entre septiembre y mayo, generando inundaciones.
1983	9,35	1,49	En el sur creó sequía y un déficit severo de precipitación (Quinn et al., 1987).
1992	6,00	4,00	Anomalías de precipitación en exceso en el norte del país y sequías en el sur (Broecker et al., 1998).
1998	1,50	1,00	El ENOS 1997-1998, en la costa norte presentó anomalías de +10 °C, con precipitaciones de 3000 mm entre septiembre y mayo, generando inundaciones. En el sur creó sequía y un déficit severo de precipitación (Senamhi, 2014).
2009	7,17	4,62	El ENOS debe abordarse como una forma de desorden temporal o como una forma de abundancia periódica en el norte y déficit en el sur (Caramanica et al., 2020).
2015	38,43	29,46	Las anomalías oceánicas y atmosféricas observadas en el Pacífico reflejan un evento ENOS fuerte que continúa evolucionando. El consenso en los modelos predictivos globales sugiere que el fenómeno podría alcanzar su máxima intensidad entre los meses de noviembre del 2015 y enero del 2016 (USAID & OFDA, 2015).
2016	56,20	27,81	

Fuente: Elaboración propia

Los fenómenos ENOS identificados corresponden a los años 1980, 1983, 1992, 1998, 2009, 2015 y 2016. Según la información de la producción presentada en la figura 5, en los años 1980, 1983, 1992, 1998, 2009, 2015 y 2016 se registraron valores bajos de aceituna en la región de Tacna. La tendencia creciente en las curvas se debe al incremento en la superficie de cultivo para el olivo, refrendado por el mayor volumen de explotación y la desmedida cantidad de pozos ilegales perforados en la irrigación de La Yarada. En este sentido, la crisis de gobernabilidad en el uso de aguas subterráneas en el acuífero costero de La Yarada es un elemento que contribuye al agotamiento y el deterioro de la calidad de las aguas subterráneas por procesos de intrusión marina (Pino et al., 2018).

En cuanto a la tendencia de producción nacional, se observa que al año 2025 la producción local de aceituna convergería con la línea de tendencia nacional, lo que representa que la producción de aceituna en la región de estudio corresponde casi al 100 % de la producción nacional (figura 6).

Conclusiones

La región de Tacna se caracteriza por su hiperaridez y su ubicación en la cabecera del desierto de Atacama, la sostenibilidad del cultivo de olivo y la producción de aceituna en la región está directamente relacionada con el clima, en primer lugar, por la temperatura como factor principal, cuya amplitud de tolerancia térmica es de $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la amplitud óptima de temperatura entre $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la región de estudio se registran temperaturas mínimas de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y máximas de $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que consideramos medianamente adecuado en función con los rangos establecidos y los rendimientos obtenidos, respecto a otras regiones del mundo.

Se han identificado años de baja producción (1980, 1983, 1992, 1998, 2009, 2015 y 2016), en los cuales se registró climatológicamente ENOS, por lo que los valores de producción se reducen drásticamente. Un caso muy marcado lo representa el año 1998, en el cual las producciones nacionales (Perú) y regionales (Tacna) se redujeron a 1,5 y 1,0 miles de t, mientras que los valores máximos corresponden a 190,0 y 148,0 miles de t, respectivamente. Según la tendencia de producción, hacia el año 2025 habrá una convergencia entre la cifra local y la nacional, donde la producción local tenderá a ser el 100 % de la producción nacional.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, a los pares revisores y a los editores de esta revista por sus acertados comentarios que ayudaron a mejorar este trabajo.

Descargos de responsabilidad

Los autores de este documento están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- Abahous, H., Bouchaou, L., & Chehbouni, A. (2021). Global climate pattern impacts on long-term olive yields in northwestern Africa: Case from Souss-Massa region. *Sustainability*, 13(3), 1340. <https://doi.org/10.3390/SU13031340>
- Adams, R. M., Chen, C. C., McCarl, B. A., & Weiher, R. F. (1999). The economic consequences of ENSO events for agriculture. *Climate Research*, 13(3), 165-172. <https://doi.org/10.3354/CR013165>
- Alfaro, R. C., García, E. C., Salazar, L., Sepulveda, G., Huarachi, A., & Bartolini, I. (2019). Avances en la investigación colaborativa y control integrado de la “hoja de hoz” en los cultivos de olivo de Tacna y Arica. *Ciencia & Desarrollo*, 7, 7-12. <https://doi.org/10.33326/26176033.2003.7.125>

- Alva, A. K., Moore, A. D., & Collins, H. P. (2012). Impact of Deficit Irrigation on Tuber Yield and Quality of Potato Cultivars. *Journal of Crop Improvement*, 26(2), 211-227. <https://doi.org/10.1080/15427528.2011.626891>
- Amador, J. A. (2008). The Intra-Americas Sea low-level jet: Overview and future research. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146, 153-188. <https://doi.org/10.1196/ANNALS.1446.012>
- Anderson, W., Seager, R., Baethgen, W., & Cane, M. (2017). Life cycles of agriculturally relevant ENSO teleconnections in North and South America. *International Journal of Climatology*, 37(8), 3297-3318. <https://doi.org/10.1002/JOC.4916>
- Bonofiglio, T., Orlandi, F., Sgromo, C., Romano, B., & Fornaciari, M. (2008). Influence of temperature and rainfall on timing of olive (*Olea europaea*) flowering in Southern Italy. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 36(1), 59-69. <https://doi.org/10.1080/01140670809510221>
- Broecker, W. S., Peacock, S. L., Walker, S., Weiss, R., Fahrbach, E., Schroeder, M., Mikolajewicz, U., Heinze, C., Key, R., Peng, T. H., & Rubin, S. (1998). How much deep water is formed in the Southern Ocean? *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 103(C8), 15833-15843. <https://doi.org/10.1029/98JC00248>
- Cabezas, J. M., Ruiz-Ramos, M., Soriano, M. A., Santos, C., Gabaldón-Leal, C., & Lorite, I. J. (2021). Impact of climate change on economic components of Mediterranean olive orchards. *Agricultural Water Management*, 248, 106760. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2021.106760>
- Canedo-Rosso, C., Hochrainer-Stigler, S., Pflug, G., Condori, B., & Berndtsson, R. (2021). Drought impact in the Bolivian Altiplano agriculture associated with the El Niño-Southern Oscillation using satellite imagery data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(3), 995-1010. <https://doi.org/10.5194/NHESS-21-995-2021>
- Caramanica, A., Mesia, L. H., Morales, C. R., Huckleberry, G., Castillo, L., & Quilter, J. (2020). El Niño resilience farming on the north coast of Peru. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(39), 24127-24137. <https://doi.org/10.1073/PNAS.2006519117>
- Caruso, M., La Malfa, S., Pavlíček, T., Frutos Tomás, D., Gentile, A., & Tribulato, E. (2008). Characterisation and assessment of genetic diversity in cultivated and wild carob (*Ceratonia siliqua* L.) genotypes using AFLP markers. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 83(2), 177-182. <https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512367>
- Castillo-Llanque, F. F., Casilla, E. M., & Baumann, H. (2008). Effect of cross-pollination in “Criolla” olives: A typical cultivar of Peru. *Acta Horticulturae*, 791(1), 275-278. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2008.791.39>
- Chucuya, S., Vera, A., Pino-Vargas, E., Steenken, A., Mahlnecht, 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. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052815>
- Cid-Serrano, L. (2015). Analysis of the Latin American west coast rainfall predictability using an ENSO index. *Atmósfera*, 28(3), 191-203. <https://doi.org/10.20937/ATM.2015.28.03.04>
- Contreras, R., & 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>

- Cuevas, J., Rallo, L., & Rapoport, H. F. (1994). Initial fruit set at high temperature in olive, *Olea europaea* L. *Journal of Horticultural Science*, 69(4), 665-672. <https://doi.org/10.1080/14620316.1994.11516498>
- de la Casa, A. C., Ovando, G. G., & Díaz, G. J. (2021). ENSO influence on corn and soybean yields as a base of an early warning system for agriculture in Córdoba, Argentina. *European Journal of Agronomy*, 129, 126340. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126340>
- Dirección Regional de Agricultura de Tacna. (2020). *Dirección de Estadística Agraria: series históricas de producción agrícola 2007-2019*. Dirección Regional de Agricultura de Tacna. https://www.agritacna.gob.pe/link_de_ol_estadi.php
- Espinoza-Molina, J., Acosta-Caipa, K., Chambe-Vega, E., Huayna, G., Pino-Vargas, E., & Abad, J. (2022). Spatiotemporal Analysis of Urban Heat Islands in Relation to Urban Development, in the Vicinity of the Atacama Desert. *Climate*, 10(6), 87. <https://doi.org/10.3390/cli10060087>
- Garreaud, R. D., Molina, A., & Farias, M. (2010). Andean uplift, ocean cooling and Atacama hyperaridity: A climate modeling perspective. *Earth and Planetary Science Letters*, 292(1-2), 39-50. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.01.017>
- Garreaud, R. D., Vuille, M., Compagnucci, R., & Marengo, J. (2009). Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(3-4), 180-195. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.032>
- Feng, H., & Squires, V. (2018). Climate Variability and Impact on Livelihoods in the Cold Arid Qinghai-Tibet Plateau. En M. Gaur, & V. Squires (eds.), *Climate Variability Impacts on Land Use and Livelihoods in Drylands* (pp. 91-112) Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56681-8>
- Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., Vitaliotou, M., Lalas, D. P., Theloudis, I., Giannoulaki, K. D., Dimopoulos, D., & Zavras, V. (2017). Climate change impacts and adaptation options for the Greek agriculture in 2021-2050: A monetary assessment. *Climate Risk Management*, 16, 164-182. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.002>
- Gouirand, I., Moron, V., Hu, Z. Z., & Jha, B. (2014). Influence of the warm pool and cold tongue El Niños on the following Caribbean rainy season rainfall. *Climate Dynamics*, 42(3-4), 919-929. <https://doi.org/10.1007/S00382-013-1753-5>
- Hashim, B. M., Sultan, M. A., Attyia, M. N., Al Maliki, A. A., & Al-Ansari, N. (2019). Change detection and impact of climate changes to Iraqi southern marshes using Landsat 2 MSS, Landsat 8 OLI and Sentinel 2 MSI data and GIS applications. *Applied Sciences (Suiza)*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/app9102016>
- He, W., Chen, W., Chandio, A. A., Zhang, B., & Jiang, Y. (2022). Does Agricultural Credit Mitigate the Effect of Climate Change on Cereal Production? Evidence from Sichuan Province, China. *Atmosphere*, 13, 336. <https://doi.org/10.3390/atmos13020336>
- Henríquez, F. (2003). Productos y organización técnica del trabajo en Azapa durante el siglo XVIII: poniendo chacra de ají, cogiendo aceitunas. *Chungará*, 35(1), 125-140. <https://doi.org/10.4067/S0717-73562003000100006>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1998). *Metodología de la Investigación*. México: Editorial McGraw-Hill.
- Houston, J. (2006). Variability of precipitation in the Atacama Desert: Its causes and hydrological impact. *International Journal of Climatology*, 26(15), 2181-2198. <https://doi.org/10.1002/joc.1359>

- Jellali, A., Hachicha, W., & Aljuaid, A. M. (2021). Sustainable Configuration of the Tunisian Olive Oil Supply Chain Using a Fuzzy TOPSIS-Based Approach. *Sustainability*, 13(2), 722. <https://doi.org/10.3390/SU13020722>
- Lavee, S., & Wodner, M. (1991). Factors affecting the nature of oil accumulation in fruit of olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Journal of Horticultural Science*, 66(5), 583-591. <https://doi.org/10.1080/00221589.1991.11516187>
- Lombardo, L., Farolfi, C., & Capri, E. (2021). Sustainability Certification, a New Path of Value Creation in the Olive Oil Sector: The ITALIAN Case Study. *Foods*, 10(3), 501. <https://doi.org/10.3390/FOODS10030501>
- Luo, H., Skees, J. R., & Marchant, M. A. (1994). Weather Information and the Potential for Intertemporal Adverse Selection in Crop Insurance. *Review of Agricultural Economics*, 16(3), 441.
- Mairech, H., López-Bernal, Á., Moriondo, M., Dibari, C., Regni, L., Proietti, P., Villalobos, F. J., & Testi, L. (2021). Sustainability of olive growing in the Mediterranean area under future climate scenarios: Exploring the effects of intensification and deficit irrigation. *European Journal of Agronomy*, 129, 126319. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2021.126319>
- Martínez, M. M. (2015). El cultivo del olivo en la América colonial. Propuesta de investigación. *Chronica Nova. Revista de Historia Moderna de la Universidad de Granada*, 41. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cnova/article/view/2609>
- Ministerio de Agricultura. (2020). *Aceituna: Un campo fértil para sus inversiones y el desarrollo de sus exportaciones*. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/cendoc/manuales-boletines/aceituna/aceituna_feb11.pdf
- Miranda, M. J., & Farrin, K. (2012). Index insurance for developing countries. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 34(3), 391-427. <https://doi.org/10.1093/AEPP/PPS031>
- Mortensen, E., & Block, P. (2018). ENSO Index-Based Insurance for Agricultural Protection in Southern Peru. *Geosciences*, 8(2), 64. <https://doi.org/10.3390/GEOSCIENCES8020064>
- Narváez-Montoya, C., Torres-Martínez, J., 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(1). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150386>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *Crop statistics*. FAOSTAT. Consultado mayo 15, 2022, en <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- 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>
- Pignède, E., Roudier, P., Diedhiou, A., N'Guessan Bi, V. H., Kobea, A. T., Konaté, D., & Péné, C. B. (2021). Sugarcane Yield Forecast in Ivory Coast (West Africa) Based on Weather and Vegetation Index Data. *Atmosphere*, 12(11), 1459. <https://doi.org/10.3390/atmos12111459>
- 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>

- Pino, E., & Chávarri, E. (2022). Evidencias de cambio climático en la región hiperárida de la Costa sur de Perú, cabecera del desierto de Atacama. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 13(1), 1-34. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2022-01-08>
- Pino, E. (2021). Conflicts over the use of water in an arid region: case of Tacna, Peru. *Diálogo Andino*, 65(2021), 406-415. <http://dialogoandino.cl/wp-content/uploads/2021/07/30-PINO-RDA-65.pdf>
- Pino-Vargas, E., & Ascencios-Templo, D. (2021). La implementación de veda como una herramienta para controlar la degradación del acuífero costero La Yarada, Tacna, Perú. *Diálogo Andino*, 66, 489-496. <https://doi.org/10.4067/S0719-26812021000300489>
- Pino, V. E. (2019a). Drones a tool for efficient agriculture: a high-tech future. *Idesia*, 37(1), 75-84. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000402>
- Pino, V. 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. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000300039>
- Pino, V. 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. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005001301>
- Pino, V. E., Montalván, D. I., Vera, M. A., & Ramos, F. L. (2019a). 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. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000400055>
- 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. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000300021>
- Pino, V. E., Ramos Fernández, L., Avalos, O., Tacora, P., Chavarri, E., Angulo, O., Ascencios Templo, D. R., & Mejía, J. (2019b). 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), 177-214. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-07>
- Pino, V. E., Tacora, P., Steenken, A., Alfaro, L., Valle, A., Chavarri, E., Ascencios Templo, D. R., & 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*, 8(6), 77-99. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-06>
- Quinn, W. H., Neal, V. T., & Mayolo, S. E. (1987). El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 92(C13), 14449-14461. <https://doi.org/10.1029/JC092IC13P14449>
- Rivera-Díaz, M. A. (2018). Bosques de Tamarugos, un acercamiento etnohistórico para el estudio del paleoclima en el desierto de Atacama. *Diálogo Andino*, 56, 119-139. <https://doi.org/10.4067/S0719-26812018000200119>
- Romero-Trigueros, C., Vivaldi, G. A., Nicolás, E. N., Paduano, A., Salcedo, F. P., & Camposeo, S. (2019). Ripening indices, olive yield and oil quality in response to irrigation with saline reclaimed water and deficit strategies. *Frontiers in Plant Science*, 0, 1243. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2019.01243>
- Russo, C., Cappelletti, G. M., Nicoletti, G. M., Di Noia, A. E. & Michalopoulos, G. (2016). Comparison of European Olive Production Systems. *Sustainability*, 8(8), 825. <https://doi.org/10.3390/SU8080825>

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi]. (2014). *El fenómeno El Niño en el Perú*. Senamhi. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Niño-Final_web.pdf
- 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>
- Shmelev, S. E., Salnikov, V., Turulina, G., Polyakova, S., Tazhibayeva, T., Schnitzler, T., & Shmeleva, I. A. (2021). Climate Change and Food Security: The Impact of Some Key Variables on Wheat Yield in Kazakhstan. *Sustainability*, 13(15), 8583. <https://doi.org/10.3390/su13158583>
- Sotomayor, E. M. (2017). El olivo (*Olea europaea* L) en América. *Idesia*, 35(3), 3-6. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292017000300003>
- USAID, & OFDA. (2015). *El Niño Oscilación del Sur (ENOS) 2015-16, Región-Latinoamérica y el Caribe*. <https://drr.fiu.edu/enso-201516/enso-report-dec2015-versin-espaol.pdf>
- Vera, A., Pino-Vargas, E., Verma, M. P., Chucuya, S., Chávarri, E., Canales, M., Torres-Martínez, J. A., Mora, A., & Mahlkecht, 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. <https://doi.org/10.3390/w13223161>
- Vera, A., Verma, M. P., Pino-Vargas, E., & Huayna, G. (2022). Metodología de ponderación morfométrica e hidrogeoquímica para clasificar la susceptibilidad a la meteorización química en las subcuencas del río Caplina, Tacna, Perú. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 13(4), 276-340. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2022-04-06>
- Vilar, J., Pereira, J., Urieta, D., Menor, A., Caño, S., Barreal, J., Velasco, M., & Puentes, P. (2018). *International Olive Growing Worldwide Analysis and Summary*. España: Fundación Caja Rural de Jaén.
- Williams, A., Santoro, C. M., Smith, M. A., & Latorre, C. (2008). The impact of ENSO in the Atacama Desert and Australian arid zone: exploratory time-series analysis of archaeological records. *Chungara*, 40, 245-259. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32609903>