

BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

VOLUMEN 34, Número 1



Enero - Junio 2019
Callao, Perú



PERÚ

Ministerio
de la Producción

FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LA LAGUNA LA NIÑA 2017, UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES MODIS-AQUA

FORMATION AND EVOLUTION OF THE LA NIÑA LAGOON, USING MODIS-AQUA SATELLITE IMAGES

Luis Escudero¹Han Xu¹

RESUMEN

ESCUDERO L, XU H. 2019. *Formación y evolución de la laguna La Niña 2017, utilizando imágenes satelitales MODIS-Aqua. Bol Inst Mar Perú. 34(1): 105-114.*- La laguna La Niña se ubica en la región de Piura y su formación se produce por el incremento de caudal de los ríos Piura, Cascal y Motupe, cuando ocurren eventos extraordinarios de El Niño. Este cuerpo de agua se ha convertido en un importante ecosistema acuático que permite desarrollar la pesca a la población circundante. Durante el desarrollo de El Niño costero 2017 (enero a noviembre 2017) nuevamente se generó esta laguna, la que se monitoreó diariamente desde su formación utilizando imágenes de satélite MODIS-Aqua con resolución espacial de 500 m, recepcionadas y procesadas por la estación TeraScan del IMARPE. El área de la laguna se determinó con base en el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) y se estimó el volumen de agua con información del Modelo de Elevación Digital (DEM) GDEM-ASTER de la NASA. La laguna empezó a formarse a finales de enero 2017 y alcanzó su máxima extensión el 5 de abril (2.172 km²), con volumen aproximado de 5,18x10⁹ m³, esta área no fue mayor a la registrada durante El Niño 1997-98 cuando se estimó en 2.326 km². El porcentaje de crecimiento fue 33,3% por semana desde el 7 de febrero al 5 de abril y 34,1% del área máxima fue reducida hasta el 4 de noviembre.

PALABRAS CLAVE: laguna La Niña, MODIS-AQUA, TeraScan

ABSTRACT

ESCUDERO L, XU H. 2019. *Formation and evolution of the La Niña lagoon, using MODIS-Aqua satellite images. Bol Inst Mar Peru. 34(1): 105-114.*- The La Niña lagoon is located in the Piura Region and its formation is produced by the increased flow of the Piura, Cascal and Motupe rivers when extraordinary El Niño events occur. This water mass has become an important aquatic ecosystem that allows the surrounding population to fish. During the El Niño Costero 2017 (January to November 2017) this lagoon was again formed, which was monitored daily from its formation using MODIS-Aqua satellite images with a spatial resolution of 500 m, received and processed by IMARPE's TeraScan station. The lagoon area was determined based on the calculation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the volume of water was estimated with information from NASA's GDEM-ASTER Digital Elevation Model (DEM). The lagoon was formed in late January 2017 and reached its maximum extension on April 5 (2,172 km²), with an approximate volume of 5.18x10⁹ m³, this area was not greater than that recorded during El Niño 1997-98 when it was estimated at 2,326 km². The growth rate was 33.3% per week from February 7 to April 5 and 34.1% of the maximum area was reduced until November 4.

KEYWORDS: Lagoon La Niña, MODIS-AQUA, TeraScan

1. INTRODUCCIÓN

La laguna de La Niña es un cuerpo de agua que se forma ocasionalmente cuando el río Piura incrementa violentamente su caudal durante eventos El Niño e inunda las lagunas de Ramón y Ñapique, estas aguas alcanzan a la laguna Salinas, extendiéndose hacia el sur para juntarse con las aguas de los ríos Cascajal y Motupe (GOBIERNO REGIONAL PIURA 2012). El volumen de agua inunda la depresión de Bayóvar formando ese importante cuerpo de agua que permanece durante meses y se va desapareciendo en forma lenta. En el año 1925 se pudo observar desde el aire a la laguna (60 km x 40 km aproximadamente) por el aviador Faucett (LILLO 1999).

1. INTRODUCTION

The La Niña lagoon is a water mass that is occasionally formed when the Piura River violently increases its flow during the El Niño events and floods the Ramón and Ñapique lagoons. These waters reach the Salinas lagoon, which extends southwards to join the waters of the Cascajal and Motupe rivers (GOBIERNO REGIONAL PIURA 2012). The water volume floods the Bayovar's depression forming that important water mass that remains for months and slowly evaporates. In 1925, the aviator Faucett observed the lagoon (60 km x 40 km approximately) from the air (LILLO 1999).

¹ IMARPE, DGIHSA, Área Funcional de Sensoramiento Remoto, Av. Argentina 2245 - Callao, Perú.
lescudero@imarpe.gob.pe

En los años 1984 y 1998, se observó no solo la formación de la laguna, sino también el secamiento por filtraciones y evaporación a los trece meses (DEZA et al. 2010).

Durante el evento El Niño 1997-98, el Instituto del Mar realizó el seguimiento a la laguna La Niña usando las imágenes de satélites NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) de un kilómetro de resolución espacial, las cuales fueron recepcionadas y procesadas por la estación satelital SMARTech-IMARPE, se estimó el área máxima de 2.326 km² y el volumen máximo de 8x10⁹ m³ (ESCUDERO 1999).

La laguna La Niña ha adquirido importancia por la gran biodiversidad que alberga y por generar ingresos económicos a las poblaciones asentadas a su alrededor en aquellas épocas de abundancia, sobre todo con la actividad pesquera (GOBIERNO REGIONAL PIURA 2010, PANTA 2015).

El objetivo de este trabajo fue realizar un monitoreo de la evolución de la laguna La Niña utilizando imágenes de satélite MODIS-Aqua durante el período enero-noviembre 2017.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio comprende las lagunas de Ramón, Ñapique y Salinas hasta la depresión de Bayóvar en la región de Piura (5°38'S a 6°55'S) (Fig. 1).

Imágenes de satélite

Se utilizaron 44 imágenes de satélite del sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) del satélite Aqua, recepcionadas y procesadas por la estación TeraScan del IMARPE. Se seleccionó una imagen semanal del 4 de enero al 4 de noviembre del 2017, las que fueron captadas entre las 13:14 y 14:55 horas (Tabla 1). Las imágenes tienen resolución espacial de 500 m x 500 m y temporal de 12 horas.

Para la estimación del volumen de agua ocupado por la laguna, se han utilizado informaciones del ASTER GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model*) del servidor de la NASA EARTHDATA (<https://search.earthdata.nasa.gov/>) el cual tiene una resolución espacial de 30 m x 30 m (Fig. 2).

In 1984 and 1998, not only the formation of the lagoon was observed, but also the drying by filtrations and evaporation at thirteen months (DEZA et al. 2010).

During the El Niño 1997-98 event, the Instituto del Mar del Perú (Alternative: Peruvian Marine Research Institute) monitored the La Niña lagoon through NOAA's (National Oceanic and Atmospheric Administration) one-kilometer spatial resolution satellite images, which were received and processed by the SMARTech-IMARPE satellite station, which estimated a maximum area of 2,326 km² and a maximum volume of 8x10⁹ m³ (ESCUDERO 1999).

The La Niña lagoon has attained importance due to the great biodiversity it shelters and because it generates economic income for the populations settled around it during those times of abundance, especially with fishing activity (GOBIERNO REGIONAL PIURA 2010, PANTA 2015).

The objective of this paper was to monitor the evolution of the La Niña lagoon by using MODIS-Aqua satellite images over the January-November 2017 period.

2. MATERIAL AND METHODS

Study area

The study area includes the Ramón, Ñapique and Salinas lagoons up to the Bayóvar's depression in the Piura Region (5°38'S to 6°55'S) (Fig. 1).

Satellite images

A total of 44 MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) satellite images from the Aqua satellite were used, received and processed by IMARPE's TeraScan station. A weekly image was selected from January 4 to November 4, 2017, which were captured between 13:14 and 14:55 hours (Table 1). The images have a spatial resolution of 500 m x 500 m and a temporal resolution of 12 hours.

To estimate the water volume occupied by the lagoon, information from the ASTER GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model*) of the NASA's EARTHDATA server (<https://search.earthdata.nasa.gov/>) which has a

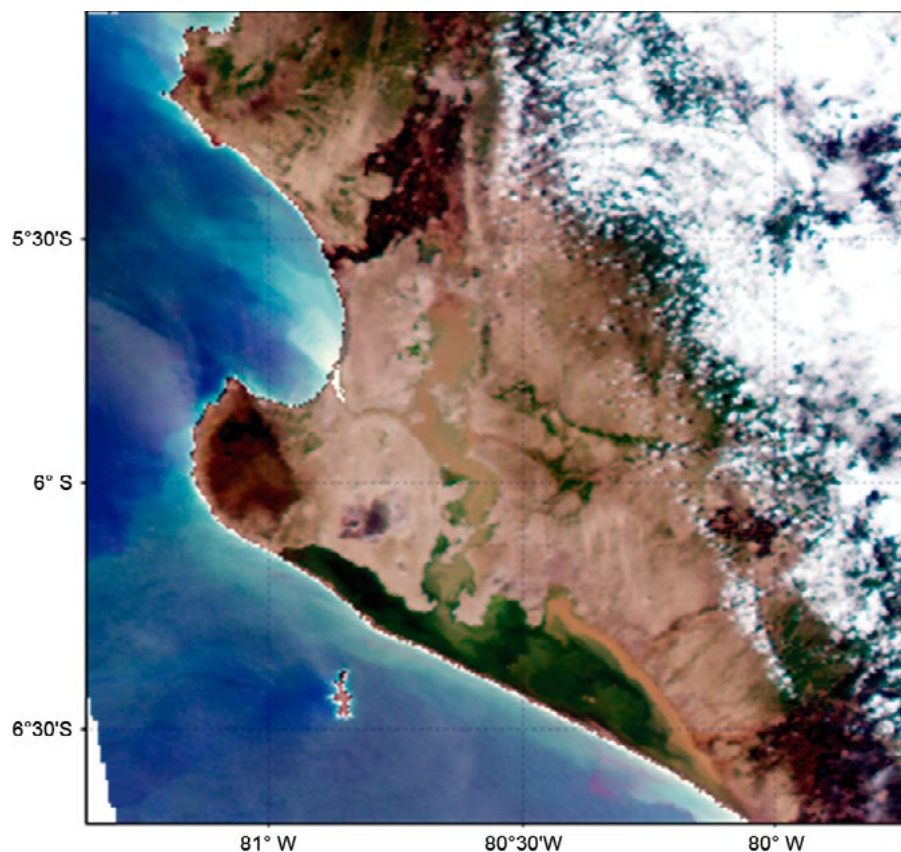


Figura 1.- Imagen RGB de satélite MODIS-Aqua de la laguna La Niña del 5 de abril 2017 (Fuente: Estación TeraScan del IMARPE)

Figure 1. MODIS-Aqua RGB satellite image of the La Niña lagoon, April 5, 2017 (Source: IMARPE's TeraScan Station)

Tabla 1.- Fecha y hora de barrido del satélite en la zona de estudio

Table 1. Date and time of satellite sweep in the study area

Fecha Date	Hora Time	Fecha Date	Hora Time	Fecha Date	Hora Time	Fecha Date	Hora Time
04/Ene	13:50	23/Mar	14:03	08/Jun	13:32	25/Ago	13:50
11/Ene	14:00	28/Mar	14:21	13/Jun	13:50	02/Sep	14:35
17/Ene	13:20	05/Abr	13:32	20/Jun	13:56	08/Sep	14:00
27/Ene	13:56	13/Abr	14:21	27/Jun	14:02	15/Sep	14:05
30/Ene	14:30	17/Abr	13:56	05/Jul	13:14	18/Sep	14:35
07/Feb	13:38	28/Abr	13:38	15/Jul	13:50	27/Sep	14:30
12/Feb	13:56	03/May	13:56	17/Jul	13:38	04/Oct	14:35
19/Feb	14:02	12/May	13:50	25/Jul	14:27	13/Oct	14:30
28/Feb	14:00	19/May	13:56	05/Ago	14:08	19/Oct	13:55
07/Mar	14:03	26/May	14:02	11/Ago	13:31	26/Oct	14:00
16/Mar	13:56	02/Jun	14:08	14/Ago	14:02	04/Nov	13:55

Estas informaciones se complementaron con la información de la precipitación acumulada TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) es un producto diario elaborado por la NASA y la JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) y tiene una resolución espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, se encuentra disponible en el portal https://disc2.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/TRMM_RT/TRMM_3B42RT_Daily.7

spatial resolution of $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ was used (Fig. 2). TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) is a daily product elaborated by NASA and JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) and it has a spatial resolution of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. It is available in the following website https://disc2.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/TRMM_RT/TRMM_3B42RT_Daily.7

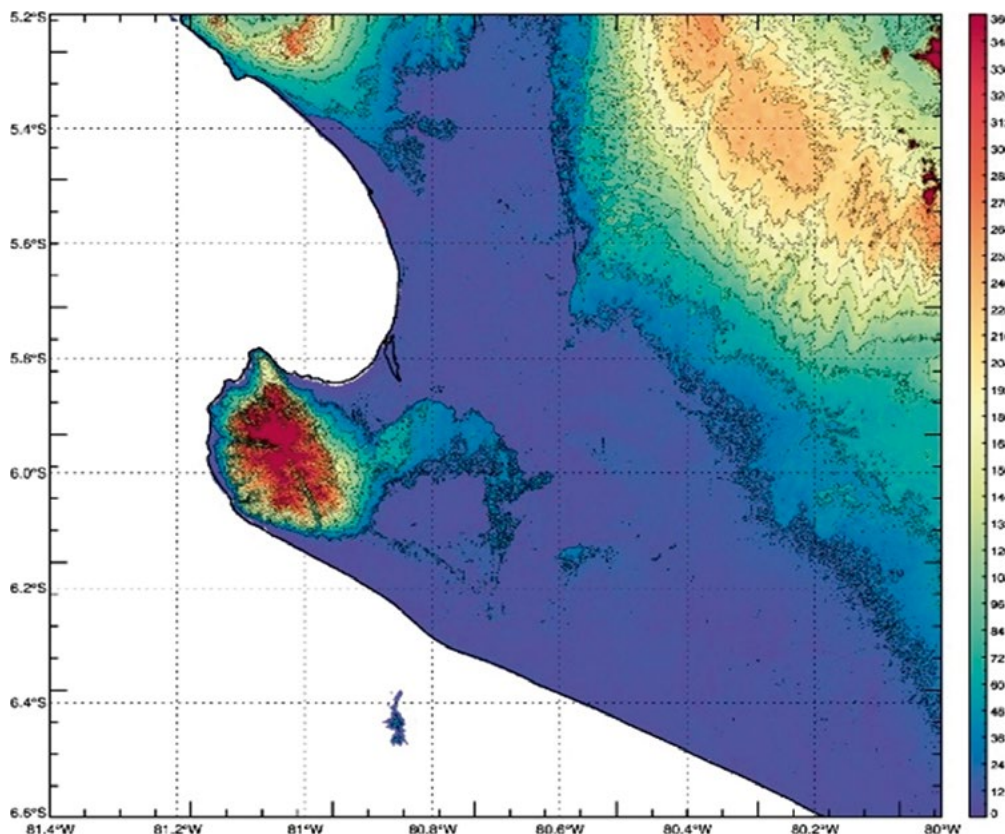


Figura 2.- Modelo de Elevación Digital ASTER-GDEM, NASA- EARTHDATA

Figure 2. ASTER-GDEM Digital Elevation Model, NASA- EARTHDATA

Clasificación de los cuerpos de agua

Se utilizó el índice de vegetación NDVI empleado para la clasificación de los tipos de suelo (ROUSE *et al.* 1973), que consiste en una transformación normalizada de la relación entre la Banda 2 del Infrarrojo cercano (NIR) y la Banda 1 reflectividad de la banda roja (RED) del sensor MODIS (Tabla 2) su rango varía entre -1 y +1, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{R_{Nir} - R_{Red}}{R_{Red} + R_{Nir}}, \tag{1}$$

donde:

R_{Red} : reflectancia en el rojo (Banda 1: 620 – 670 nm)

R_{Nir} : reflectancia en el infrarrojo cercano (Banda 2: 841 – 876 nm)

Los cuerpos de agua están clasificados por tener valor de NDVI menor que cero (GANDHI *et al.* 2015), el área total inundada será el múltiplo del número de pixeles clasificados como agua y su resolución espacial.

Classification of water masses

The NDVI vegetation index applied for the classification of soil types was used (ROUSE *et al.* 1973). It consists of a normalized transformation of the relationship between Band 2 - Near Infrared (NIR) and Band 1 - reflective of the red band (RED) of the MODIS sensor (Table 2). Its range varies between -1 and +1 and it is expressed by the following equation:

$$NDVI = \frac{R_{Nir} - R_{Red}}{R_{Red} + R_{Nir}}, \tag{1}$$

where:

R_{Red} : red reflectance (Band 1: 620 – 670 nm)

R_{Nir} : near infrared reflectance (Banda 2: 841 – 876 nm)

Water masses are classified by having an NDVI value less than zero (GANDHI *et al.* 2015), the total flooded area will be the multiple of the number of pixels classified as water and their spatial resolution.

Tabla 2.- Características de las bandas espectrales del sensor MODIS

Table 2. Characteristics of the spectral bands of the MODIS sensor

Banda	Ancho banda ¹ Bandwidth	Banda	Ancho banda ¹ Bandwidth	Banda	Ancho banda ¹ Bandwidth
1	620 - 670	13	662 - 672	25	4.482 - 4.549
2	841 - 876	14	673 - 683	26	1.360 - 1.390
3	459 - 479	15	743 - 753	27	6.535 - 6.895
4	545 - 565	16	862 - 877	28	7.175 - 7.475
5	1230 - 1250	17	890 - 920	29	8.400 - 8.700
6	1628 - 1652	18	931 - 941	30	9.580 - 9.880
7	2105 - 2155	19	915 - 965	31	10.780 - 11.280
8	405 - 420	20	3.660 - 3.840	32	11.770 - 12.270
9	438 - 448	21	3.929 - 3.989	33	13.185 - 13.485
10	483 - 493	22	3.929 - 3.989	34	13.485 - 13.785
11	526 - 536	23	4.020 - 4.080	35	13.785 - 14.085
12	546 - 556	24	4.433 - 4.498	36	14.085 - 14.385

¹Bandas entre 1 y 19 están en nm. Bandas entre 20 y 36 están en μm

¹Bands between 1 and 19 are in nm. Bands between 20 and 36 are in μm

Estimación del volumen de la laguna

La estimación del volumen de la laguna se realizó en cuatro pasos: (1) se consideró la laguna en dos regiones: la región original (ori) y la expandida (exp), (2) se generó un vector del borde de los cuerpos de agua para cada región, (3) se estimó el valor promedio de elevación de los bordes y de los cuerpos de agua a través del DEM, la diferencia entre ellos se consideró como la altimetría para cada región, (4) el volumen se estimó multiplicando el área y un valor promedio de altimetría de cada región y el volumen total de la laguna será la suma de ambas partes:

$$V = V_{\text{ori}} + V_{\text{exp}} = A_{\text{ori}} \cdot H_{\text{ori}} + A_{\text{exp}} \cdot H_{\text{exp}}, \quad (2)$$

donde:

V: volumen total de la laguna

V_{ori} y V_{exp} : volumen de la región original y expandida, respectivamente

A_{ori} y A_{exp} : área para cada región

H_{ori} y H_{exp} : altimetría para cada región

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitación acumulada

La precipitación acumulada (mm) semanal de la región de Piura durante los meses de enero a noviembre del 2017 (Fig. 3) nos muestran que el

Estimation of the lagoon volume

The estimation of the lagoon volume was conducted in four steps: (1) the lagoon was considered in two regions: the original region (ori) and the expanded region (exp), (2) a vector of the edge of the water masses was generated for each region, (3) the mean elevation value of the edges and water masses was estimated through the DEM, the difference between them was considered as the altimetry for each region, (4) the volume was estimated by multiplying the area and a mean altimetry value for each region and the total lagoon volume will be the sum of both parts:

$$V = V_{\text{ori}} + V_{\text{exp}} = A_{\text{ori}} \cdot H_{\text{ori}} + A_{\text{exp}} \cdot H_{\text{exp}}, \quad (2)$$

where:

V: total lagoon volume

V_{ori} and V_{exp} : original and expanded region volumes, respectively

A_{ori} and A_{exp} : area for each region

H_{ori} and H_{exp} : altimetry for each region

3. RESULTS AND DISCUSSION

Accumulated precipitation

The accumulated weekly precipitation (mm) of the Piura Region from January to November 2017 (Fig. 3) shows that the rainy season in

período de lluvias en la región se inició entre el 29 de enero y 4 de febrero, las cuales continuaron hasta la semana del 26 de marzo al 1 de abril, alcanzando su máxima intensidad (> 40 mm) en la semana del 5 al 11 de marzo y del 19 al 25 de marzo, esto implica que la época de lluvias duró desde el 29 de enero hasta el 1 de abril del 2017 para la zona.

Caudal del río Piura

El río Piura registra históricamente sus mayores caudales entre los meses de febrero a abril y de agosto a diciembre se presentan los caudales más bajos del año, llegando inclusive a no registrarse lluvias. Con la información de la estación Puente Sánchez Cerro se observó que durante el año 2017 el caudal del río Piura alcanzó su máximo nivel el 28 de marzo con 3.468 m³/s (información de la Autoridad Nacional del Agua, ANA), provocando desbordes y erosiones en diversos puntos de las cuencas media y baja del río Piura, sobre todo en el Bajo Piura, sin embargo estos valores no superaron a los registrados durante los eventos de los años 1982-83 y 1997-98 (Fig. 4).

the region started between 29 January and 4 February, which continued until the week of 26 March to 1 April, reaching its maximum intensity (> 40 mm) in the week of 5 - 11 March and 19 - 25 March, this implies that the rainy season lasted from 29 January to 1 April 2017 in the area.

Flow in the Piura River

The Piura River historically records its highest flows between February to April and from August to December there are the lowest flows of the year, even reaching no rainfall recorded. With data from the Puente Sánchez Cerro station, it was observed that in 2017 the flow in the Piura River reached its maximum level on March 28 with 3,468 m³/s, (information from the National Water Authority, ANA – *Autoridad Nacional del Agua* in Spanish), causing overflows and erosions at various points in the middle and lower basins of the Piura River, especially in the Lower Piura, but these values did not exceed those recorded during the events of 1982-83 and 1997-98 (Fig. 4).

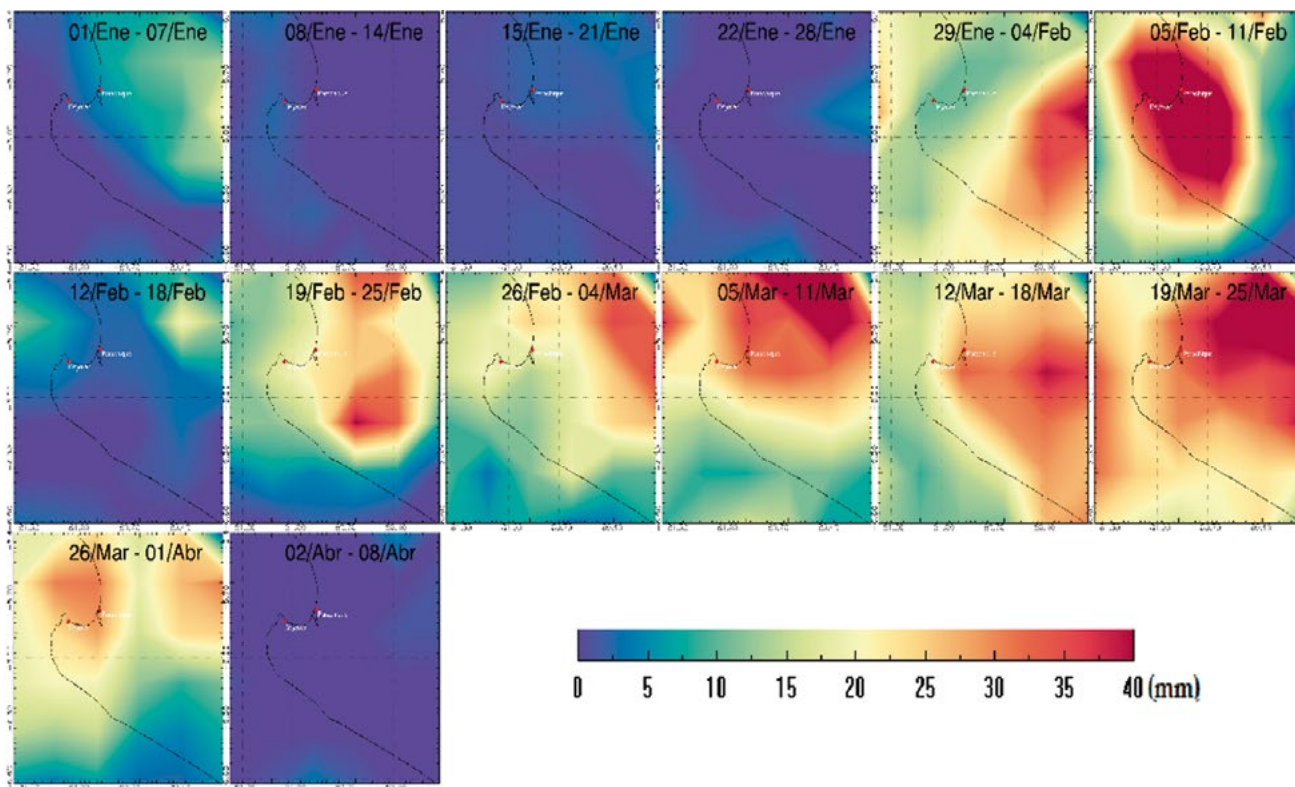


Figura 3.- Promedio semanal de la precipitación acumulada (mm) para la región Piura de enero a noviembre 2017

Figure 3. Average weekly accumulated precipitation (mm) for the Piura Region from January to November 2017

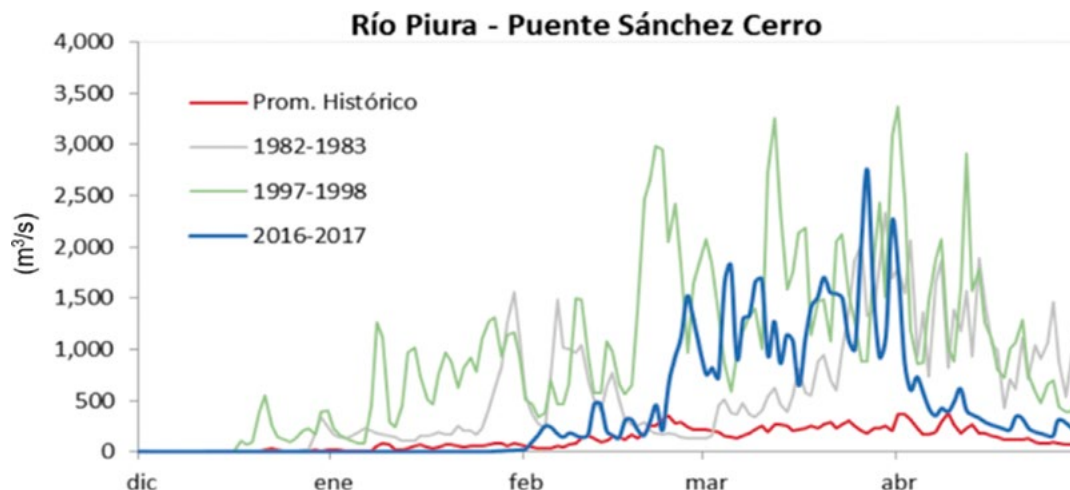


Figura 4.- Caudal del río Piura, estación Puente Sánchez Cerro. Fuente: ANA

Figure 4. Flow in the Piura River, Puente Sánchez Cerro Station. Source: ANA

Laguna La Niña

El proceso de formación de la laguna La Niña se inició desde el 27 de enero del 2017 cuando aparecieron unos pequeños cuerpos de agua alrededor de las lagunas Ramón y Napique, coincidiendo con el período de lluvias (Fig. 5). Durante las primeras dos semanas de febrero, se formaron por completo las lagunas en el norte y las aguas empezaron a inundar la zona sur. Las dimensiones de la zona inundada (depresión de Bayóvar) alcanzaron 100 km de largo y 18 km de ancho con profundidad máxima de 10 metros, aproximadamente. Cuando la laguna alcanzó mayor área y volumen, se inició un lento proceso de secado.

El área y volumen estimados para la laguna La Niña (Fig. 6) desde el 4 de enero al 4 de noviembre del 2017, muestra que la laguna se fue formando gradualmente hasta el día 7 de febrero cuando se estimó un área de 595 km². Desde esa fecha se produjo un incremento considerable que alcanzó su área máxima el 5 de abril con 2.172 km² con volumen aproximado de 5,18x10⁹ m³, los que fueron decreciendo en forma gradual hasta día 4 de noviembre cuando se registró un área de 1.432 km², que resultó en un descenso de 34,1% respecto al área máxima calculada.

Comparando los resultados con los registros históricos para el evento El Niño 1997-98 (Fig. 7), se puede apreciar que el área máxima de la laguna calculada en 1998 fue de 2.326 km² la cual fue superior en 6,6% respecto a la estimada en el 2017, lo cual concuerda con los mayores caudales registrados durante el evento El Niño 1997-98.

La Niña Lagoon

The process of formation of the La Niña lagoon began on January 27, 2017, when small water masses appeared around the Ramón and Napique lagoons, which coincided with the rainy season (Fig. 5). In the first two weeks of February, the lagoons in the north were completely formed and the waters began to flood the southern zone. The dimensions of the flooded zone (Bayovar's depression) reached 100 km in length and 18 km in width with a maximum depth of approximately 10 meters. When the lagoon reached a greater area and volume, a slow drying process began.

The estimated area and volume for the La Niña lagoon (Fig. 6), from 4 January to 4 November 2017, shows that the lagoon was formed gradually until 7 February when an area of 595 km² was estimated. Since then, there has been a considerable increase that reached its maximum area on 5 April with 2,172 km² with an approximate volume of 5.18x10⁹ m³, which gradually decreased until 4 November when an area of 1,432 km² was recorded, which resulted in a decrease of 34.1% with respect to the maximum estimated area.

If we compare the results with the historical records for the El Niño 1997-98 event (Fig. 7), we can see that the maximum area of the lagoon, estimated in 1998, was 2,326 km² which was 6.6% higher than the estimated in 2017, which is consistent with the higher flows recorded during the El Niño 1997-98 event.



Figura 5.- Imágenes Aqua-MODIS semanales de la laguna La Niña enero-noviembre 2017. Fuente: Estación TeraScan de IMARPE

Figure 5. Weekly Aqua-MODIS images of the La Niña lagoon, January-November 2017. Source: IMARPE's TeraScan Station

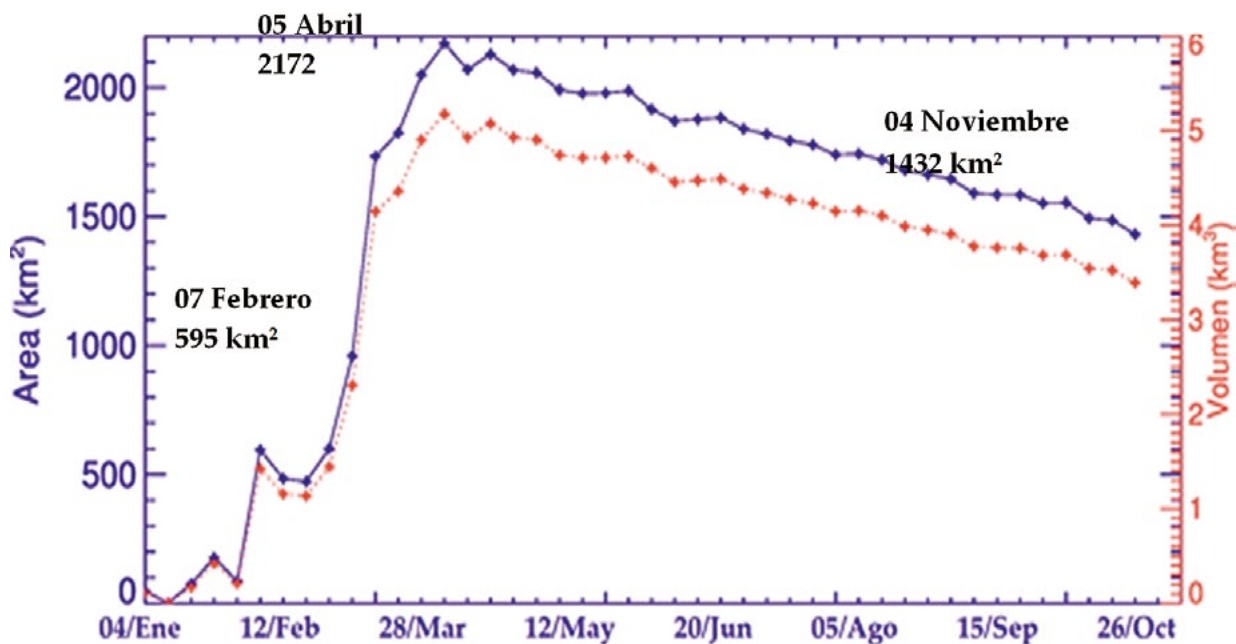


Figura 6.- Área y volumen de la laguna La Niña, enero-noviembre 2017

Figure 6. Area and volume of the La Niña lagoon, January-November 2017

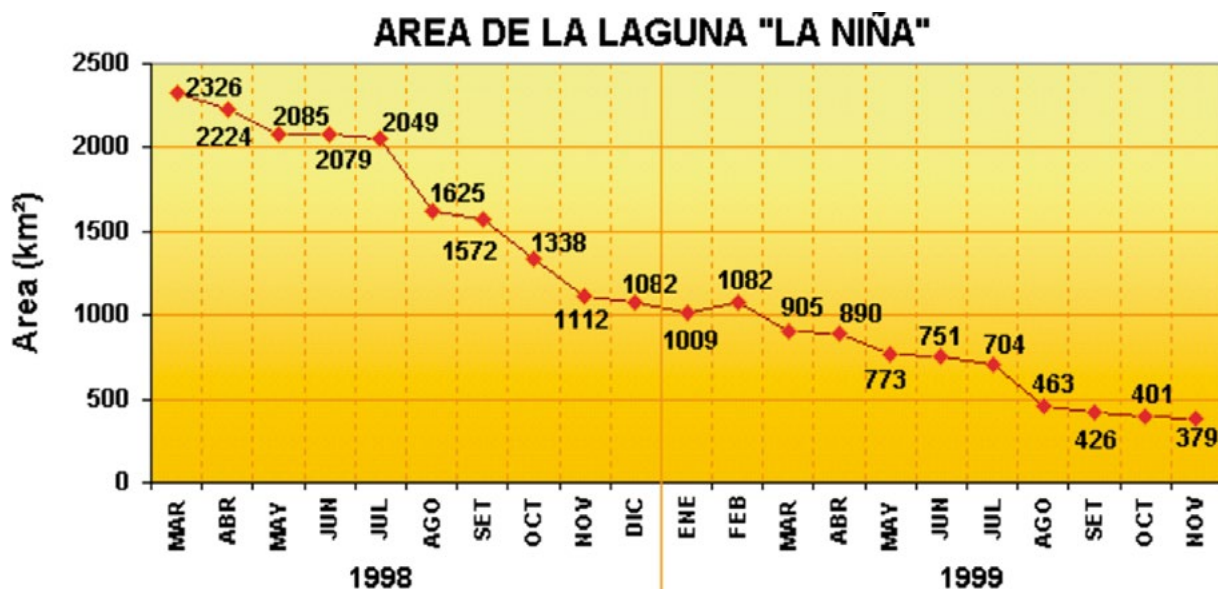


Figura 7.- Área de la laguna La Niña de marzo-1998 a noviembre-1999

Figure 7. Area of the La Niña lagoon, March 1998 - November 1999

4. CONCLUSIONES

La laguna La Niña inició su proceso de formación desde el 27 de enero del 2017. Dos semanas después, las aguas iniciaron su desplazamiento e inundación hacia el sur. El proceso de formación se completó en abril para después entrar a un lento proceso de secado.

4. CONCLUSIONS

The La Niña lagoon began its formation process on January 27, 2017. Two weeks later, the waters began their displacement and flooding southwards. The formation process was completed in April and then it entered a slow drying process.

El período de lluvias para la zona de estudio ha sido desde el 29 de enero hasta el 1 de abril del 2017, que coincide con el tiempo de la formación de la laguna.

La laguna fue formada gradualmente hasta el día 7 de febrero con una dimensión estimada de 595 km², el 5 de abril la laguna alcanzó su área máxima (2.172 km²) con un volumen de 5,18x10⁹ m³. El área se redujo a 1.432 km² para el 4 de noviembre.

El incremento de caudal del río Piura entre los meses de febrero-abril fue el principal causante para la formación de la laguna en zonas del Bajo Piura; sin embargo, los registros no son superados al compararlos con los datos durante los eventos El Niño 1982-83 y 1997-98.

La máxima área inundada de la laguna La Niña fue de 2.326 km² en 1998, superior en 6,6% a la del 2017 ya que los caudales fueron mayores para el evento El Niño 1997-1998.

El área de la laguna creció semanalmente 33,3% desde el 7 de febrero hasta el 5 de abril y el porcentaje de reducción fue 34,1% hasta el 4 de noviembre.

El uso de imágenes de mayor resolución espacial permitirá efectuar análisis de las variaciones multitemporales y aumentar la precisión en las estimaciones de sus dimensiones.

The rainy season for the study area has been from 29 January to 1 April 2017, which coincides with the time of the formation of the lagoon.

The lagoon was formed gradually until 7 February with an estimated size of 595 km². On 5 April the lagoon reached its maximum area (2,172 km²) with a volume of 5.18x10⁹ m³. The area was reduced to 1,432 km² by 4 November.

The increase in the flow of the Piura River, between February and April, was the main cause for the formation of the lagoon in areas of Lower Piura; nevertheless, the records are not exceeded when compared with the data during the El Niño 1982-83 and 1997-98 events.

The maximum flooded area of the La Niña Lagoon was 2,326 km² in 1998, which was 6.6% higher than in 2017 since the flows were greater for the El Niño 1997-1998 event.

The lagoon area grew 33.3% weekly from 7 February to 5 April and the reduction percentage was 34.1% until 4 November.

The use of higher spatial resolution images will allow us to carry out analyses of multitemporal variations and to increase the precision in the estimates of their dimensions.

5. REFERENCIAS / REFERENCES

- DEZA R J, TUME R J, ALARCÓN D J. 2010. Cambios Ambientales en el Desierto de Sechura y Alternativas para su aprovechamiento. *Ciencia y Desarrollo*. 12: 11 - 28.
- ESCUDERO L. 1999. Monitoreo Satelital de la Laguna "La Niña" 1998-1999. IMARPE. <http://www.imarpe.gob.pe/argen/nina/lanina.html>.
- GANDHI G M, PARTHIBAN-NAGARAJ T, CHRISTY A. 2015. NDVI: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis – A Case Study of Vellore District. *ELSEVIER*. 57: 1199 - 1210.
- GOBIERNO REGIONAL PIURA. 2010. Caracterización de Actividades Económicas en Zonas de Influencia del ACR Virrilá Ramón y Ñapique. Fondo de Promoción de las Áreas Naturales Protegidas PROFONANPE. 1. 17 pp.
- GOBIERNO REGIONAL PIURA. 2012. Estrategia Regional y Plan de Acción para la Conservación de la Diversidad Biológica de la Región Piura. Grupo Técnico de Diversidad Biológica del Gobierno Regional de Piura. 1. 162 pp.
- LILLO C M. 1999. Consideraciones sobre los Endorreísmos de la Costa Norte de Perú en su Relación con Eventos de El Niño. *Papeles de Geografía*. 30: 87 - 102.
- PANTA R C. 2015. Variación Estacional de la Actividad Extractiva en las Poblaciones Ícticas de los Humedales de Sechura. Piura 2013-2014. Tesis para Optar el Título de Biólogo – Universidad Nacional de Piura. 1. 136 pp.
- ROUSE J W, HAAS R H, SCHELL J A, DEERING D W. 1973. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351. I. 309 – 317 pp.