



Scientia Agropecuaria

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

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo

RESEARCH ARTICLE



Spatial-temporal agricultural production of *Citrus x limon* and *Mangifera indica*, using spectral signatures and satellite images

Producción agrícola espacial-temporal del *Citrus x limon* y *Mangifera indica*, mediante firmas espectrales e imágenes de satélite

Cristhian Aldana^{1,*} ; Yesenia Saavedra¹ ; Jhony Gonzales¹ ; David Gálvez¹ ; Claudia Palacios¹ ; William Aldana¹ ; Wilmer Moncada² 

¹ Instituto de Investigación para el Desarrollo Sostenible y Cambio Climático-INDESC, Universidad Nacional de Frontera-UNF, Av. San Hilarión 101, Sullana, Piura. Peru.

² Laboratorio de Teledetección y Energías Renovables-LABTELER, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga-UNSCH, Portal Independencia N° 57, Huamanga, Ayacucho. Peru.

* Corresponding author: caldana@unf.edu.pe (C. Aldana).

Received: 17 September 2021. Accepted: 25 November 2021. Published: 15 December 2021.

Abstract

Agricultural production of *Citrus x limon* (lemon) and *Mangifera indica* (mango) in the Piura region is often affected by environmental-climatic factors, mainly by possible seasonal changes or extreme weather events, such as droughts or El Niño. The objective is to analyze the spatial-temporal agricultural production of lemon and mango, measuring with the FieldSpec4 spectroradiometer, the spectral signature (SF) and Sentinel 2 satellite images (ISS2) of the Chulucanas criollo mango in crops of Pampa Larga-Alvarados-Suyo-Ayabaca and INIA-Hualtaco-Tambogrande-Piura mango germplasm bank, respectively. The method consists of entering each EF in the ISS2 (2019) mosaic of tiles 17MMR-17MNR-17MPR-17MMQ-17MNQ-17MPQ-17MMP-17MNP-17MPP, using SEN2COR280 in SNAP software. The time series of monthly/annual production of lemon and mango were analyzed using data from INEI and SIEA-MIDAGRI-PERU. The results obtained estimate a lemon cultivated area of 27 451.84 ha and mango cultivated area of 22000 ha; higher than the reported harvested area of 16113 ha and 20606 ha, respectively. Mango production 1970-2020, is higher in November-December-January-February, explained by the harvested area in 84.1%, showing seasonality, exponential growth behavior and positive (2003-2020) and negative (1970-2002) anomalies. Monthly lemon production 2007-2020 is seasonal, the annual trend increases by 2.8% despite the existence of negative anomalies in 2017, generated by the effects of the "Coastal El Niño" in its evolutionary flowering process, forecasting improvement in lemon production in Piura, between 2021 and 2022.

Keywords: Agricultural production; *Citrus x limon*; *Mangifera indica*; Spectral signature; Spatial-temporal distribution; Anomalies.

Resumen

La producción agrícola del *Citrus x limon* (limón) y *Mangifera indica* (mango) en la región Piura, muchas veces se ve afectada por factores ambientales-climáticos, principalmente por posibles cambios estacionales o eventos climáticos extremos, como las sequías o El Niño. El objetivo es analizar la producción agrícola espacial-temporal del limón y mango, midiendo con el espectroradiómetro FieldSpec4, la firma espectral (FE) e imágenes de satélite Sentinel 2 (ISS2) del mango criollo de Chulucanas en cultivos de Pampa Larga-Alvarados-Suyo-Ayabaca y banco de germoplasma de mango INIA-Hualtaco-Tambogrande-Piura, respectivamente. El método consiste en introducir cada FE en el mosaico de ISS2 (2019), de los tiles 17MMR-17MNR-17MPR-17MMQ-17MNQ-17MPQ-17MMP-17MNP-17MPP, utilizando SEN2COR280 en el software SNAP. Se analizó las series de tiempo de la producción mensual/anual del limón y del mango, con datos del INEI y SIEA-MIDAGRI-PERÚ. Los resultados obtenidos estiman un área cultivada de limón de 27451,84 ha y de mango de 22000 ha; mayores a la superficie cosechada de 16113 ha y 20606 ha reportadas, respectivamente. La producción de mango 1970-2020, es mayor en noviembre-diciembre-enero-febrero, explicada por el área de superficie cosechada en un 84,1%, presentando estacionalidad, comportamiento exponencial de crecimiento y anomalías positivas (2003-2020) y negativas (1970-2002). La producción mensual de limón 2007-2020 es estacional, la tendencia anual incrementa en 2,8% a pesar de existir anomalías negativas el 2017, generada por efectos del "Niño Costero" en su proceso evolutivo de floración; pronosticando mejoría en la producción de limón en Piura, entre el 2021 al 2022.

Palabras clave: Producción agrícola; *Citrus x limon*; *Mangifera indica*; Firma espectral; Distribución espacial-temporal; Anomalías.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.060>

Cite this article:

Aldana, C., Saavedra, Y., Gonzales, J., Gálvez, D., Palacios, C., Aldana, W., & Moncada, W. (2021). Producción agrícola espacial-temporal del *Citrus x limon* y *Mangifera indica*, mediante firmas espectrales e imágenes de satélite. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 557-570.

1. Introducción

La teledetección espacial permite recopilar determinada información de un objeto o material que se encuentra sobre la superficie de la tierra y a una cierta distancia del sensor de un satélite, a través de la medición de la radiación electromagnética reflejada o transmitida, absorbida y emitida proveniente del sistema tierra-atmósfera (ARSET, 2021). Los diversos materiales reflejan y absorben diferentes longitudes de onda de radiación electromagnética; permitiendo ello, conocer y determinar mediante la identificación y clasificación de parámetros o patrones propios del objeto, el tipo de material que refleja dicha longitud de onda, la cual puede ser detectada por los sensores de un satélite (Zhang et al., 2019). Tal es así que, la correspondencia entre la longitud de onda reflejada y el porcentaje de reflectancia del material sobre la superficie de la tierra, genera una curva de reflectancia especial que se denomina firma espectral, siendo posible determinarla en una imagen óptica procedente de satélites; siendo estas firmas espectrales únicas para cada característica en particular, pues está compuesta por niveles propios de absorción, emisión, reflectancia o transmisión (Machwitz et al., 2019).

En ese sentido, cuando se estudia una cobertura de vegetación o un objeto en particular, se tiene que la vegetación u hoja sana absorbe las longitudes de onda azul y roja; pero la verde, así como el infrarrojo son reflejadas. Ahora, como el espectro visible del ojo humano, no puede identificar la radiación infrarroja, se observa que una vegetación sana tiene siempre el color verde (Zhu et al., 2020). Ello implica que, la firma espectral asociada a la cobertura de vegetación de un cultivo frutal en particular dependerá de las características que contengan sus hojas sanas, basadas, por ejemplo, en su epidermis y mesófilo; incluyendo ello la firma espectral del fruto propiamente dicho (ARSET, 2021).

Tal es así que, debido a la importante presencia en los mercados internacionales de estas frutas de la región, se hace necesario establecer mecanismos que permitan contribuir de manera sistemática y con mayor precisión al monitoreo de la producción agrícola, tanto del *Citrus x limon* (limón) como del *Mangifera indica* (mango). Es por ello que, mediante técnicas de teledetección espacial (imágenes de satélite) y firmas espectrales, es posible desarrollar un estudio sistemático del comportamiento espectral del limón y del mango, lo cual permita estimar su dinámica espacial-temporal en la zona de estudio correspondiente (De Abelleira et al., 2020).

Para la presente investigación se trabajó con dos cultivos frutales, productos bandera de la región Piura, el limón y mango. El limón es un pequeño árbol frutal perenne con espinas, de fruta comestible, de sabor ácido y extremadamente fragante, que se usa principalmente en la alimentación y se exporta a diferentes países del mundo. Diversas investigaciones han concluido que, es de origen híbrido; por lo que, en las colecciones de germoplasma, los frutos ácidos que son similares en forma y color generalmente se les incluye como *Citrus x limon* (Barrett & Rhodes, 1976; Green et al., 1986; Gulsen & Roose, 2001; Handa et al., 1986; Herrero et al., 1996; Malik et al., 1974; Torres et al., 1978).

Ahora bien, los diferentes componentes químicos naturales que contiene el limón cumplen una tarea fundamental al momento de llevar a cabo el análisis espectral del mismo. Entre dichos componentes se tiene el ácido cítrico, ácido ascórbico, minerales y flavonoides, asociado con su contenido de vitamina C entre otros; los cuales contribuyen además al desarrollo de funciones biológicas, que incluyen actividades antioxidantes, antiinflamatorias, anti-alérgicas, antivirales, antiproliferativas, antimutagénicas y anticancerígenas (Benavente-García et al., 1997; Del Río et al., 2004; Elangovan et al., 1994; Rice-Evans et al., 1997).

Por tal motivo, Shawky & Selim (2019), mediante la aplicación del método de infrarrojo cercano (NIR) combinado con quimiometría, estudiaron la diversidad química, discriminación y quimio variedades de las diferentes especies de cítricos involucrados en la investigación; revelando ello, una clara separación entre las especies evaluadas. Adicionalmente, determinaron la relación entre la reflectancia NIR y los bioflavonoides, discriminando diferentes variedades y seleccionando especies de cítricos con cantidades deseadas de bioflavonoides específicos que podrían analizarse con éxito en matrices de plantas complejas (Shawky & Selim, 2019).

Asimismo, la región Piura es considerada la zona más fértil a nivel nacional en producción de mango tanto en calidad y en productividad; pues, su clima seco de zona tropical permite la producción de un mango de color y sabor inmejorables, sin los problemas sanitarios generados por las lluvias tropicales, excepto en los eventos de El Niño (Pérez et al., 2016).

En un contexto similar, con respecto al cultivo de mango, se afirma que, en la pulpa madura del mismo, existen cantidades importantes de ciertos componentes que intervendrían en el análisis espectral de dicha fruta, como los extractos lipófilos, también composiciones predominantes de esteroides y ácidos grasos libres y glicosilados, que representan el 44,8%-70,7% y el 22,6%-41,9%, respectivamente (Anila & Vijayalakshmi, 2003), de la cantidad total de componentes lipofílicos, con efectos beneficiosos reconocibles sobre la nutrición y la salud humana (Vilela et al., 2013).

De lo anteriormente descrito, se afirma que, los componentes químicos y biológicos incluyendo el proceso de fotosíntesis, interactúan en los cultivos de limón y mango; de tal manera que ello, permiten a los sensores de un satélite, captar diferentes tipos de radiación reflejada, en función de un conjunto de parámetros establecidos. La vegetación y las frutas en particular, reflejan ciertas longitudes de onda de radiación solar hacia dichos sensores; donde los cambios en dichas longitudes de onda reflejadas pueden dar lugar a información sobre cualquier cambio en dicha cobertura de vegetación o frutal, de lo que podría estar ocurriendo (Huang et al., 2017). Es aquí, donde la teledetección espacial, se vuelve realmente útil; dado que, es posible utilizar sensores, los cuales son mucho más sensible a las regiones del infrarrojo cercano e infrarrojo medio u otra región infrarroja del espectro, para capturar el comportamiento espectral reflejado por la luz del infrarrojo involucrado, obtenida en términos de la estructura celular interna del fruto estudiado, lo cual con técnicas geoestadísticas es posible mapear la distribución

espacial-temporal de los parámetros asociados para tal fin de éstos frutales (Zhang et al., 2021).

En virtud a la información existente de producción agrícola de los frutales estudiados, cabe indicar que, de acuerdo con el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA), Piura es una de las principales regiones del Perú, productora de limón y mango, estimando una producción de 16904 ha y 20606 ha cultivadas respectivamente; asimismo los territorios de mayor cultivo de dichos frutales en Piura son: Valle de San Lorenzo con 9738 ha, Sullana cuenta con 4108 ha y Chulucanas con 1445 ha de limón respectivamente (López, 2018). En cuanto a la producción de mango, la provincia de Piura cuenta con 16630 ha, Morropón con 3365 ha, Sullana produce 466 ha, Huancabamba cosecha en promedio 86 ha, Ayabaca con 45 ha, Paita 10 ha y Sechura 4 ha (MINAGRI, 2021). En el 2017, SENASA certificó un total de 6 076 toneladas de limón fresco de Piura tanto de las variedades Sutil como Tahití y en el 2019, certificó un total de 431550 toneladas de mango fresco de Piura de todas las variedades sembradas.

Teniendo en cuenta, la información que brinda el Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA), la provincia de Piura tiene una superficie sembrada de mango de 16470 ha, correspondiente al 76,9% de toda la región, seguido de la provincia de Morropón con una superficie de 4164 ha, correspondiente al 19,5% del área de toda la región; luego está la provincia de Sullana con un área de 336 ha sembradas de mango correspondiente a un 1,6% del área de toda la región, siguiendo la provincia de Huancabamba con 220 ha equivalente al 1% del área de toda la región; y por último están las provincias de Ayabaca, Sechura, Paita, Talara con 97 ha todas ellas, equivalente al 1% de toda la región (MINAGRI, 2021). Sin embargo, en contraste con la FAO, este cultivo a nivel internacional, se extendió a lo largo de muchas rutas

comerciales, con cultivos de mango mejor adaptados a condiciones particulares, con una producción mundial aproximada de 40 millones de toneladas (FAO, 2021).

Hasta el primer semestre del 2020, según datos del Ministerio de Agricultura y Riego se estimó que, las exportaciones de limón y mango en la región Piura habían sumado aproximadamente un total de 6368,29 toneladas y 494609 toneladas respectivamente; siendo el principal consumidor de este cítrico, Chile, quien concentra más del 70% del total de las exportaciones de Piura, seguido de Panamá. Asimismo, se considera a Piura como el principal productor de mango de todo el país con más del 66,7% del total de las exportaciones en Perú.

Finalmente, surgió la necesidad de realizar un análisis espacial y temporal de la producción agrícola de limón y mango, mediante firmas espectrales medidas con el espectroradiómetro FieldSpec4 (ASD Inc., 2017) e imágenes de satélite Sentinel 2, en la Región Piura; con la finalidad de estimar de manera sistemática la producción agrícola de dichos cultivos de frutales mediante la firma espectral de cada uno de ellos insertada en las ISS2, las cuales muestran la variación de la radiación reflejada en función de la longitud de onda y el canal empleado (Aldana et al., 2020).

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

La Región Piura, se ubica en la frontera norte del territorio peruano con coordenadas geográficas UTM entre 463903.637 a 698897.919 Latitud Sur y 9295883.143 a 9548747.013 Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich; tiene una superficie continental de 35892,49 km² y superficie insular 1,32 km² que representa el 2,8% del territorio nacional, además de una línea de costa de 392,43 km de largo (Figura 1).

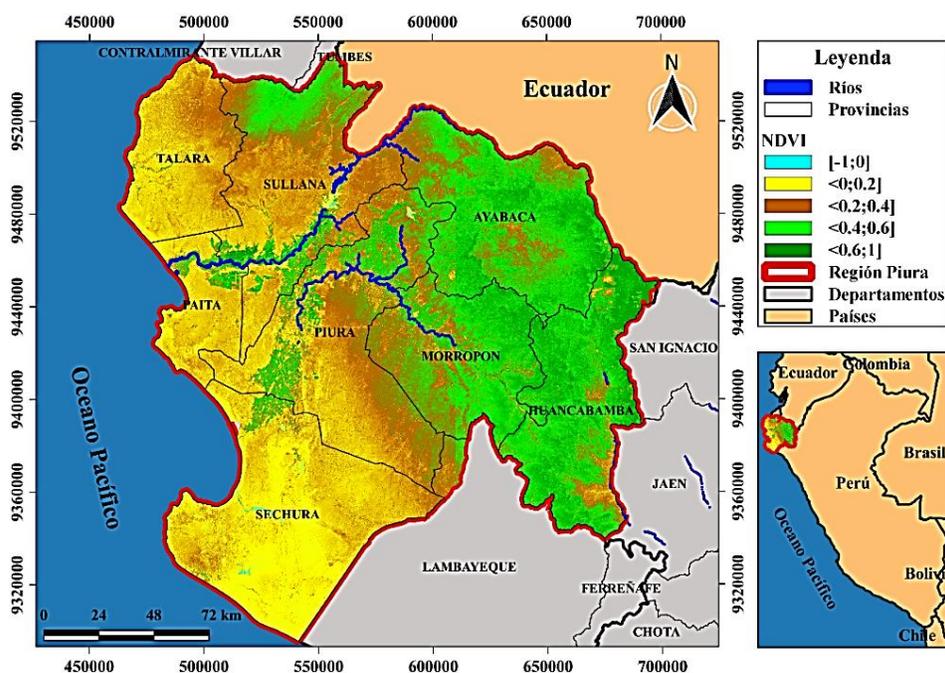


Figura 1. Mapa de zonas agrícolas, bosques y ecosistemas de humedales, según el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas, NDVI, en la región Piura, Perú.

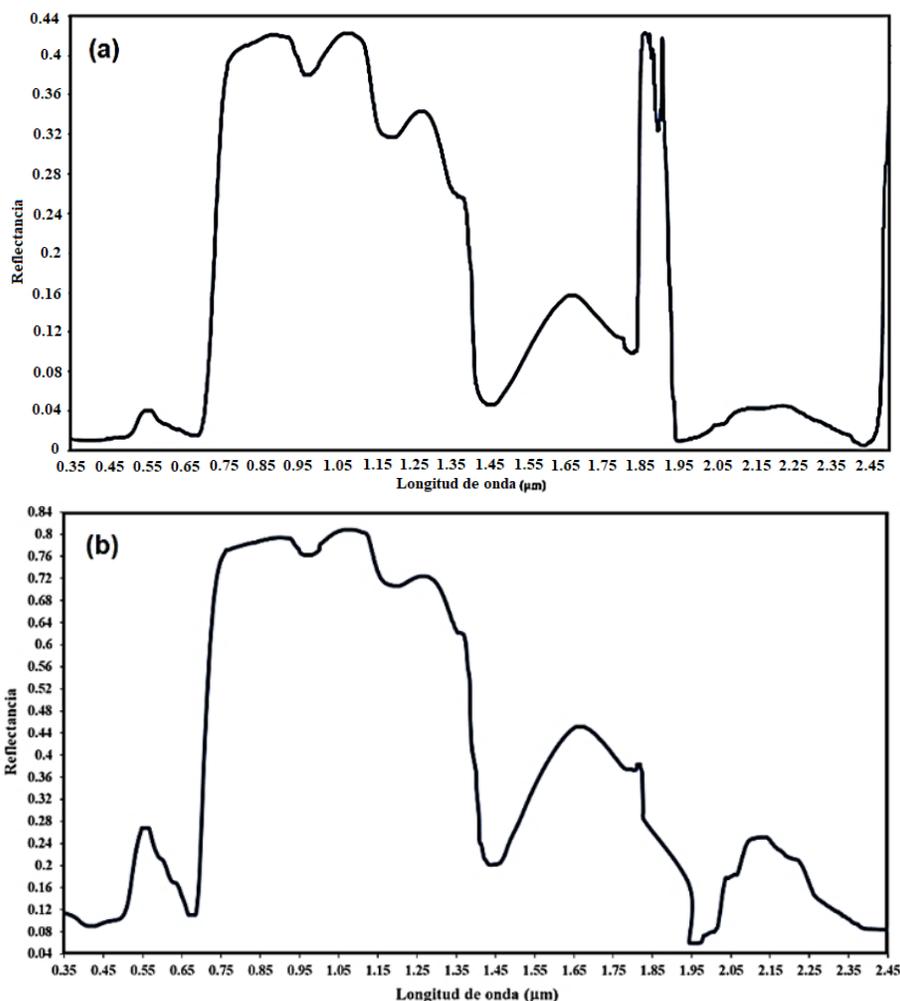


Figura 2. (a) Firma espectral del *Citrus x limon* (limón) ubicados en la Comunidad Campesina Pampa Larga, Alvarados, Distrito de Suyo, Provincia de Ayabaca. (b) Firma Espectral del *Mangifera indica* (mango) criollo de Chulucanas.

Debido a su proximidad con la línea ecuatorial, la temperatura promedio es de 26 °C, presenta características de clima tropical en zona yunga y de sabana tropical a nivel del mar, también se le conoce por seco tropical o bosque seco ecuatorial. Puede llegar a alcanzar una temperatura máxima de 40 °C y mínima de 15 °C. En la zona costera sur, colindando con el Departamento de Lambayeque, existe un clima semi desértico. La sierra piurana tiene un clima húmedo subtropical y templado con un promedio anual de 15 °C. Las ocho provincias de la región Piura se encuentra a diferentes altitudes siendo Ayabaca la de mayor altitud y Paita la de menor, asimismo, Sechura posee una mayor superficie y Paita la menor (Tabla 1).

Gran parte del territorio de la Región Piura se encuentra localizado en la llanura costera (60%) y otra dentro de la cadena andina (40%), lo cual le confiere una fisiografía muy heterogénea con paisajes y ecosistemas muy especiales y diversos. La Tabla 2 muestra la clasificación de la vegetación de acuerdo con el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI), donde se observa

que la mayor parte del área de la región Piura en un 45,7% está ocupada por suelos desnudos seco, las zonas con vegetación dispersa y densa ocupan solo el 27,1% de toda la región Piura.

Tabla 1 Superficie de las Provincias de la Región Piura, Perú, en km²

Ubi-geo	Provincia	Capital	Distritos	Superficie km ²	Altitud (ms.n.m.)
2001	Piura	San Miguel de Piura	10	6211,16	36
2002	Ayabaca	Ayabaca	10	5231,23	2715
2003	Huancabamba	Huancabamba	8	4254,12	1933
2004	Morropón	Chulucanas	10	3818,14	92
2005	Paita	Paita	7	1784,16	2
2006	Sullana	Sullana	8	5424,33	64
2007	Talara	Talara	6	2799,19	5
2008	Sechura	Sechura	6	6370,16	15

Fuente: INEI (2020).

Tabla 2

Clasificación de la cobertura de vegetación en la Región Piura, mediante rango de valores de NDVI

Clase	Rango	Descripción	Área (%)
1	[-1,0; 0,0]	Zonas anómalas con presencia de agua y/o sombras	5,1
2	(0,0; 0,2]	Zonas de suelo desnudo seco	45,7
3	(0,2; 0,4]	Zonas con vegetación escasa y suelo desnudo	22,2
4	(0,4; 0,6]	Zonas con vegetación dispersa	11,5
5	(0,6; 1,0]	Zonas con vegetación densa	15,6

2.2. Firma espectral de *Citrus x limon* (limón) y *Mangifera indica* (mango) en la región Piura

Las firmas espectrales medidas con el espectroradiómetro FieldSpec4 de rango espacial de 0,001 µm de longitud de onda desde los 0,35 µm hasta los 2,5 µm, del limón y mango, **Figura 2**, describen valores bajos de reflectancia en el espectro visible (0,4 a 0,7 µm), con un máximo relativo en la banda del verde (0,55 µm). Por el contrario, la banda del infrarrojo cercano, NIR (0,7 a 1,3 µm), presenta una reflectividad elevada debido a la estructura del mesófilo o tejido interno de las hojas de dichos cultivos frutales, que difunde y dispersa la energía, mientras que las variaciones en la región del infrarrojo medio (1,3 a 2,5 µm) son resultado del efecto absorbente del agua (Chuvieco, 2008). Cabe indicar que, los picos de reflectancia mostrados entre los valores de longitud de onda entre 1,85 a 1,95 µm, corresponden posiblemente a ruidos realizados por la máquina del equipo de medición, en el momento de ser operada en condiciones de temperatura ambiente cercanas al umbral.

2.3. Procesamiento de las imágenes de satélite Sentinel 2 con la firma espectral de *Citrus x limon* (limón) y *Mangifera indica* (mango) en la región de Piura

Las imágenes de satélite Sentinel 2 del servidor Copernicus Open Access Hub de la Agencia Espacial Europea (ESA), que contienen el área en estudio correspondiente a la Región Piura se descargan del enlace: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, su posterior preprocesamiento y procesamiento se realiza con el software SNAP (Sentinel Application Platform), para corregir, calibrar y unir en mosaico. Se consideran las imágenes determinadas por los tiles 20191221T17MMR, 20190922T17MNR, 20191118T17MNR, 20190909T17MPR, 20191012T17MMQ, 20191029T17MNQ, 20191101T17MNQ, 20190731T17MPQ, 20191231T17MMP, 20191012T17MNP, 20191019T17MNP, 20190731T17MPP. El software SNAP se descarga de la plataforma <http://step.esa.int/main/download/snap-download/>, que es una caja de herramientas de código abierto para lectura, preprocesamiento, análisis y visualización. Durante el preprocesamiento, en primer lugar, se importó las imágenes Sentinel 2 al software SNAP para realizar la corrección radiométrica y atmosférica con la herramienta SEN2COR 280 processor V.7.0.0, que generó valores de reflectancia entre 0 y 1, correspondientes a los valores de longitud de onda de las bandas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11 y

12, apiladas en un solo ráster y remuestreadas con Sen2Res a tamaños de píxel de 10 m de resolución (**Tabla 3**).

Tabla 3

Características de las imágenes de Satélite Sentinel 2

Banda	Resolución (m)	Longitud de onda central (nm)	Ancho de banda (nm)	Descripción
B01	60	443	20	Ultra azul, costa y detección de aerosol
B02	10	490	65	Azul
B03	10	560	35	Verde
B04	10	665	30	Rojo
B05	20	705	15	VNIR, clasificación de vegetación
B06	20	740	15	VNIR, clasificación de vegetación
B07	20	783	20	VNIR, clasificación de vegetación
B08	10	842	115	Infrarrojo Cercano
B08A	20	865	20	VNIR, clasificación de vegetación
B09	60	945	20	SWIR, Vapor de Agua
B10	60	1375	30	SWIR, Cirros
B11	20	1610	90	SWIR, discriminación de Nieve / Hielo / Nube
B12	20	2190	180	SWIR, discriminación de Nieve / Hielo / Nube

Fuente: European Space Agency (2017).

Posteriormente, las imágenes preprocesadas se unieron en mosaico para luego ser recortadas con el shape de la Región Piura. Para determinar la cobertura espacial del limón y mango, se utilizó la opción Spectral del software ENVI clásico, a partir de la opción Mapping Methods, para luego elegir la herramienta Linear Spectral Unmixing. Luego, en la ventana Endmember Collection Unmixing, se importó la firma espectral del limón y mango. Para la clasificación correspondiente se eligió la pestaña Algorithm, donde se escogió el algoritmo más conveniente. Dicho procedimiento implicó buscar, ubicar o reconocer valores de reflectancia de cada longitud de onda de la firma espectral en cada píxel de la imagen Sentinel 2 para la clasificación del limón y mango en la Región Piura.

2.4. Cálculo del NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)

Se realiza a través de valores de reflectancia de las bandas NIR (Near Infrared Spectroscopy) y Rojo (Huete et al., 2002): $NDVI = (NIR - Rojo) / (NIR + Rojo)$ (Ecuación 1). Los rangos de valores de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) para la clasificación de la cobertura de vegetación, **Tabla 2** (Olivo, 2017).

2.5. Producción agrícola de *Citrus x limon* (limón) y *Mangifera indica* (mango) en la región de Piura

En la región Piura existen cerca de 12 mil hectáreas cultivadas con limón cuyo rendimiento es 4 de aproximadamente 10 t/ha, como promedio, muy lejos aún

del rendimiento potencial de 20 TM/ha para el limón, que es un producto muy utilizado, tanto con fines de consumo humano, uso gastronómico; así como, para la industrialización y transformación en aceite esencial y cáscara deshidratada.

Para el mango, se tiene un estimado de 20606 ha cultivadas, siendo su rendimiento de 20,9 t/ha mayor al rendimiento potencial de 17,4 t/ha para el mango como promedio. En la temporada 2020, se alcanzó una producción agrícola de mango de 494609 toneladas, según datos del Ministerio de Agricultura y Riego, proclamándose como el principal productor de mango de todo el país con más del 66,7% del total de las exportaciones en Perú, seguido de la provincia de Lambayeque con 52504 toneladas, Cajamarca con 11028 toneladas, Lima con 7875 toneladas, Ica con 7496 toneladas, entre otras. El mango es utilizado en un 40% de su producción agrícola para consumo humano en uso gastronómico, y el 60% restante para industrialización entre otros (Pardo-Andreu et al., 2008).

3. Resultados y discusión

3.1. Distribución espacial de *Citrus x limon* (limón) y *Mangifera indica* (mango) en la región de Piura

Los valores de reflectancia correspondientes a su longitud de onda de las firmas espectrales del limón y mango se caracterizan en el mosaico de imagen de satélite Sentinel

2, obteniéndose los mapas de cobertura de la distribución espacial del cultivo de limón y de mango en la Región Piura tal como se observa en la **Figura 3**.

Se estima que el área de superficie cultivada de limón es de 27451,84 ha, que de acuerdo con el informe del Ministerio de Agricultura y Riego (INEI, 2020), durante el año 2019, se reportó un área de superficie cosechada de cultivo de limón de 16113 ha, indicando una diferencia de un área de 11338,84 ha de limón que no está siendo reportada, o que tal vez corresponda a cosechas para el comercio local. Asimismo, se ha estimado que el área de superficie cultivada de mango es de 22000 ha, que de acuerdo con el informe del Ministerio de Agricultura y Riego (INEI, 2020), durante el año 2020, se reportó un área de superficie cosechada de cultivo de mango de 20 606 ha, existiendo un área diferencial de 1394 ha de mango que no está siendo reportada.

3.2. Producción agrícola de *Citrus x limon* (limón) en la región de Piura, 2007-2020

La **Tabla 4** muestra la producción agrícola mensual de limón en la Región Piura, desde el año 2007 al 2020. Los datos fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú (INEI, 2020), correspondiente a las provincias de la región Piura que aparecen en la **Tabla 1**, siendo Piura, Sullana, Morropón, Huancabamba y Ayabaca, las zonas con mayor producción en toda la región Piura.

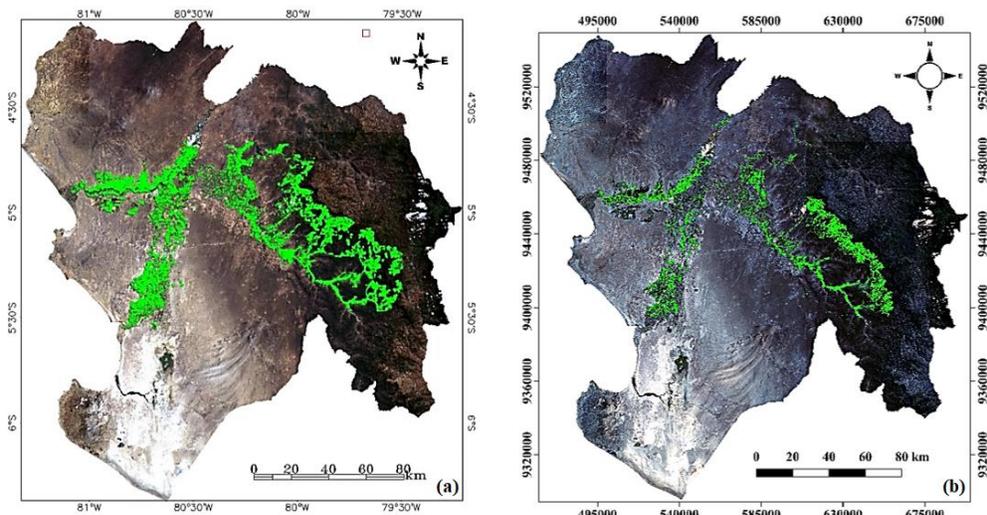


Figura 3. (a) Distribución espacial del limón. (b) Distribución espacial del mango. Región Piura, Perú.

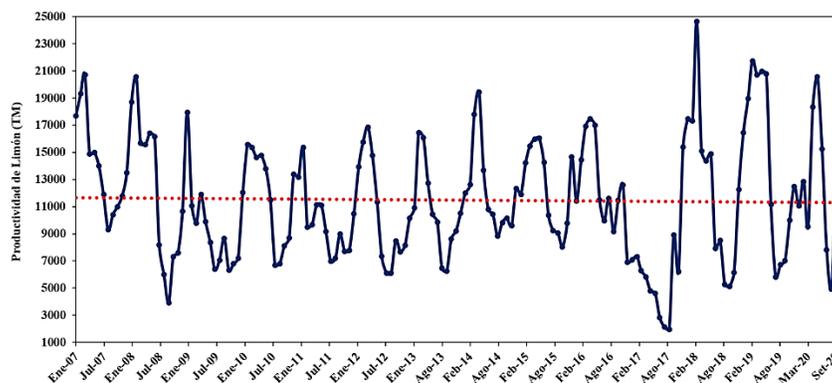


Figura 4. Serie de tiempo de la producción agrícola mensual de limón en la Región Piura, desde el año 2007 al 2020.

Tabla 4
Producción agrícola mensual de Limón en Toneladas Métricas, Región Piura, año 2007 al 2020

Mes	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ene	17700	18700	17956	12052	13164	10478	10154	12012	11912	11442	7077	17456	16440	11054
Feb	19327	20583	11046	15589	15349	13943	10918	12608	14218	14433	7320	17311	18973	12857
Mar	20700	15700	9796	15376	9501	15763	16455	17793	15471	16913	6286	24650	21737	9528
Abr	14900	15563	11881	14647	9690	16866	16077	19446	15987	17470	5815	15113	20716	18327
May	15000	16413	9906	14782	11130	14771	12730	13698	16041	16984	4781	14368	20970	20585
Jun	14000	16142	8362	13786	11106	11348	10429	10801	14251	11481	4611	14881	20794	15231
Jul	11900	8200	6395	11489	9166	7333	9867	10439	10359	9959	2831	7942	11157	7819
Ago	9300	5985	7069	6697	6977	6122	6455	8844	9238	11620	2123	8513	5822	4933
Set	10400	3932	8643	6815	7198	6090	6235	9835	9073	9163	1954	5278	6727	12319
Oct	11000	7300	6319	8106	8971	8489	8605	10138	8043	11450	8905	5108	6999	12341
Nov	11800	7600	6787	8684	7703	7679	9204	9600	9776	12587	6224	6154	9995	8740
Dic	13500	10662	7206	13381	7798	8149	10517	12344	14674	6903	15410	12244	12476	11758
Suma	169527	146780	111366	141404	117753	127031	127646	147558	149043	150405	73337	149018	172806	145492

Fuente: INEI (2020).

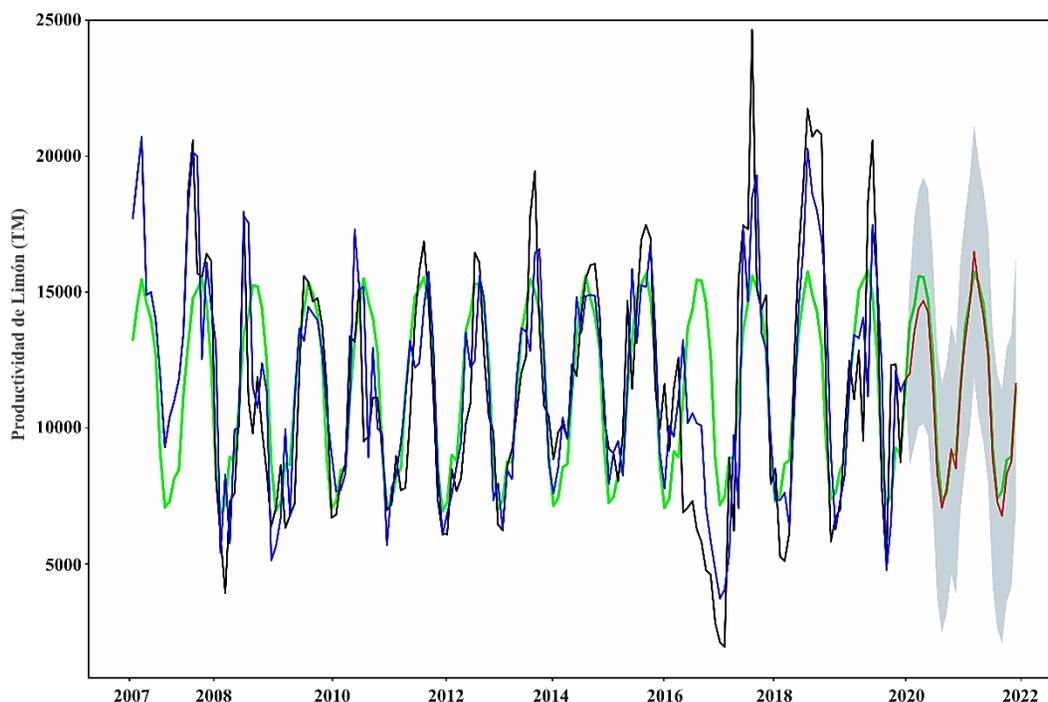


Figura 5. Pronóstico de la producción agrícola mensual de limón en la Región Piura, para los años 2021 y 2022.

En la **Figura 4** se observa la serie de tiempo de la producción agrícola mensual de limón en toda la Región Piura, desde enero del 2007 a diciembre del 2020. Para evaluar la normalidad de los datos se aplicó la prueba de Lilliefors (Lilliefors, 1967), siendo ésta la prueba mejorada de Kolmogorov-Smirnov, la cual da un *p*-valor de 0,1129 mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), por lo que se concluye que los datos provienen de una distribución normal, por lo que el sesgo generado en el pronóstico es menor.

Por otro lado, es posible estimar el pronóstico de la producción agrícola mensual de limón en la Región Piura para los años 2021 y 2022 (Moncada & Willems, 2020), donde se observa que el comportamiento de la producción es estacional siguiendo una tendencia creciente en los últimos años, **Figura 5**, por lo que se espera una mayor producción a inicios del año 2022.

La estacionalidad de la producción agrícola de limón en la región Piura, se muestra en la **Figura 6**, donde se observa una mayor producción en los meses de marzo y abril, siendo diciembre el comienzo de la producción. Los meses de menor producción son agosto y setiembre de dicho periodo.

La **Figura 7** muestra la descomposición de la serie de tiempo de la producción agrícola mensual de limón en tres componentes: estacional, tendencia y residuo. La componente estacional se asume que es constante para cada año, por lo que se demuestra que la evolución de la producción mensual de limón con el paso de los años mantiene un patrón. La componente de tendencia muestra un pronunciado decrecimiento en la evolución de la producción agrícola mensual desde el 2007 al 2010, pero en 2011 se observa un ligero incremento que con el paso de los años se mantiene constante, acentuándose en

un significativo decremento en el 2017 para incrementar en los subsiguientes años. Entre el 2018 al 2020, la producción agrícola de limón es mucho mayor que en los años anteriores, por lo que se podría inferir que la serie de tendencia que se presenta desde el 2007 al 2020 es "creciente" en los dos últimos años. En la componente de residuo se muestra la presencia de muchas variaciones, lo

que implica la existencia de estacionariedad, justificando el diagrama de cajas (Figura 6).

La tendencia anual de la producción agrícola anual de limón (PL) en la Región Piura, desde el 2007 al 2020, sigue el comportamiento del modelo determinado por la Ecuación 2 (Figura 8): $PL = 187,78 * Año - 240289$.

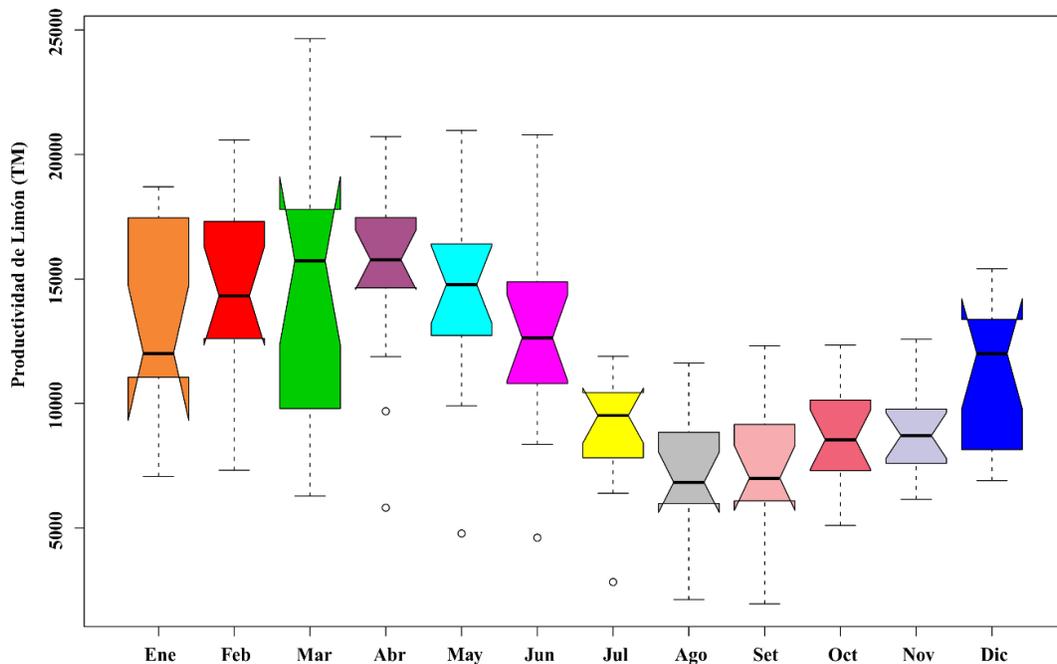


Figura 6. Diagrama de cajas de la estacionalidad de producción agrícola de limón en la Región Piura.

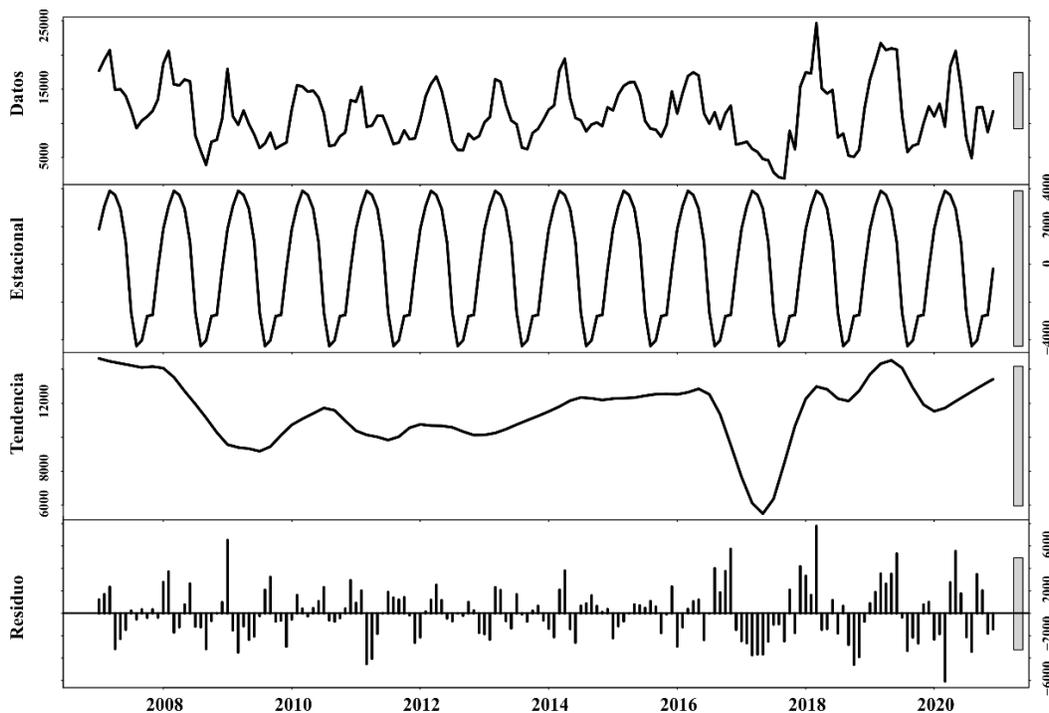


Figura 7. Descomposición de la serie de tiempo de la productividad mensual de limón en la Región Piura, 2007 al 2020.

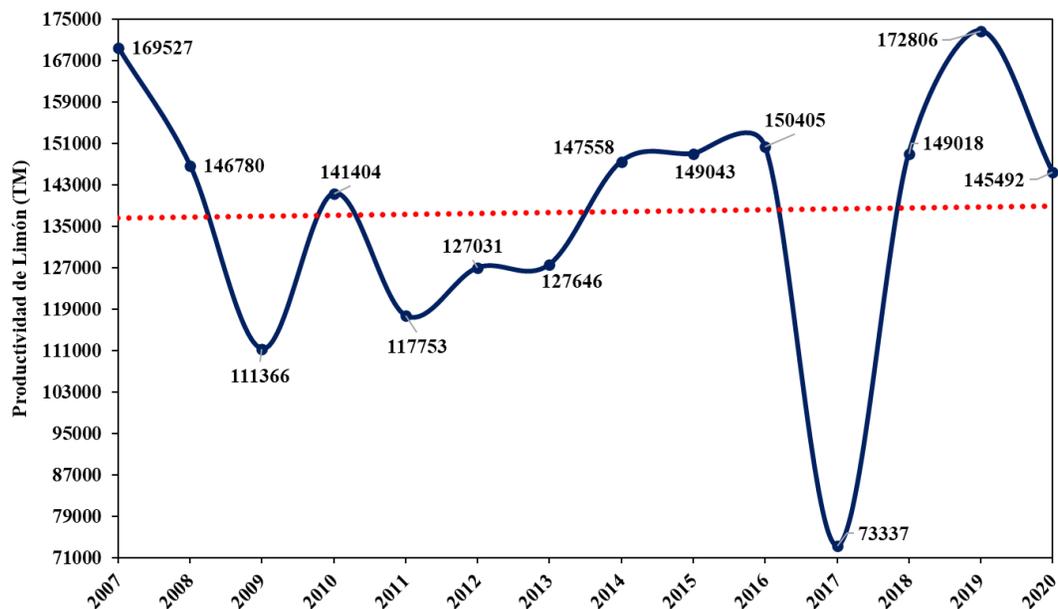


Figura 8. Tendencia anual de la producción agrícola de limón en la Región Piura, 2007 al 2020.

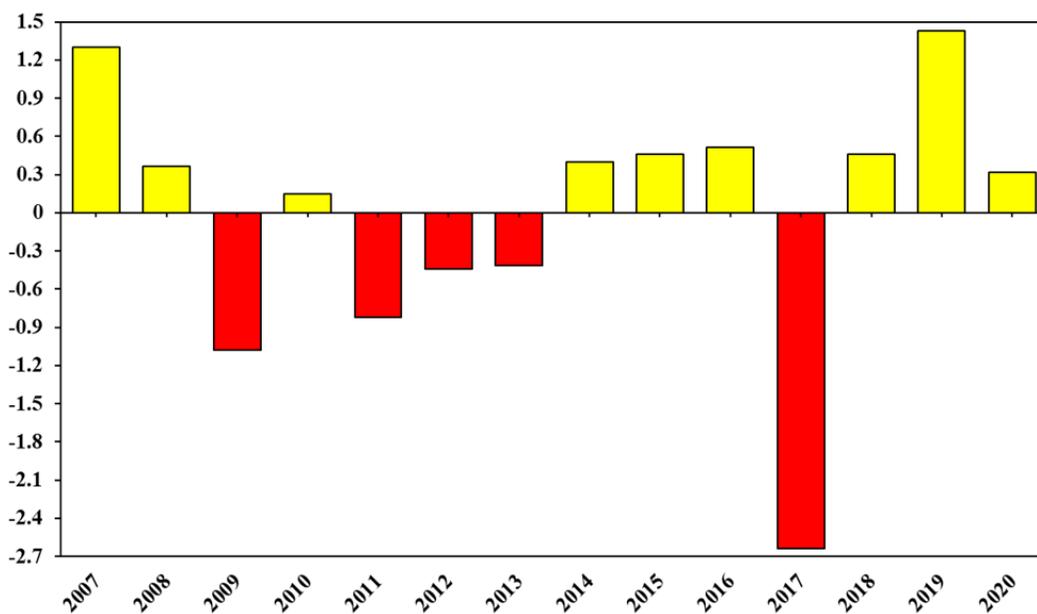


Figura 9. Anomalías estandarizadas de la producción agrícola anual de limón en la Región Piura, 2007 al 2020.

En el año 2007, la producción agrícola media anual fue de 135271 t y en el 2020 fue de 139026,6 t. Siguiendo el comportamiento de la línea de tendencia anual, desde el 2007 al 2020, la producción agrícola media anual aumentó en 3755,6 t, equivalente al 2,8% con respecto a su valor inicial, en 14 años, a pesar de haber experimentado un significativo decremento el 2017, justificado por la posible variación de algunos parámetros hidrológicos y climáticos, como la disminución de la precipitación, el incremento de la temperatura superficial del suelo, el aumento de la evapotranspiración o el incremento de la temperatura máxima del aire. La Figura

9 muestra las anomalías estandarizadas de la producción agrícola anual de limón en la Región Piura, se observan anomalías positivas en amarillo con un significativo incremento el 2007, 2008, 2010, del 2014 al 2016 y del 2018 al 2020, destacando 2019 con un valor de 172806 t como uno de los años con mayor producción durante el periodo de estudio. Las anomalías negativas en rojo se dan en los años 2009, del 2011 al 2013 y el 2017, resaltando 2017 con un valor medio anual de 73 337 t como uno de los años más bajos en producción de limón durante el periodo de estudio. El grado de fiabilidad de los resultados es del 95,1% equivalente a un error del 4,9 %.

3.3. Producción agrícola de *Mangifera indica* (mango) en la región de Piura, 1970-2020

Los datos de superficie cosechada (ha) de mango, muestran en la **Tabla 5**, el rendimiento de la producción de mango (kg/ha); así como su producción (TM) anual en la Región Piura, desde el año 1970 al 2020; además del cálculo de las anomalías estandarizadas en dicha producción, estimadas con datos proporcionados por el Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA), del Ministerio de Agricultura y Riego (**MINAGRI, 2021**).

En la **Figura 10** se observa el comportamiento de la producción agrícola anual de mango y de la superficie cosechada en toda la Región Piura, desde 1970 al 2020. Ambos experimentan el mismo comportamiento de crecimiento, a excepción de algunos años atípicos como el 2009 y el 2012 donde el área de superficie cosechada es mucho mayor que la producción, o como los años 1994, 1995, 1999, 2002 al 2004, 2010 y 2020 donde la producción es mayor que el área de superficie cosechada.

Tabla 5

Datos de superficie cosechada, rendimiento y producción agrícola anual de mango, Región Piura, año 1970 al 2020

Año	Cosecha (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (t)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})/\sigma$
1970	1712	10669	18266	-103052,43	10619803611,79	-0,9822
1971	1593	9006	14346	-106972,43	11443101073,75	-1,0196
1972	2213	14667	32457	-88861,43	7896353985,58	-0,8469
1973	2390	14172	33871	-87447,43	7647053253,66	-0,8335
1974	2435	14868	36204	-85114,43	7244466427,87	-0,8112
1975	3305	7999	26437	-94881,43	9002486019,30	-0,9043
1976	3315	8498	28170	-93148,43	8676630267,17	-0,8878
1977	4345	11790	51229	-70089,43	4912528390,13	-0,6680
1978	4361	10424	45459	-75859,43	5754653328,17	-0,7230
1979	4383	10368	45443	-75875,43	5757081085,97	-0,7232
1980	4403	6996	30805	-90513,43	8192681258,83	-0,8627
1981	4578	10594	48500	-72818,43	5302523947,56	-0,6940
1982	4384	7496	32863	-88455,43	7824363339,30	-0,8431
1983	4228	7377	31188	-90130,43	8123494659,40	-0,8590
1984	5014	13622	68299	-53019,43	2811060103,07	-0,5053
1985	4758	13990	66564	-54754,43	2998047754,93	-0,5219
1986	3397	17442	59252	-62066,43	3852241903,32	-0,5916
1987	3433	8349	28662	-92656,43	8585214274,70	-0,8831
1988	3388	14846	50298	-71020,43	5043901672,34	-0,6769
1989	2713	13100	35540	-85778,43	7357939288,74	-0,8176
1990	3547	9200	32632	-88686,43	7865283109,60	-0,8453
1991	3539	11280	39920	-81398,43	6625704629,91	-0,7758
1992	3641	10630	38705	-82613,43	6824979043,15	-0,7874
1993	3496	14348	50161	-71157,43	5063380039,54	-0,6782
1994	5946	19211	114226	-7092,43	50302582,77	-0,0676
1995	4442	19974	88723	-32595,43	1062462146,36	-0,3107
1996	5834	10366	60474	-60844,43	3702044829,05	-0,5799
1997	6732	10481	70557	-50761,43	2576722914,99	-0,4838
1998	5896	16369	96510	-24808,43	615458267,17	-0,2364
1999	6309	19177	120985	-333,43	111176,48	-0,0032
2000	6660	10459	69656	-51662,43	2669006815,32	-0,4924
2001	6580	14212	93513	-27805,43	773142013,81	-0,2650
2002	7359	16648	122515	1196,57	1431776,48	0,0114
2003	6487	20426	132502	11183,57	125072207,24	0,1066
2004	9027	22739	205269	83950,57	7047697972,87	0,8001
2005	9080	18758	170324	49005,57	2401545756,50	0,4671
2006	15495	16018	248205	126886,57	16100201298,05	1,2094
2007	15594	14991	233773	112454,57	12646030005,19	1,0718
2008	15598	14605	227810	106491,57	11340454188,74	1,0150
2009	15776	7331	115658	-5660,43	32040483,32	-0,0539
2010	15919	22588	359580	238261,57	56768575084,81	2,2709
2011	15707	15983	251048	129729,57	16829760976,26	1,2365
2012	17039	6036	102846	-18472,43	341230720,81	-0,1761
2013	21720	16113	349970	228651,57	52281539835,79	2,1793
2014	21718	12814	278285	156966,57	24638503666,68	1,4961
2015	19876	13000	258119	136800,57	18714395576,79	1,3039
2016	13376	21000	275272	153953,57	23701701293,13	1,4673
2017	19833	13819	274074	152755,57	23334263746,70	1,4559
2018	19840	13476	267363	146044,57	21329016025,58	1,3920
2019	19848	21871	304946	183627,57	33719083960,03	1,7502
2020	18555	16633	349766	228447,57	52188291611,79	2,1773
Promedio	8447	13663	121318	Desviación Estándar Muestral (σ) = 104920,45		

Fuente: Sistema Integrado de Estadística Agraria – SIEA (**MINAGRI, 2021**).

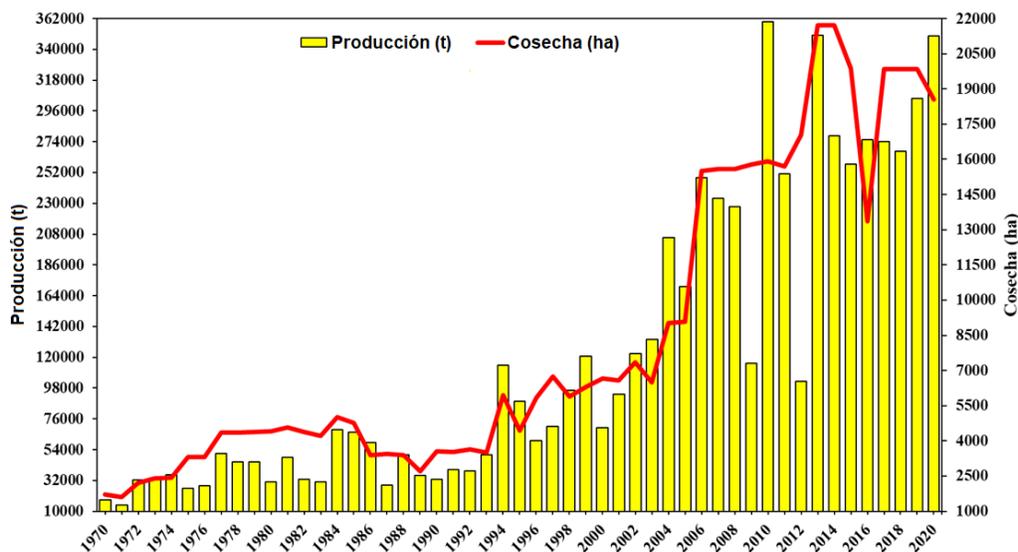


Figura 10. Comparación de la producción anual de mango con el área cosechada en la Región Piura, desde el año 1970 al 2020.

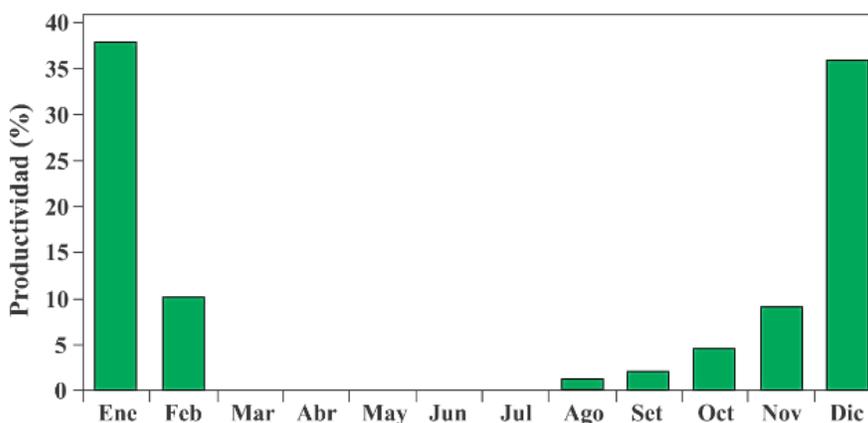


Figura 11. Estacionalidad de producción agrícola de mango en la Región Piura. Fuente: Sistema Integrado de Estadística Agraria – SIEA (MINAGRI, 2021).

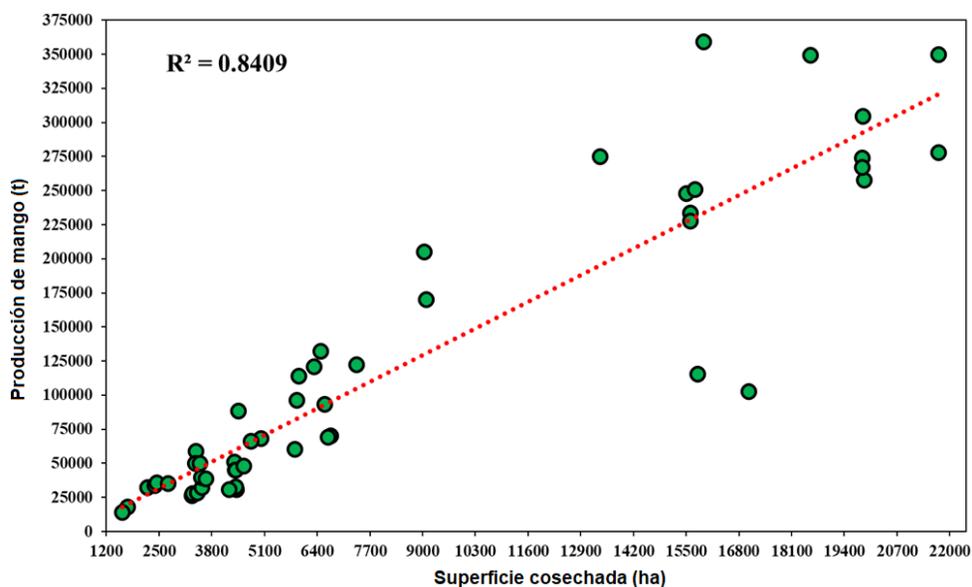


Figura 12. Correlación de los datos de producción agrícola anual de mango con respecto a la superficie cosechada en la Región Piura, 1970 al 2020.

La estacionalidad de la producción agrícola de mango en la región Piura, se muestra en la **Figura 11**, donde se observa una mayor producción en los noviembre, diciembre, enero y febrero, siendo enero el de mayor producción, seguido de diciembre, febrero y noviembre. Asimismo, los meses de menor producción son agosto, setiembre y octubre.

La **Figura 12** muestra la correlación de la producción agrícola anual de mango con respecto al área de superficie cosechada. Se observa que el área de superficie cosechada (Área) explica en un 84,1% al comportamiento de la producción de mango (PM) siguiendo el modelo: $PM = 15,044*(Área) - 5761,1$ (**Ecuación 3**). Lo que implica, que la alta correlación entre estas dos variables justifica la existencia de estacionariedad de la **Figura 11**.

La tendencia anual de la producción agrícola anual de mango (PM) en la Región Piura, desde 1970 al 2020, sigue el comportamiento del modelo determinado por la ecuación 4, conforme se muestra en la Figura 13: $PM = 3*10^{-44}e^{0,0559(Año)}$.

En 1970, la producción agrícola media anual fue de 25121,22 t y en el 2020 fue de 328689,29 t. Siguiendo el

comportamiento de la línea de tendencia anual, desde 1970 al 2020, la producción media anual aumento en 303568.07 t, equivalente al 92.4% del valor actual, en 51 años, experimentado de esta manera un fuerte incremento exponencial en los últimos años, justificado la variación de algunos parámetros hidrológicos y climáticos, como el incremento de la temperatura superficial del suelo, el aumento de la evapotranspiración o el incremento de la temperatura máxima del aire.

La **Figura 14** muestra las anomalías estandarizadas de la producción agrícola anual de mango en la Región Piura, se observan anomalías positivas en amarillo con un significativo incremento a partir del año 2003 hasta el 2020, destacando años con valores altos como el 2010 con un valor de 359580 t como uno de los años con mayor producción durante el periodo de estudio. Las anomalías negativas en rojo se dan desde 1970 hasta el 2002, resaltando 1971 con un valor mínimo de 14346 t como uno de los años más bajos en producción agrícola de mango durante el periodo de estudio. El grado de fiabilidad de los resultados es del 87,8% equivalente a un error del 12,2%.

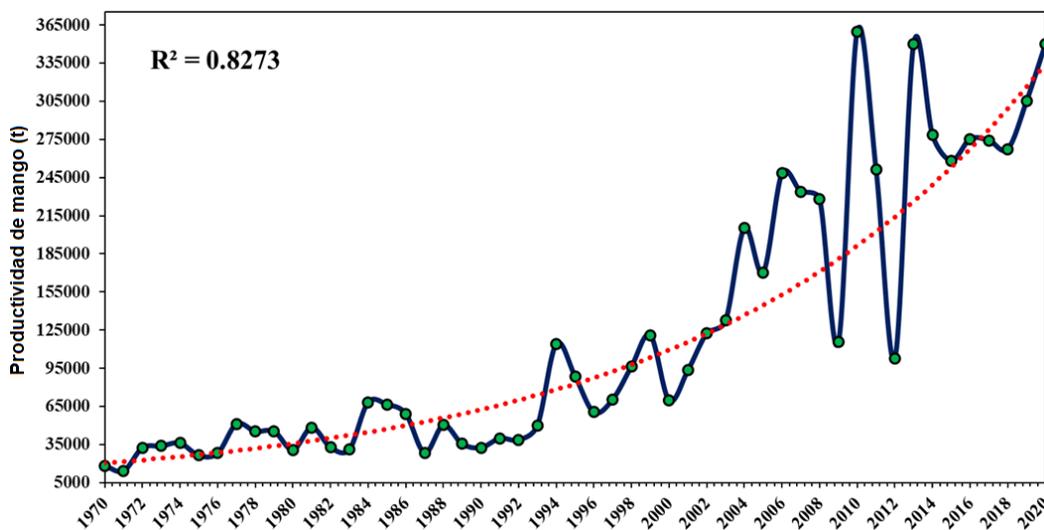


Figura 13. Tendencia anual de la producción agrícola de mango en la Región Piura, 1970 al 2020.

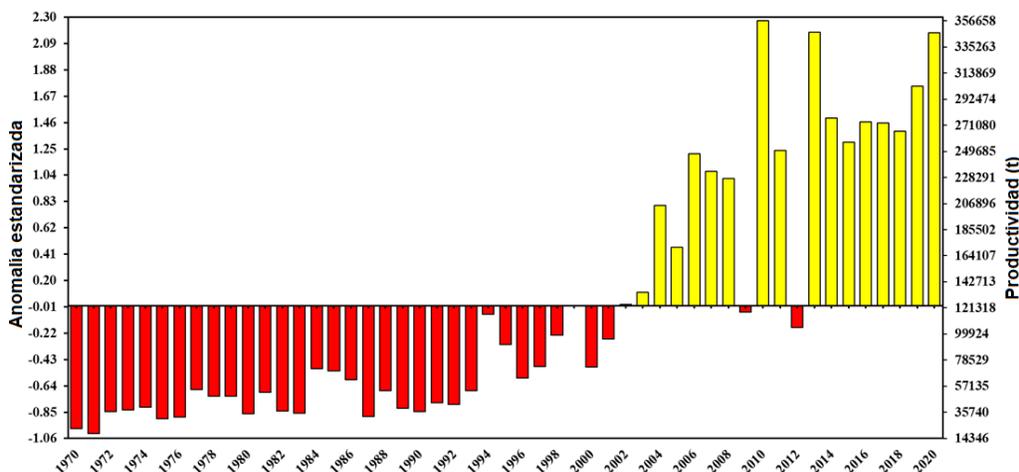


Figura 14. Anomalías estandarizadas de la producción agrícola anual de mango en la Región Piura, 1970 al 2020.

4. Conclusiones

La distribución espacial del cultivo de limón y mango en la Región Piura con imágenes Sentinel 2 y firmas espectrales del espectroradiómetro FieldSpec4, generó un área cultivada de 27451,84 ha y 20606 ha respectivamente; las cuales son mayores al área de la superficie cosechada de 16113 ha y 20606 ha de cada uno. Los datos de producción agrícola mensual de limón provienen de una distribución normal, con ligera tendencia creciente en los últimos años, esperando una mejoría en la producción para el 2022, considerando que la mayor producción agrícola estacional se da en marzo y abril, y la menor en agosto y setiembre.

La cuantificación de las anomalías positivas y negativas de la producción anual de limón demuestra que entre el 2018 y el 2020 existió un notable incremento. La tendencia anual de la producción de limón desde el 2007 al 2020 evidencia un significativo incremento de 3755,6 t equivalente al 2,8% de la producción inicial con un error del 4,9%, evidenciándose que la anomalía negativa de 2017 se debe a que la producción del limón se vio afectada por efectos del "Niño Costero" en su proceso evolutivo de floración, esperándose una recuperación de la producción limón en los próximos meses.

Finalmente, la producción del mango evidencia su estacionalidad, con mayor producción en noviembre, diciembre, enero y febrero, estación de verano. La variable área de superficie cosechada explica en un 84,1% a la producción de mango en la región Piura justificando la existencia de estacionalidad y siguiendo el comportamiento exponencial de crecimiento de su producción, experimentando un crecimiento de 303568,07 t, equivalente al 92,4% del valor actual, en 51 años de datos, con un error del 12,2%. La cuantificación de las anomalías positivas y negativas de la producción anual de mango demuestra que entre el 2003 y el 2020 existe un incremento significativo con máximos en el 2010 y 2020. en contraste con los años 1970 al 2002, donde se tienen anomalías negativas por debajo del valor medio anual.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Unidad de Proyectos de Investigación y Capacitación y el Instituto de Investigación en Desarrollo sostenible y Cambio Climático de la Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Piura, Perú. Los autores agradecen al MIDAGRI e INEI-Perú por los datos proporcionados; así como al Laboratorio de Teledetección y Energías Renovables, LABTELER, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú; por su apoyo en la toma de firmas espectrales con el espectroradiómetro "FieldSpec4".

ORCID

C. Aldana  <https://orcid.org/0000-0002-6890-5370>
 Y. Saavedra  <https://orcid.org/0000-0002-9559-773X>
 J. Gonzales  <https://orcid.org/0000-0003-4551-6089>
 D. Gálvez  <https://orcid.org/0000-0002-4263-9844>
 C. Palacios  <https://orcid.org/0000-0001-5738-5384>
 W. Aldana  <https://orcid.org/0000-0003-4079-0601>
 W. Moncada  <https://orcid.org/0000-0002-1648-2361>

Referencias bibliográficas

Aldana, C., Revilla, M., Gonzales, J., Saavedra, Y., Moncada, W., & Maicelo, J. (2020). Spectral signatures for the identification of

dry forest using Sentinel-2 images over the Lower Basin of the Chira river, Piura region. *Revista de Teledetección*, 56, 147-156.

- Anila, L., & Vijayalakshmi, N. R. (2003). Antioxidant action of flavonoids from *Mangifera indica* and *Emblca officinalis* in hypercholesterolemic rats. *Food Chemistry*, 83(4), 569-574.
- ARSET. (2021). Applied Remote Sensing Training Program. Fundamentals of Remote Sensing. Earth Science Applied Sciences. NASA. EEUU.
- ASD Inc. (2017). FieldSpec 4 Hi-Res High Resolution Spectroradiometer.
- Barrett, H. C., & Rhodes, A. M. (1976). A Numerical Taxonomic Study of Affinity Relationships in Cultivated Citrus and Its Close Relatives. *Systematic Botany*, 1(2), 105-136.
- Benavente-García, O., Castillo, J., Marín, F. R., Ortuño, A., & Del Río, J. A. (1997). Uses and Properties of Citrus Flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(12), 4505-4515.
- Chuvieco, E. (2008). Teledetección ambiental (Tercera). Grupo Planeta (GBS).
- De Abelleira, D., Veron, S., Bancharo, S., Mosciaro, M. J., Propato, T., et al. (2020). First large extent and high resolution cropland and crop type map of Argentina. *IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS)*, 2020, 392-396.
- Del Río, J. A., Fuster, M. D., Gómez, P., Porras, I., García-Lidón, A., & Ortuño, A. (2004). Citrus limon: A source of flavonoids of pharmaceutical interest. *Food Chemistry*, 84(3), 457-461.
- Elangovan, V., Sekar, N., & Govindasamy, S. (1994). Chemopreventive potential of dietary bioflavonoids against 20-methylcholanthrene-induced tumorigenesis. *Cancer Letters*, 87(1), 107-113.
- European Space Agency. (2017). Sentinel-2. European Space Agency.
- FAO. (2021). FAOSTAT. Food and Agriculture Organization (FAO).
- Green, R. M., Vardi, A., & Galun, E. (1986). The plastome of Citrus. Physical map, variation among Citrus cultivars and species and comparison with related genera. TAG. Theoretical and Applied Genetics. *Theoretische Und Angewandte Genetik*, 72(2), 170-177.
- Gulsen, O., & Roose, M. L. (2001). Lemons: Diversity and Relationships with Selected Citrus Genotypes as Measured with Nuclear Genome Markers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 126(3), 309-317.
- Handa, T., Ishizawa, Y., & Oogaki, C. (1986). Phylogenetic study of Fraction I protein in the genus Citrus and its close related genera. *The Japanese Journal of Genetics*, 61(1), 15-24.
- Herrero, R., Asins, M. J., Carbonell, E. A., & Navarro, L. (1996). Genetic diversity in the orange subfamily Aurantioidae. I. Intraspecific and intragenus genetic variability. *Theoretical and Applied Genetics*, 92(5), 599-609.
- Huang, J., Hou, Y., Su, W., Liu, J., & Zhu, D. (2017). Mapping corn and soybean cropped area with GF-1 WFV data. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 33, 164-170.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1), 195-213.
- INEI. (2020). Instituto Nacional de Estadística e Informática. Perú.
- Lilliefors, H. W. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 62(318), 399-402.
- López, J. P. (2018). Propuesta de mejora del proceso de cultivo de limón basado en modelos predictivos de rendimiento agrícola en los valles: Alto Piura y San Lorenzo.
- Machwitz, M., Hass, E., Junk, J., Udelhoven, T., & Schlerf, M. (2019). CropGIS – A web application for the spatial and temporal visualization of past, present and future crop biomass development. *Computers and Electronics in Agriculture*, 161, 185-193.
- Malik, M., Scora, R., & Soost, R. (1974). Studies on the origin of the lemon. *Hilgardia*, 42(9), 361-382.

- MINAGRI. (2021). Sistema Integrado de Estadística Agraria—SIEA. Calendario de siembras y cosechas.
- Moncada, W., & Willems, B. (2020). Tendencia anual del caudal de salida, en referencia al caudal ecológico en la Microcuenca Apacheta / Ayacucho / Perú, del 2000 al 2018. *Ecología Aplicada*, 19(2), 93-102.
- Olivo, A. (2017). Clasificación de la vegetación del Karst de Sierra de las Nieves, utilizando imágenes Landsat (east=-4.935092899999972; north=36.7229828; name=Sierra de las Nieves, Málaga, Andalucía, España).
- Pardo-Andreu, G. L., Barrios, M. F., Curti, C., Hernández, I., Merino, N., et al. (2008). Protective effects of *Mangifera indica* L extract (Vimang), and its major component mangiferin, on iron-induced oxidative damage to rat serum and liver. *Pharmacological Research*, 57(1), 79-86.
- Pérez, V., Herrero, M., & Hormaza, J. I. (2016). Self-fertility and preferential cross-fertilization in mango (*Mangifera indica*). *Scientia Horticulturae*, 213, 373-378.
- Rice-Evans, C., Miller, N., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, 2(4), 152-159.
- Shawky, E., & Selim, D. A. (2019). NIR spectroscopy-multivariate analysis for discrimination and bioactive compounds prediction of different Citrus species peels. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 219, 1-7.
- Torres, A. M., Soost, R. K., & Diedenhofen, U. (1978). Leaf Isozymes as Genetic Markers in Citrus. *American Journal of Botany*, 65(8), 869-881.
- Vilela, C., Santos, S. A. O., Oliveira, L., Camacho, J. F., Cordeiro, N., Freire, C. S. R., & Silvestre, A. J. D. (2013). The ripe pulp of *Mangifera indica* L.: A rich source of phytosterols and other lipophilic phytochemicals. *Food Research International*, 54(2), 1535-1540.
- Zhang, D., Dai, Z., Xu, X., Yang, G., Meng, Y., et al. (2021). Crop classification of modern agricultural park based on time-series Sentinel-2 images. *Infrared and Laser Engineering*, 50(5), 20200318.
- Zhang, D., Wang, C., & Li, X. (2019). Yield gap and production constraints of mango (*Mangifera indica*) cropping systems in Tianyang County, China. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(8), 1726-1736.
- Zhu, X., Xu, D., Xin, X., Shen, B., Ding, L., et al. (2020). The spatial-temporal distribution of different grassland types in hulunber grassland based on remote sensing from 1992 to 2015. *Scientia Agricultura Sinica*, 53(13), 2715-2727.