



“Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible”

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

## FACULTAD DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

### Trabajo de Tesis

Dinámica espacio – temporal de cuerpos de  
agua en el Sistema Lacustre Playitas –  
Moyúa – Tecomapa, Ciudad Darío,  
Matagalpa 2014-2019

Autores:

Br. Jorde Steven´s Reyes Blanco

Br. Nohelia de los Ángeles Herrera  
Navarrete

Asesores:

Ing. Alex Martín Castellón Meyrat

PhD. Fernando José Mendoza Jara

Managua, Nicaragua

Noviembre, 2021

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la decanatura de la facultad y/o director de sede: Facultad de Recursos Naturales y el Ambiente como requisito parcial para optar al título profesional de:

Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

---

Miembros del honorable comité evaluador:

---

MSc. Ingeborg Maria Beck  
Presidente

MSc. Andrés Agustín López  
Secretario

Msc. Claudio Joel González Espino  
Vocal

Lugar y fecha: Managua, 10 de noviembre del 2021

Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>SECCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVO</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos Específicos	3
<b>III. MARCO DE REFERENCIA</b>	<b>4</b>
3.1. Marco conceptual de humedales y sitios RAMSAR	4
3.2. Aplicación de teledetección y SIG en el monitoreo de humedales	9
3.2.1. Estudios de caso	10
3.2.2. Plataforma Google Earth Engine y Sensores	11
3.3. Monitoreo y análisis de patrones espacio-temporales	13
<b>IV. MATERIALES Y METODOS</b>	<b>14</b>
4.1. Descripción del área de estudio	14
4.1.1. Localización	14
4.1.2. Características Biofísicas	15
4.1.2.1. Clima	15
4.1.2.2. Geomorfología	16
4.1.2.3. Aspectos RAMSAR	16

4.1.2.4. Vegetación	16
4.1.2.5. Suelo	17
4.2. Proceso Metodológico	18
4.2.1. Detección y extracción de agua libre en superficie	20
4.2.1.1. Determinación del área de trabajo	20
4.2.1.2. Importar imágenes a utilizar	20
4.2.1.3. Clasificación de imágenes mensuales	20
4.2.1.4. Detección de agua libre en superficie	21
4.2.1.5. Extracción de valores de pixel	21
4.2.1.6. Análisis de patrones espacio-temporales de las lagunas	21
4.2.2. Estimación de área	22
4.2.2.1. Cálculo de área (área-pixel)	22
4.2.2.2. Reclasificación de series temporales	22
4.2.3. Cálculo de porcentaje anual de permanencia	22
4.2.3.1. Cálculo de agua permanente	23
4.2.3.2. Cálculo de Agua Estacional y Ocasional	23
4.2.4. Comparación de las precipitaciones con datos Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)	24
4.2.4.1. Extracción de los datos	24
4.2.4.2. Estandarización de datos	25
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>26</b>
5.1. Dinámica de la laguna de Moyúa	26
5.2. Dinámica de la laguna Playitas	29
5.3. Dinámica de la laguna Tecomapa	32
5.4. Relación área - precipitación de Moyúa	35
5.5. Relación área - precipitación Playitas	38
5.6. Relación área - precipitación Tecomapa	41
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>43</b>

<b>VII. RECOMENDACIONES</b>	<b>44</b>
<b>VIII. LITERATURA CITADA</b>	<b>45</b>
<b>IX. ANEXO</b>	<b>48</b>

---

## DEDICATORIA

Este trabajo de grado se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no renunciar en los problemas que se presentaban, desfallecer en el intento.

A mi madre por enseñarme todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, el coraje para conseguir mis objetivos, y a mi abuelita quienes por ellas soy lo que soy. Por su comprensión, apoyo, consejos, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar.

Gracias también a mi asesor el cual forma parte del gremio docente de esta ALMA MATER por toda la paciencia y todas las enseñanzas que me dio no solo como persona sino como futuro profesional.

Jorde Steven's Reyes Blanco

En primera instancia, le dedico a Dios este trabajo de tesis, por darme salud, conocimiento y fortalezas para afrontar cualquier adversidad.

A mis padres por hacer de mí una persona de bien con valores y principios, por dar fruto de todo el esfuerzo que han hecho para convertirme en una profesional, a nunca rendirme y siempre seguir mi camino.

También a mi asesor por instruirme y compartir sus conocimientos, por su paciencia y los ánimos constantes para no ceder ante el pesimismo.

Nohelia de los Ángeles Herrera Navarrete

## AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mi madre Elsa María Blanco Pantoja por apoyarme en todo momento, por los valores que me ha inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo, por ser un excelente ejemplo de perseverancia y dedicación.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mi asesor Ingeniero Alex Martín Castellón Meyrat. Por haber compartido sus conocimientos y la oportunidad de crecer profesionalmente.

A mi amiga y compañera de tesis Nohelia Herrera Navarrete, por formar parte de este momento importante de nuestras vidas, por su apoyo, por su paciencia y amistad incondicional.

Jorde Steven's Reyes Blanco

Le doy gracias a Dios por darme salud, perseverancia, el guiarme en este momento de mi vida y darme fuerzas para afrontar cada adversidad que he tenido en el lapso de mi carrera.

Le doy gracias a mi madre Angela Navarrete Alemán por su apoyo, el esfuerzo y dedicación para poder graduarme, enseñarme a no ser conformista y abrirme camino por mí misma, a mi padre Julio Herrera Arias por apoyarme y estar presente en este momento tan importante de mi vida y a mis hermanos por darme su apoyo emocional.

Le doy gracias a mi asesor Ingeniero Alex Martín Castellón Meyrat por el apoyo, confianza y todo el tiempo que ha brindado y por mostrarme que tan lejos puedo llegar. Le doy gracias a mi amigo y compañero de tesis Jorde Reyes Blanco por compartir este episodio de nuestras vidas, su apoyo y sentido del humor en momentos de flaquezas, por brindarme su amistad y sobre todo por tenerme paciencia.

Nohelia de los Ángeles Herrera Navarrete

## ÍNDICE DE FIGURAS

SECCIÓN	PÁGINA
1. Sitios RAMSAR en Nicaragua (Fuente: RAMSAR)	8
2. Localización Sistema Lacustre Playitas- Moyúa-Tecomapa (Fuente: INETER 2006)	14
3. Variación de la precipitación media anual 1981-2019 (Fuente: CHIRPS)	15
4. Flujograma de procesamiento	19
5. Porcentaje anual de permanencia de agua libre en superficie para el año 2014	28
6. Porcentaje anual de permanencia de agua libre en superficie para el año 2014	31
7. Porcentaje anual de permanencia de agua libre en superficie para el año 2014	34
8. Relación área-precipitación Moyúa (Fuente: Sentinel 1- CHIRPS)	37
9. Relación área-precipitación Playitas (Fuente: Sentinel 1- CHIRPS)	40
10. Relación área-precipitación Tecomapa (Fuente: Sentinel 1- CHIRPS)	42

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Lista de imágenes Sentinel-1	48
2. Código de procesamiento de imágenes	59
3. Datos de precipitación media anual del sistema lacustre (Fuente: CHIRPS)	61
4. Datos estandarizados Moyúa (Fuente: CHIRPS)	64
5. Datos estandarizados Playitas (Fuente: CHIRPS)	68
6. Datos estandarizados Tecomapa (Fuente: CHIRPS)	71

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en el sitio RAMSAR Sistema lacustre Playitas-Moyúa-Tecomapa compuesto por tres lagunas de agua dulce localizadas en el municipio de Ciudad Darío, departamento de Matagalpa, en el corredor seco de Nicaragua. Su importancia radica en ser un sitio de descanso para aves migratorias. Socioeconómicamente representa la principal fuente de agua para actividades agropecuarias y la pesca. Además, su belleza escénica contribuye a impulsar el turismo rural. Sin embargo, se ha considerado que la variabilidad climática está alterando la dinámica de las lagunas, por consiguiente, se requiere ampliar las técnicas de percepción remota que permitan la observación de la fluctuación del agua libre en superficie. El objetivo del estudio consistió en desarrollar una metodología basada en técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el monitoreo de la dinámica del agua libre en superficie de las lagunas Playitas, Moyúa y Tecomapa. Para lograr dicho propósito, se procesaron 63 imágenes de radar Sentinel-1, correspondientes a un periodo de cinco años de 2015-2019. El procesamiento de imágenes de radar se ejecutó en la plataforma Google Earth Engine (GEE). La determinación del agua libre en superficie para cada una de las lagunas, así como sus variaciones mensuales y anuales, se realizaron mediante un proceso estadístico. La conexión de estos espacios naturales en condiciones climáticas se estableció utilizando imágenes CHIRPS de sensores Infrarrojo Geoestacionarios, un set de datos globales sobre precipitaciones estimados por satélites. Los resultados demuestran que cada laguna tiene una dinámica particular. En teminos generales, periodos de sequía alteran drásticamente la superficie de los cuerpos de agua. Moyúa, por ejemplo, redujo su área habitual de 4.49 km<sup>2</sup> a 1.22 km<sup>2</sup> en el año 2017. La dinámica de Playitas en los años de estudio señala que su tendencia es desaparecer. Sin embargo, la construcción de una pequeña represa en Tecomapa evidencia la capacidad de recuperación de la laguna a corto plazo y que una gestión adecuada preservaría estos humedales para futuras generaciones.

Palabras claves: Sensores remotos, imágenes de radar, sensores infrarrojos, precipitación.

## ABSTRACT

The present study was carried out in the RAMSAR site Playitas-Moyúa-Tecomapa Lake System, composed of three freshwater lagoons located in the municipality of Ciudad Darío, department of Matagalpa, in the dry corridor of Nicaragua. Its importance lies in the fact that it is a resting place for migratory birds. Socioeconomically, it represents the main source of water for agricultural activities and fishing. In addition, its scenic beauty contributes to boost rural tourism. However, it has been considered that climate variability is altering the dynamics of the lagoons; therefore, it is necessary to expand remote sensing techniques that allow the observation of the fluctuation of free water on the surface. The objective of the study was to develop a methodology based on remote sensing techniques and Geographic Information Systems (GIS) for monitoring the surface free water dynamics of the Playitas, Moyúa and Tecomapa lagoons. To achieve that purpose, 63 Sentinel-1 radar images were processed, corresponding to a five-year period from 2015-2019. The radar image processing was executed in the Google Earth Engine (GEE) platform. The determination of free surface water for each of the lagoons, as well as their monthly and annual variations, were performed using a statistical process. The connection of these natural spaces in climatic conditions was established using CHIRPS images from Geostationary Infrared Infrared sensors, a global satellite-estimated precipitation dataset. The results show that each lagoon has its own particular dynamics. In general terms, periods of drought drastically alter the surface of water bodies. Moyúa, for example, reduced its usual area from 4.49 km<sup>2</sup> to 1.22 km<sup>2</sup> in 2017. The dynamics of Playitas in the study years indicate that its tendency is to disappear. However, the construction of a small reservoir in Tecomapa is evidence of the lagoon's ability to recover in the short term and that proper management would preserve these wetlands for future generations.

Keywords: Remote sensors, radar images, infrared sensors, precipitation.

## I. INTRODUCCIÓN

La convención RAMSAR, es un tratado intergubernamental promovido por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) la cual establece un marco de acción nacional y de cooperación internacional para el aprovechamiento sostenible y preservación de sistemas de humedales (RAMSAR, 2016). El sistema lacustre Playitas-Moyúa-Tecomapa está compuesto por tres lagunas de agua dulce y es considerado entre los diez humedales más importantes de Nicaragua. Estas lagunas son la base para el desarrollo socioeconómico local, por medio de actividades entre las cuales se destacan: la pesca, agricultura bajo riego, ganadería, turismo y recreación. El sistema lacustre fue declarado Sitio RAMSAR el 29 de junio de 2011 (RAMSAR, 2011). Además, su abundante biodiversidad alberga aves migratorias y especies en peligro de extinción en la lista roja de citas (CIRA UNAN- MANAGUA, 2012). Por consiguiente, la pérdida de estas lagunas o el daño a sus ecosistemas se traduciría en impactos ecológicos internacionales y daños severos en la economía local (RAMSAR, 2011).

Algunos autores mencionan que las variaciones del clima y ciertas actividades antrópicas están alterando la dinámica del sistema lagunar y ponen en riesgo su existencia. La laguna de Moyúa ha disminuido el agua libre en superficie en períodos de extrema sequía al menos durante los años 1972, 1977-1978, 1990-1991 y 2016, atribuyendo el suceso a un efecto combinado del clima con la deforestación, riego excesivo de cultivos y disminución del manto acuífero (Barreto, 1993). Mientras que el comportamiento intermitente de las lagunas Tecomapa y Las Playitas está fuertemente relacionado con la ganadería extensiva, agricultura bajo riego, deforestación y procesos de erosión-sedimentación. Considerando la relevancia del humedal y el riesgo de desecación (por motores de cambio naturales y/o antrópicos) (CIRA UNAN- MANAGUA, 2012).

El diseño de estrategias efectivas para la planificación y manejo sostenible del territorio requiere de información confiable. La percepción remota como herramienta para determinar diferentes parámetros, la delimitación del área cartográfica de los humedales y la identificación de motores de cambio son solo algunas iniciativas encontradas y aplicadas en estudios de caso. En este sentido, es importante recalcar que la cartografía y el monitoreo se puede realizar mediante sensores remotos y sistemas de información geográfica (Silva,

2012). Además, se recomienda considerar la resolución espacial, temporal y espectral de los sensores para establecer el nivel de detalle del monitoreo (RAMSAR, 2007).

En el presente trabajo, el monitoreo se realizó mediante imágenes de radar Sentinel-1, por su capacidad de detectar agua libre en superficie aún bajo condiciones de nubosidad (NASA-ARSET, 2017). Estas imágenes se procesaron en Google Earth Engine (GEE), por su versatilidad para programar en JavaScript, a través de rutinas de procesamiento de datos en la nube Pekel et al. La obtención de datos basada en precipitaciones promedio por medio de imágenes Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) siendo un set de datos globales sobre precipitaciones acumuladas estimadas por satelitales (Peterson, 2015). Las estimaciones de agua libre en superficie, incluyendo variaciones mensuales y anuales, se llevan a cabo en ArcGIS y EXCEL.

## **II. OBJETIVO**

### 2.1. Objetivo general

- Monitorear el comportamiento del agua libre en superficie en las lagunas del sistema lacustre Playitas-Moyúa- Tecomapa, Ciudad Darío, Matagalpa, 2014-2019 a través de una metodología basada en técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Identificar el agua libre en superficie del sistema lacustre, mediante el uso de la plataforma de Google Earth Engine e imágenes radar Sentinel-1.
- Corroborar las variaciones del área libre en superficie y su relación con las precipitaciones presentadas en el territorio.

### **III. MARCO DE REFERENCIA**

El presente estudio se sustentó en la integración de tres grandes vertientes de información: el marco conceptual sobre humedales y sitios RAMSAR para comprender la importancia de estos ecosistemas, la aplicación de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como métodos de identificación y el análisis de patrones espacio-temporales basado en datos climáticos como principal causa de la dinámica actual del sistema.

#### **3.1. Marco conceptual de humedales y sitios RAMSAR**

De acuerdo Cortés Duque y Estupiñán Suárez (2016) los humedales son ecosistemas propios de espacios naturales o artificiales en donde las condiciones geomorfológicas e hidrológicas permiten la acumulación de agua dulce, salobre o salada de forma temporal o permanente. RAMSAR, 2016 afirma:

Estos espacios se encuentran entre los hábitats más productivos del planeta y es la dinámica del flujo de agua entre el manto freático, la superficie y la atmósfera la que regula el desarrollo de la vida y los procesos que ocurren dentro el ecosistema.

De acuerdo RAMSAR, 2007:

Algunos ejemplos de estos ambientes son los humedales continentales (pantanos, marismas, lagos, ríos, turberas y hábitats de aguas subterráneas), humedales costeros y marinos cercanos a la costa (como arrecifes de coral, manglares, praderas de pastos marinos, y estuarios) y humedales artificiales (como arrozales, represas, embalses y estanques de acuicultura.

Desde una perspectiva ambiental, son considerados como reservorios biológicos, pues debido a las múltiples interacciones entre las especies que lo cohabitan se generan complejas y extensas cadenas tróficas que dan sustento a una amplia variedad y riqueza de flora y fauna (World Wide Fund for Nature, 2019). Los humedales también se han descrito como los riñones del medio natural, porque depuran el agua, regulan el ciclo hidrológico, reducen la erosión y permiten el ciclado de nutrientes (Leighton, 2019).

Un sistema lacustre es un adjetivo calificativo para describir espacios, fenómenos o elementos relacionados con lagos, lagunas y ríos; así como los ecosistemas que se forman alrededor de ellos dependiendo de las condiciones climáticas de cada lugar. Una de las

principales características de estos es la presencia de agua dulce debido a las diferentes fuentes que en el convergen (Bembibre, 2010).

Por su parte, los beneficios de los humedales son conocidos como las funciones, usos, valores, atributos, bienes y servicios. Los beneficios pueden ser definidos por cualquiera de estos términos, según sean referidos a la comunidad, vida silvestre, sistemas o procesos naturales (Tabilo-Valdivieso, 2005):

#### Suministro de agua

Los humedales son utilizados con frecuencia como fuente de agua para varios usos. Los ríos, lagos o lagunas son intensamente utilizados por la sociedad humana rural y de las ciudades para extraer sus aguas (Tabilo-Valdivieso, 2005).

#### Protección contra las fuerzas de la naturaleza

Las características físicas de los humedales y su vegetación ayudan a prevenir o reducir la erosión de la línea de costa, estuarios y ríos (Tabilo-Valdivieso, 2005).

#### Retención de sedimentos

Las propiedades físicas de los humedales permiten reducir el flujo del agua. Esto facilita que se deposite el sedimento que arrastra el agua (Tabilo-Valdivieso, 2005).

#### Retención de nutrientes

Las propiedades físicas de algunos humedales tienden a reducir el flujo del agua facilitando la acumulación del sedimento. Los nutrientes están asociados al sedimento y con el tiempo se logra acumular en grandes cantidades (Tabilo-Valdivieso, 2005).

#### Banco genético

Ya sea para la explotación comercial, en el cual el uso de genes de la vida silvestre para producir y mejorar a las especies comerciales es bien conocido; así como también para la mantención de la biodiversidad (Tabilo-Valdivieso, 2005).

### Significancia para la conservación

Los humedales representan un hábitat clave para el ciclo de la vida silvestre, esta categoría incluye hábitats que soportan directamente especies de flora y fauna (Tabilo-Valdivieso, 2005).

### Recreación y turismo

Aquí se incluyen los humedales que están siendo utilizados para la recreación o el turismo, o sitios que tienen alto potencial para ser utilizados con estos propósitos (Tabilo-Valdivieso, 2005).

### Significancia sociocultural

Humedales que presentan importancia paisajística y estética, sitios con un alto potencial para el desarrollo del ecoturismo, que tenga presencia de distintas actividades humanas y que presente importantes sitios históricos (Tabilo-Valdivieso, 2005).

### Significancia para la mantención de los ecosistemas

Los humedales mantienen los procesos ecológicos, geomorfológicos y geológicos, también pueden contener gran cantidad de materia orgánica no descompuesta, actuando como sumideros de CO<sub>2</sub>. Estos mantienen un microclima particular y actúan previniendo el desarrollo de suelos ácidos sulfatados (Tabilo-Valdivieso, 2005).

### Significancia para la investigación y educación

Los humedales son sitios particulares para la investigación científica y para la educación. También son denominados “sitios tipo”, ya que un humedal puede ser el sitio de la primera descripción de una especie, de un fósil encontrado, de un tipo de roca descrita o hábitat, etc (Tabilo-Valdivieso, 2005).

En el mundo existen alrededor de 2300 sitios RAMSAR para cubrir un área total de 2500 millones km<sup>2</sup>. La gestión adecuada de estos espacios es un reto para los legisladores porque son sistemas con una amplia diversidad de hábitats, sujetos a variaciones espaciales y temporales. Estos elementos rara vez se incluyen en normativas para su adecuado aprovechamiento, por lo tanto, la pérdida o degradación de estos ecosistemas pueden estar

asociados a vacíos, superposiciones e incoherencias en el marco jurídico sobre tenencia, aprovechamiento del recurso, funciones y competencias de las autoridades administrativas (Darrah et al.,2019).

Sin embargo, el uso irracional de estos ecosistemas pone en riesgo su preservación a largo plazo. De acuerdo con un estudio sobre el Índice de Tendencias en Extensión de Humedales, Latinoamérica y el Caribe es la región con mayores pérdidas en áreas de humedales naturales entre 1970 a 2015 con un 59% en la reducción de su superficie. Se considera que la degradación y desaparición se vincula mayormente a la contaminación y la conversión de humedales a tierras agrícolas o de uso urbano (Darrah et al.,2019). Asociado a ello, se prevé que el cambio climático global y la carga de nutrientes se conviertan en importantes generadores de cambio en los próximos 50 años (RAMSAR, 2018).

En base a lo expuesto, cabe recalcar que el Sistema Lacustre Playitas-Moyúa-Tecomapa se destaca por ser uno de los diez humedales más importantes de Nicaragua y es el único reservorio natural de agua dulce localizado en una de las zonas más secas del país. Debido a su importancia en el ámbito nacional e internacional, fue declarado el sitio RAMSAR N° 1980, el 29 de junio del 2011 (RAMSAR, 2011). Las lagunas que lo conforman constituyen la base para el desarrollo socioeconómico dentro de la zona (CIRA UNAN- MANAGUA, 2012). Además, su rica biodiversidad alberga aves migratorias y especies en peligro de extinción (RAMSAR, 2011).



Figura 1: Sitios RAMSAR en Nicaragua (Fuente: RAMSAR)

A pesar de su relevancia, existe muy poca información sobre este sitio. Gran parte corresponde a artículos de prensa, accesibles en su mayoría de forma parcial por medio de internet. Según la revisión realizada, los mayores esfuerzos por generar información científica los ha impulsado la Dra. Thelma Salvatierra, vinculada en 2012 al Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos (CIRA UANAN-Managua), asesorando proyectos de tesis, publicando artículos para revistas científicas locales y gestionando un plan de recursos hídricos en la zona. Lamentablemente, el proyecto llegó a su fin y a la fecha del trabajo no se conocen actividades de seguimiento.

### 3.2. Aplicación de teledetección y SIG en el monitoreo de humedales

A nivel internacional, existen esfuerzos para la preservación de estos recursos lacustres. Dentro de los principales lineamientos destacan: a) realizar un inventario de humedales a partir de la recolección de información básica para su gestión, b) evaluación de humedales determinando el estado actual y principales amenazas que pesan sobre ellos y c) monitoreo de humedales mediante el análisis de series temporales de información para focalizar acciones de intervención en las zonas de mayor riesgo (RAMSAR, 2016).

En la actualidad, el estudio de humedales se puede realizar empleando técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Teledetección. Los SIG permiten llevar a cabo la visualización de información a través de mapas digitales; la captura, integración, edición y consulta de bases de datos espaciales; el análisis espacial y temporal; la evaluación del riesgo ecológico y la creación de modelos para el estudio de los humedales (Lowry, 2007). Por su parte, Chuvieco (2008) define a la teledetección como un conjunto de técnicas que permite estudiar la superficie terrestre por medio de imágenes adquiridas desde sensores aéreos o espaciales.

De manera general, esta disciplina se subdivide en teledetección pasiva y activa. La **teledetección pasiva** se sustenta en el uso de imágenes generadas a partir de la reflexión de ciertos rangos de energía que no son emitidas por el sensor (usualmente la luz del Sol). Estas imágenes facilitan observar diferentes coberturas de la superficie terrestre (agua, vegetación natural, cultivos, áreas urbanas, etc.), bajo una coloración normal serían apreciadas por el ojo humano o resaltar aspectos ocultos a nuestra vista (temperatura de

Ejemplos de estas imágenes son las tomadas por los sensores espaciales MODIS, LandSat, Spot, RapidEye, QuickBird y Sentinel-2. La bibliografía ilustra algunos ejemplos de aplicación de teledetección pasiva en el monitoreo de cuerpos de agua. Cai et al (2005), utilizaron imágenes MODIS para cartografiar el lago Poyang en China y estimar su superficie con un error de aproximado de 6.19%.

A pesar de estos ejemplos, la teledetección pasiva se ve limitada por el efecto de la nubosidad en las imágenes. Por tal razón, los investigadores exploran técnicas de **teledetección activa**, la cual se enfoca en el uso de sensores que emiten su propia energía tales como Lidar (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) y Synthetic Aperture Radar (SAR). Estos sensores son capaces de emitir y recibir información en longitudes de onda que no se ven afectadas por condiciones de nubosidad. Esta característica los hace adecuados para el estudio de diferentes estratos en los bosques, derivar modelos digitales de elevación y el análisis de la dinámica de cuerpos de agua. Algunos autores mencionan las ventajas del uso de imágenes de radar (NASA-ARSET, 2017).

### 3.2.1. Estudios de caso

Un estudio realizado en el lago Vichuquén ubicado en la Comuna de Vichuquén, provincia de Curicó, Región del Maule, tuvo como propósito estimar los parámetros de calidad de agua mediante el análisis de 2 imágenes Landsat 8 OLI, utilizadas para analizar las propiedades limnológicas de las aguas basándose en experiencias de Chen en 2016 . Los resultados que se obtuvieron, describen que los cambios de las propiedades del agua responden tanto a los cambios temporales, sobre todo temperatura, así como a las características del sitio estudio, determinando la importancia del patrón de la estacionalidad climática en la dinámica del ecosistema (Briceño et al, 2016).

En un estudio usando la clasificación supervisada, a través de datos de radar de apertura sintética (WASARD) compara los datos SAR con un conjunto de datos previamente clasificado por observaciones de agua desde el espacio (sus siglas en ingles WOFS) para entrenar a un clasificador de máquinas de vectores de soporte (SVM). Este clasificador se usa para detectar agua en otras escenas SAR fuera del conjunto de entrenamiento. Este modelo utiliza un algoritmo de aprendizaje supervisado para desarrollar un clasificador, lo que significa crear un vector que puede multiplicarse por el vector formado por las bandas de datos relevantes para determinar si un píxel en una escena SAR contiene agua. Este clasificador se entrena comparando los puntos de datos de las bandas seleccionadas en una escena SAR con sus respectivas etiquetas, que en este caso son "agua" o "no agua" según el algoritmo de Observaciones de agua desde el espacio (siglas en ingles WOFS). Identificar y eliminar los falsos positivos causados por pequeñas zonas moteadas mejora aún más las

predicciones de WASARD hasta el punto de que puede igualar o vencer a los métodos existentes tanto en su simplicidad como en su precisión (Kreiser et al, 2018).

El área en la cual se llevó a cabo este estudio corresponde a los Distritos de Uttar Pradesh en la India, donde el Río Rapti se une con el Río Ghaghara. Uttar Pradesh es el estado más densamente poblado, debido a la disponibilidad de riego a través de la red de muchos ríos y afluentes. La mayoría de la población vive a lo largo de las orillas de los ríos. Se utilizó un radar de apertura sintética (SAR) multi temporal de alta resolución y Imágenes ópticas capturadas durante las inundaciones de agosto de 2017 en el Estado de Uttar Pradesh, India. Las estadísticas se calculan para encontrar el área inundada en cada distrito del área de estudio que se utilizó. El mapeo de agua de inundación a nivel de distrito se realizó superponiendo las capas de agua extraída. Los resultados se validaron contra las observaciones meteorológicas y se pueden usar de manera efectiva para el mapeo de las inundaciones y el monitoreo de inundaciones por lo tanto ayuda a minimizar el impacto del peligro de inundación y ayuda a aumentar la flexibilidad en el manejo de inundaciones (Anusha & Bharathi, 2019).

### 3.2.2. Plataforma Google Earth Engine y Sensores

Google Earth Engine (o simplemente Earth Engine), es una plataforma en la nube para realizar análisis científicos y visualización de datos geoespaciales. Google lo define como *«La plataforma de procesamiento geoespacial basado en la nube más avanzada del mundo»*. Google Earth Engine combina un catálogo con **petabytes de imágenes de satélite** y conjuntos de datos geoespaciales con capacidades de análisis a escala planetaria y lo pone a disposición de científicos, investigadores y desarrolladores con el fin de detectar cambios, mapear tendencias y cuantificar diferencias en la superficie de la Tierra (Gorelick, 2017).

Google Earth Engine es una herramienta para analizar información geoespacial, cobertura de bosques y agua, el cambio de uso de la tierra, evaluar la salud de los campos agrícolas. Catálogo de datos donde se combina con potencia de cálculo escalable y respaldada por

centros de datos de Google. Una Interfaz de programación de aplicaciones flexible que le permite implementar sin problemas flujos de trabajo geoespaciales existentes. Es una plataforma gratuita solamente utilizando una cuenta Google. Las imágenes y los datos de terceros pueden importarse a Earth Engine para su análisis, catálogo de datos de búsqueda, que incluye todo el catálogo Landsat de EROS (USGS / NASA), numerosos conjuntos de datos MODIS, datos Sentinel-1, datos NAIP, datos de precipitación, datos de temperatura de la superficie del mar, datos climáticos de CHIRPS y datos de elevación. Los usuarios pueden cargar sus propios datos para su análisis en Earth Engine, compartir sus resultados y scripts de análisis directamente con otros usuarios de Earth Engine, o descargarlos y compartirlos como lo haría con cualquier otro dato (Gorelick, 2017) ,conjuntos de datos globales que documentan la ubicación del agua superficial y la estacionalidad que se han producido a partir de inventarios y descripciones nacionales, extrapolación estadística de datos regionales y las imágenes satelitales, pero medir los cambios a largo plazo en alta resolución sigue siendo un desafío.

Los Landsats 5, 7 y 8 están en órbita casi polar con cobertura repetida cada 16 días; dos satélites operan simultáneamente con un ciclo de 8 días. El área del terreno fotografiada por las órbitas adyacentes se superpone en un 7.3% en el ecuador, aumentando a 68.3% de superposición a 70 ° de latitud 34°. La secuencia de imagen a lo largo de una pista en órbita también se superpone, pero estos son datos idénticos, no vistas únicas; no se utilizó la superposición, pero se conservó la superposición de píxeles para análisis. Determinando el efecto del cambio climático en las áreas y la transición de los biomas, a través de Google Earth Engine como software libre y con gran utilidad en la realización del estudio (Pekel et al, 2016).

Otro ejemplo de la aplicación de estas tecnologías es el primer mapa de inventario de humedales de Terranova, Canadá a una resolución espacial de 10 m utilizando los datos Sentinel-1 y Sentinel-2 en la plataforma de computación en la nube de Google Earth Engine (Kumar & Mutanga, 2018).

Este estudio apunta a desarrollar un enfoque de clasificación multitemporal basado en datos de detección remota y acceso abierto a las herramientas de las zonas húmedas de otros países

con gran precisión, aquí probando este enfoque para el mapeo de humedales en Canadá. Específicamente, los objetivos principales de este estudio fueron los siguientes: (1) aprovechar el acceso a la imagen aséptica SAR obtenida de los sensores Sentinel-1 y Sentinel-2 para la clasificación de los complejos de humedales y (2) producir el primer mapa de inventario de humedales de resolución fina (es decir, 10 m) a escala provincial en Canadá. Los resultados de este estudio demuestran un cambio de paradigma de los productos y enfoques estáticos estándar hacia la generación de mapas de cobertura de tierras silvestres más dinámicos, a demanda y a gran escala que han avanzado recursos de computación en nube que simplifican el acceso y el procesamiento de un gran volumen de imágenes satelitales. Dada la similitud de las clases de humedales en todo el país, la metodología desarrollada se puede ampliar para mapear los humedales a escala nacional (Kumar & Mutanga, 2018).

Algunos autores destacan la utilidad de la teledetección y los SIG en el monitoreo de humedales; se hizo énfasis en el uso de imágenes SAR, porque presentan la capacidad de detectar agua libre en superficie aún bajo condiciones de nubosidad, lluvia y oscuridad. Esta característica lo hace útil para el monitoreo de inundaciones y cambios en cuerpos de agua (Chuvieco, 2008).

### **3.3. Monitoreo y análisis de patrones espacio-temporales**

El estudio se ha desarrollado en Brasil entre la línea divisoria de los estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul y Paraná. Esta región formó parte de una extensa planicie aluvial localizada en el curso alto del río Paraná, siendo necesaria la inundación de más del 50% de este espacio natural en donde se llevó a cabo la construcción de esta mega obra. El estudio integró datos recolectados de la variable limnológicas DS (Disco de Secchi) y datos generados por el sensor MODIS (MOD09GA) para realizar el mapeo de la dinámica espacial y temporal del DS y del índice de Estado Trófico calculado con el Disco de Secchi o sus siglas IET- DS (Moncayo Eraso & Bueno Trindade Galo, 2017).

## IV. MATERIALES Y METODOS

### 4.1. Descripción del área de estudio

El sistema lacustre Playitas-Moyúa-Tecomapa se encuentra ubicado aproximadamente a 70 kilómetros de Managua, en el municipio de Ciudad Darío, departamento de Matagalpa. Ubicado en las coordenadas UTM Moyúa, X: 602324 Y:1392047, Tecomapa X:604321 Y: 1395357, Playitas X: 603866 Y: 1390561 en la hoja topográfica número 2953-1. El sistema está conformado por tres lagunas continentales de agua dulce. Moyúa, la de mayor dimensión, cubre una superficie aproximada de 5.5 km<sup>2</sup>, Tecomapa abarca aproximadamente 0.6 km<sup>2</sup>, manifiesta un comportamiento estacional y las Playitas, es la laguna de menor dimensión con tan solo 0.2 km<sup>2</sup> de extensión y es una laguna estacional (CIRA UNAN-MANAGUA, 2012)(Figura 2).

#### 4.1.1. Localización

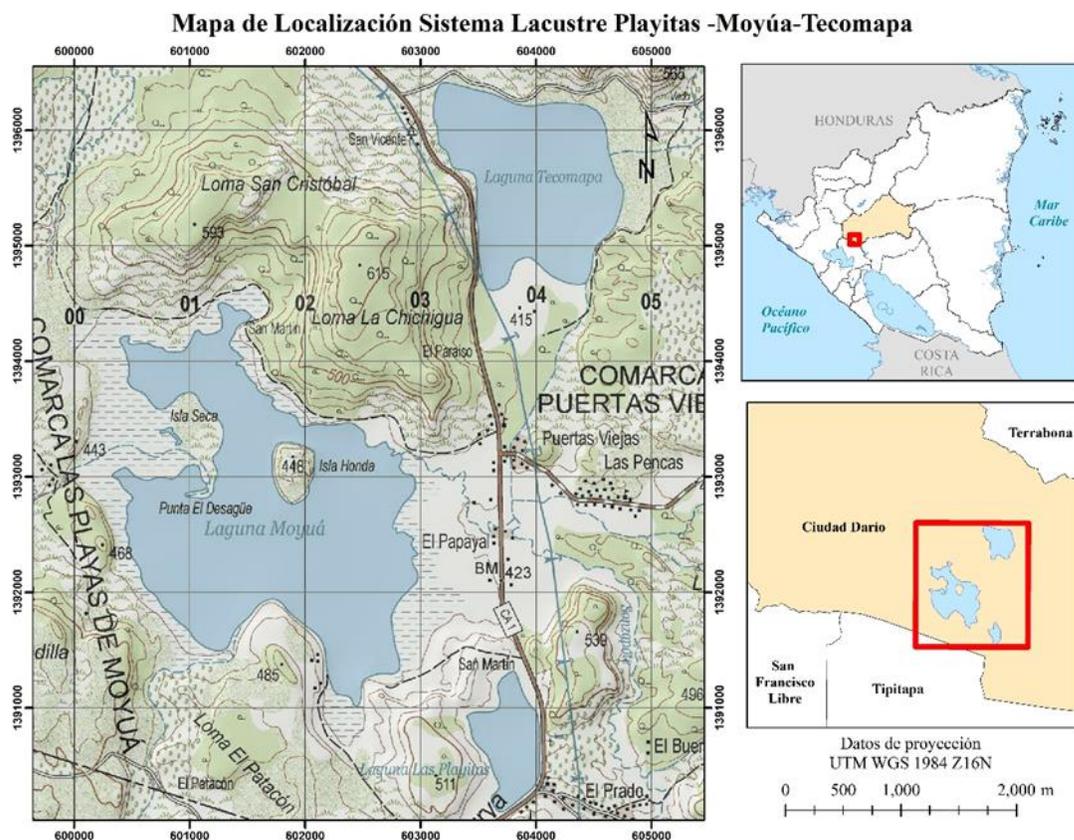


Figura 2: Localización Sistema Lacustre Playitas- Moyúa-Tecomapa (Fuente: INETER 2006)

## 4.1.2. Características Biofísicas

### 4.1.2.1. Clima

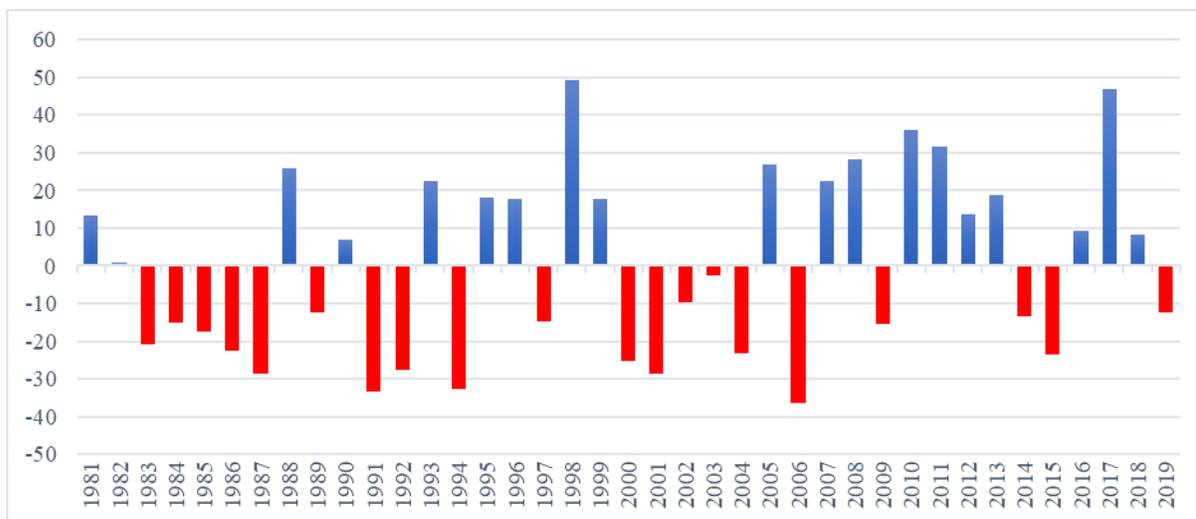


Figura 3: Variación de la precipitación media anual 1981-2019 (Fuente: CHIRPS)

La precipitación media anual es de 1131.6 mm. La estación lluviosa es de mayo a octubre, con una canícula (temporada más calurosa) en los meses de julio y agosto. Los valores medios anuales de las temperaturas oscilan entre los 26°C en las zonas con mayor elevación (600 msnm) y 30°C en los sectores de menor elevación (400 msnm). En el comportamiento medio mensual de la temperatura los mayores valores de temperatura del año se presentan en el bimestre de marzo-abril, variando los máximos entre 24.0 y 27.2 °C. Los valores de temperatura del aire en la zona varían de los 22 a 27 °C en función de la estación (CIRA UNAN- MANAGUA, 2012) (Figura 3).

#### **4.1.2.2. Geomorfología**

En estudios realizados por Vargas, fueron diferenciadas dos unidades geomorfológicas: “Estribaciones Occidentales” y “Altiplanicie de Darío”. Las Estribaciones Occidentales se caracterizan por presentar un relieve escarpado, con aglomerados, andesitas y basaltos del grupo Coyol. La característica agreste de esta unidad se pierde en el extremo sur-oeste, declinando en cuestas hacia Managua, surcadas por amplios valles aluviales. Así mismo las ignimbritas han reemplazado a las otras rocas. La Altiplanicie de Darío constituye una superficie elevada, más o menos plana de forma irregular, alargada de NO a SE, formada por una serie de mesetas separadas por quebradas profundas y estrechas, que cortan capas horizontales de ignimbritas y basaltos, del Coyol inferior y superior, respectivamente. Las depresiones están ocupadas por las lagunas de Moyúa, Playitas y Tecomapa (Vargas, 1971).

#### **4.1.2.3. Aspectos RAMSAR**

El sistema se encuentra entre diversos criterios que lo hacen merecedor de tal categoría algunos de estos son: criterio 1. Importancia del sistema en el área, criterio 2. Especies en peligro de extinción según listas UICN y CITES, criterio 3, 4, 7 y 8 nichos ecológicos para diferentes especies (aves migratorias, mamíferos, reptiles etc.), alimento, refugio y desove. Clasificación de este según RAMSAR es Continental y tipo artificial.

#### **4.1.2.4. Vegetación**

De acuerdo a la clasificación de Salas (2002) el sitio se encuentra dentro del ecosistema forestal zonal No.1 que corresponde a bosques bajos o medianos caducifolios de zonas cálidas muy secas del trópico. Esta formación vegetal (ecosistema forestal) se caracteriza por presentar rangos promedios de precipitación pluvial de 750 a 1250 mm, temperaturas de 26 a 29 °C y elevaciones de nivel topográfico de 0 a 500 msnm. Además de las lagunas, en el sitio se observan pantanos, especies vegetales como el Júcaro Sabanero (*Crescentia alata* y *C. kujete*) y cornizuelo (*Acacia sp.*), y aves acuáticas residentes, nativas y migratorias. Las aves encuentran en estos humedales refugio, alimento y sitios apropiados para la anidación. La vegetación se encuentra sumamente intervenida y presenta el aspecto de un bosque matorraloso y de aspecto sabanoide. Los árboles y arbustos se ven esparcidos o formando

agrupaciones separadas de árboles y de arbustos, o de ambos a la vez, con o sin participación de zarzas, arbustos espinosos, gramíneas u otras hierbas (Salas Estrada, 2002).

Florísticamente se pueden encontrar diferentes especies representativas, entre las que se pueden mencionar: *Acacia costarricensis* (cornizuelo), *Crescentia alata* (jicaro sabanero), *Ximena americana* (jocomico), *Haematoxylon brasiletto* (brasil), *Bumelia sp.* (sombra de armando), *Opuntia sp.* (tuna silvestre), *Senna atomaria* (vainillo), *Albizia caribaea* (guanacaste blanco), *Albizia saman* (jenízaro) y *Acacia farnesiana* (aromo) (Salas Estrada, 2002).

Entre las hidrófitas más sobresalientes de las lagunas se encuentran el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), así como el helecho (*Salvinia sp.*), que cubre parcialmente a las tres lagunas (Salas Estrada, 2002).

#### **4.1.2.5. Suelo**

En el área de drenaje hacia las lagunas hay predominio de actividad agropecuaria, utilizando el suelo para los cultivos de maíz, sorgo, frijol y hortalizas. En la zona no es adecuado este tipo de cultivos por la baja precipitación en el área, además de que los cultivos tradicionales provocan cambios en el uso del suelo forestal hacia actividades agrícolas. Ello ocasiona la deforestación en zonas que podrían ser mejor empleadas para la producción de bosque latifoliado, combinándolo con agricultura y ganadería silvopastoril (CIRA UNAN-MANAGUA, 2012).

Se encuentran suelos formados por materiales aluviales y coluviales recientes. Son suelos profundos, de textura media fina a fina bien estructurada, con buen drenaje, fértiles y se adaptan bien a una agricultura de riego. Son adecuados para la mayoría de cultivos tradicionales (granos básicos, sorgo, algodón y hortalizas). Estos suelos son predominantemente arcillosos en proporción al área cubierta, y su profundidad varía considerablemente. Otro tipo de suelo formado por materiales finos subyacentes, de textura fina y que pertenecen al orden de los vertisoles, presentan permeabilidad moderada, drenaje mediano, son bien estructurados y fértiles, están de leve a moderadamente afectados por alcalinidad y son capaces de producir alto rendimiento. La textura de los suelos es otra

importante característica para determinar el uso de los mismos, ya que el cultivo a plantar estará en función del tipo de suelo (CIRA UNAN- MANAGUA, 2012).

Los suelos franco-arcillosos y limo-arcillosos tienen la característica que al secarse se fracturan o agrietan, y al humedecerse con las lluvias o el riego se expanden y vuelven un material plástico altamente adhesivo e impermeable. Sin embargo, por las grietas de la arcilla o el limo arcilloso el agua penetra infiltrándose en el subsuelo hasta llegar lentamente al agua subterránea. Posteriormente, la presión ejercida por este material facilita que el agua retenida en los poros del suelo migre hasta el acuífero, haciendo posible la infiltración del agua en forma lenta (CIRA UNAN- MANAGUA, 2012).

#### **4.2. Proceso Metodológico**

El presente estudio se basa en emplear técnicas de percepción remota para la detección de agua libre en superficie mediante imágenes de radar Sentinel-1, el análisis espacial de los datos bajo un entorno de Sistemas de Información Geográfica, potenciado por el uso de plataformas web para el acceso y procesamiento masivo de información Google Earth Engine (GEE) (Figura 4).

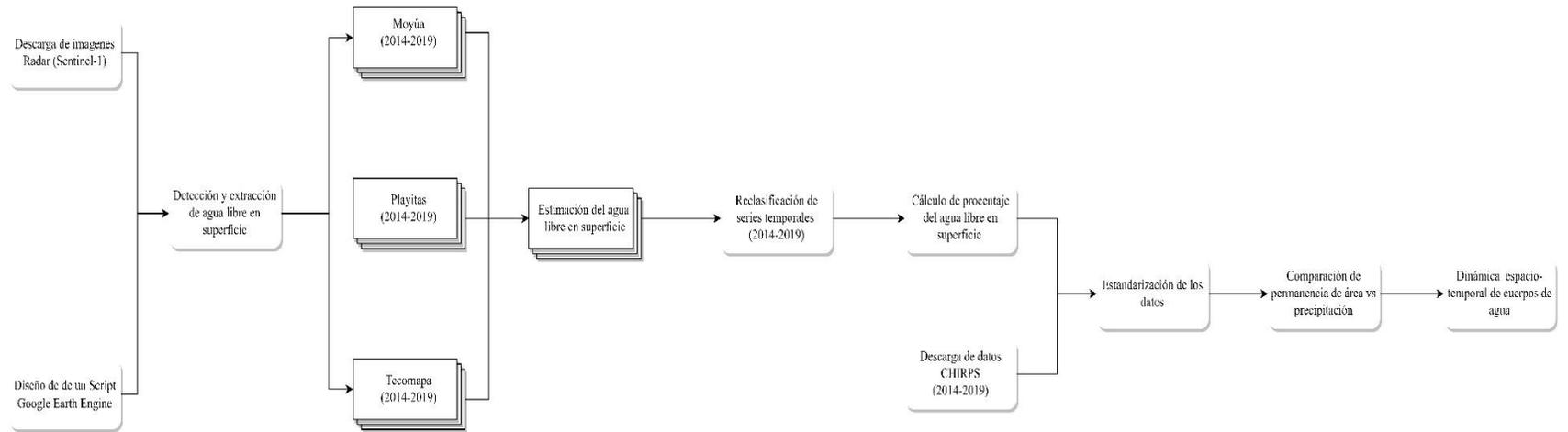


Figura 4: Flujo de procesamiento

## **4.2.1. Detección y extracción de agua libre en superficie**

### **4.2.1.1. Determinación del área de trabajo**

El uso de herramientas de dibujo en la plataforma para delimitar y establecer un marcador en el área de interés. Selección de la colección de imágenes a utilizar del catálogo online, en este caso “Sentinel-1 SAR GRD”. Mediante este proceso se recorta las imágenes para un análisis previo (Anexo 1).

### **4.2.1.2. Importar imágenes a utilizar**

La utilización de filtros por banda, propiedades de la órbita del sensor, el uso del marcador del área de interés y fecha mostraron un compilado de imágenes mensuales a través de un filtro estadístico mediante la incorporación de la mediana de Sentinel-1 (Anexo 2).

### **4.2.1.3. Clasificación de imágenes mensuales**

El procesamiento de imágenes digitales, la segmentación por Clustering tiene como objetivo agrupar píxeles en Clusters o racimos. Este método fue propuesto por McQueen en 1967. Los clusters son definidos por un algoritmo de acuerdo con el grado de semejanza existente en los datos (Olaya, 2014).

Estos métodos son algoritmos interactivos en los cuales inicialmente se selecciona el número de Clusters (K), y seguidamente el algoritmo de manera autónoma agrupa los datos dentro de las imágenes, entregando como resultado una imagen segmentada en colores, textura, intensidad o una mezcla de los anteriores (Avendaño Pérez y otros, 2014) . Por lo tanto, la intervención humana se centra más en la interpretación de las clases resultantes y no en la definición de estas (Rauter, 2015).

#### **4.2.1.4. Detección de agua libre en superficie**

A partir de una inspección visual, se identificó el cluster correspondiente a “agua” en cada imagen clasificada. Posteriormente, las imágenes se reclasifican asignando valor de cero (0) a todas las clases “no agua” y uno (1) al cluster, se reclasificó cada imagen. La detección de agua libre en superficie es un procedimiento manual. Por medio de esta acción se agrupo las clases (20) para la clasificación de agua y No-agua. Posterior se exportaron en los datos en formato TIFF para su procesamiento (Anexo 2).

#### **4.2.1.5. Extracción de valores de pixel**

Proceso mediante el cual se utilizaron datos exportados en formato TIFF; por medio del cual se aislaron los valores de las coberturas en: agua y no agua, a través de una máscara de 300 m para cada una de las lagunas y generar una base de datos. Posteriormente se realizaron los cálculos pertinentes para la determinación de áreas (Anexo 2).

#### **4.2.1.6. Análisis de patrones espacio-temporales de las lagunas**

A través de mapas generados, se analizó el comportamiento de cada laguna, en términos de variaciones de superficie, distribución espacial y temporal, considerando un buffer como are de influencia de aproximadamente 300 m en torno a cada cuerpo de agua como posibles áreas inundables durante años lluviosos. Las estimaciones de superficie mensual se realizaron con ayuda de los programas ArcGIS y EXCEL, cuantificando la cantidad de pixeles clasificados como agua libre en superficie y estableciendo una relación entre el número de pixeles y la resolución espacial de los mapas (equivalente a 100 m<sup>2</sup>). Para facilitar la interpretación de los datos, los resultados se expresaron en km<sup>2</sup> y porcentajes, tomando como referencia las dimensiones de las lagunas correspondientes a los mapas topográficos 1988.

## **4.2.2. Estimación de área**

### **4.2.2.1. Cálculo de área (área-pixel)**

El área por pixel se calculó a través de un máscara delimitando el perímetro de las lagunas y el valor de los pixeles que se encuentran en ellas. Se tomó en consideración la resolución espacial del pixel y un factor de conversión. La resolución espacial de pixel es 10×10 m.

$$A_{pix} = \frac{(Pix * Res P)}{Fcon}$$

Donde

$A_{pix}$  : Área total del pixel

Pix: Numero de pixeles encontrados

ResP: Resolución espacial del pixel (100 m<sup>2</sup>)

Fcon: Factor de conversión 1,000,000

### **4.2.2.2. Reclasificación de series temporales**

Los datos obtenidos en formato TIFF de 63 imágenes Sentinel-1, las cuales se sumaron, dividieron y multiplicaron entre ellas, es decir se suman el total de imágenes, luego se divide entre 12 que sería el total de meses y posteriormente se multiplica el resultado por 100. Después de haber realizado esta operación se hace una extracción con una máscara de 300 m de la zona de influencia y los valores en ellos se reclasificarán en 5 clases.

### **4.2.3. Cálculo de porcentaje anual de permanencia**

Los valores obtenidos que se utilizaran son los previamente reclasificados y los cuales estén entre el rango de clases 5 a 3. Siendo 5 agua permanente, 4 agua estacional y 3 agua ocasional.

#### 4.2.3.1. Cálculo de agua permanente

$$AP = \frac{(Pix * ResP)}{Fcon}$$

Donde:

AP: Agua permanente

Pix: Numero de pixeles encontrados con rango de 5

ResP: Resolución espacial del pixel (100 m<sup>2</sup>)

Fcon: Factor de conversión 1, 000,000

#### 4.2.3.2. Cálculo de Agua Estacional y Ocasional

$$Aest = \frac{(\sum Pix * ResP)}{Fcon}$$

$$Aoc = \frac{(\sum Pix * ResP)}{Fcon}$$

Donde:

Aest: Agua estacional

Aoc: Agua ocasional

$\sum Pix$ : sumatoria de pixeles de rango 4

$\sum Pix$ : sumatoria de pixeles de rango 3

ResP: Resolución espacial del pixel (100 m<sup>2</sup>)

Fcon: Factor de conversión 1,000,000

#### **4.2.4. Comparación de las precipitaciones con datos Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)**

##### **4.2.4.1. Extracción de los datos**

Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) es un conjunto de datos de precipitación cuasi global de más de 35 años. CHIRPS, que abarca 50 ° S-50 ° N (y todas las longitudes) y que va desde 1981 hasta casi el presente, CHIRPS incorpora climatología interna, CHPclim, imágenes satelitales de resolución de 0.05 ° y datos de estaciones in situ para crear series de tiempo de lluvia en cuadrículas. para análisis de tendencias y seguimiento de sequías estacionales (Peterson, 2015). A través de selección geoespacial en puntos de pixel en los cuales se encuentran la zona de estudio, se utilizó datos promediados de precipitación de CHIRPS que permitirá validar a través de gráficos la correlación entre área y precipitación. A continuación, se presenta las coordenadas geoespaciales para cada una de las lagunas:

Laguna	Longitud	Latitud
Playitas	-86.044	12.580
Moyúa	-86.063	12.597
Tecomapa	-86.044	12.621

#### 4.2.4.2. Estandarización de datos

Este estadígrafo de dispersión, muy utilizado en la distribución normal y en el análisis de coeficiente de correlación, mide la desviación de una observación con respecto a la media aritmética en unidades de desviación típica, determinando la posición de una observación dada, dentro de un conjunto de observaciones. El puntaje típico sirve para comparar dos o más datos individuales, aunque pertenezcan a distribuciones diferentes, aún en casos en que la media y/o varianza no coincidan (Martínez Bencardino, 2012).

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Donde:

X: es la puntuación o valor a transformar

$\mu$ : es la media de la distribución original

$\sigma$ : la desviación estándar de la misma distribución

Z: es la puntuación transformada a unidades de desviación estándar.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Dinámica de la laguna de Moyúa

En base a imágenes obtenidas, se registró que Moyúa mantuvo formas y áreas similares en cuatro momentos del período evaluado (2014, 2015, 2018 y 2019) con excepción de los años 2016 (Figura 5) y 2017 (Figura 5), en los cuales experimentó una severa reducción del agua libre en superficie. La desecación de la laguna inició en mayo 2015 (5.02 km<sup>2</sup>) (Figura 5), con una reducción de sus límites de costas Este y Noroeste. Al Este, las costas de la comunidad El Papayal, se retiraron en promedio 123 m al Noroeste, cercano a finca San Martín y al pie de la Loma San Cristóbal, las reducciones no superaron los 59 m y próximo a Isla Seca este parámetro alcanzó valores de 4.46 km<sup>2</sup> y 4.32 km<sup>2</sup> para agosto y diciembre del mismo año.

Esta dinámica de reducción continuó y en abril 2016, la laguna se comprimió aún más desde estos flancos reduciéndose su superficie a 3.82 km<sup>2</sup>, 30 % de agua libre en superficie menos en comparación con enero 2015. Los retiros de costa alcanzaron valores de hasta 390 m en la comunidad El Papayal, 440 m en finca San Martín y 234 m alrededor de Isla Seca.

La reducción alcanzó la máxima expresión en mayo 2017, cuando el agua libre en superficie tan sólo cubrió una superficie de 0.83 km<sup>2</sup>, 85% del total registrado en enero 2015. En este mes, el sensor Sentinel-1 detectó presencia de agua en el centro de la laguna, y en el sector Suroeste, correspondiente a Las Playitas de Moyúa y el pie de Loma El Patacón. Bajo este escenario extremo: El Papayal, Isla Honda, Isla Seca y Punta El Desagüe se lograron conectar por tierra. Posteriormente una recuperación casi total de su superficie en octubre del mismo año (4.09 km<sup>2</sup>). Posteriormente, la laguna alcanzó sus dimensiones habituales y se mantuvo relativamente estable durante los años 2018 (Figura 5) y 2019 (Figura 5) con un promedio de área de 4.98 km<sup>2</sup>.

Una valoración global de los cinco años permite aseverar que Moyúa es una laguna de carácter permanente, se mantuvo cubierta por agua al menos durante el 80% del período analizado. El agua permanente abarcó una superficie aproximada de 2.79 km<sup>2</sup>. El agua estacional, representa la superficie habitual de la laguna (60% al 80% del tiempo evaluado),

equivaliendo a 1.31 km<sup>2</sup>. Las categorías ocasional y efímera abarcan superficies pequeñas de 0.67 km<sup>2</sup> y 0.42 km<sup>2</sup> respectivamente. Estas clases ilustran los niveles máximos de crecimiento alcanzados por la laguna, así como las zonas con tendencia a desecarse con mayor frecuencia. En otras palabras, si la tendencia de la laguna a largo plazo fuera desaparecer, estas serían probablemente las zonas más propensas a desecarse de manera permanente.

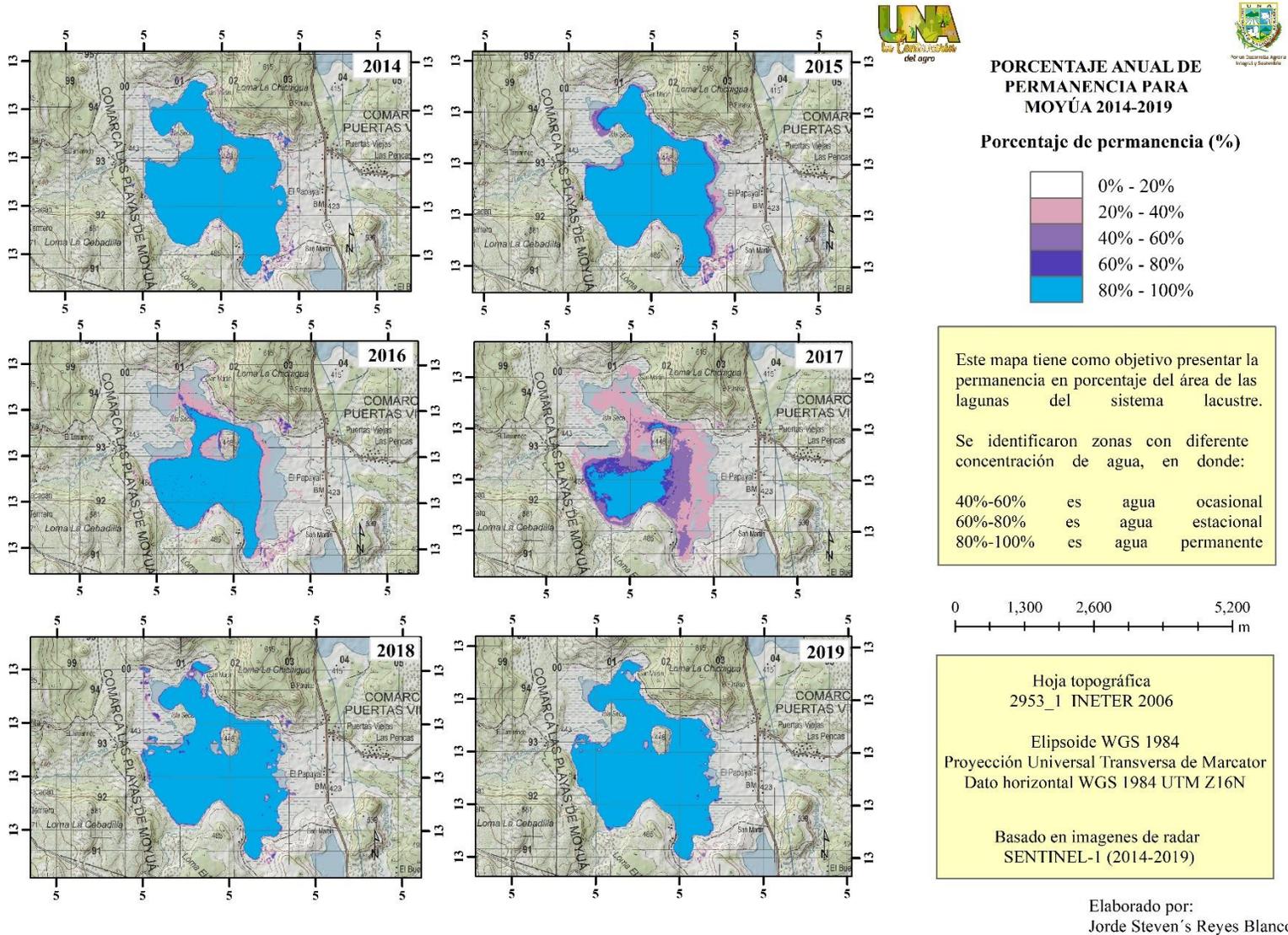


Figura 5: Porcentaje anual de permanencia de agua libre en superficie para el año 2014

## 5.2. Dinámica de la laguna Playitas

Las Playitas presentan un comportamiento propio de una laguna intermitente. Sus fluctuaciones interanuales no presentaron un patrón regular más bien, su dinámica espacio-temporal se caracterizó por intercalar estados de desecación total y recuperación parcial en ciclos con duración de 8 a 16 meses.

A pesar de que en ciertos años la laguna se deseca por completo, no se encontraron tantos registros bibliográficos que destaquen este fenómeno a como ocurre con Moyúa, con excepción de Salvatierra T. (2012), quien hace referencia a este comportamiento intermitente influenciado por la agricultura. Posiblemente, los eventos de desecación son tan frecuentes que se asumen como una condición normal en la dinámica de la laguna y lamentablemente no se ha profundizado en el estudio de dicho comportamiento en el pasado y los posibles impactos a largo plazo para la biodiversidad y la población. En este sentido, la metodología e información derivada del presente estudio son un aporte importante para el monitoreo del sitio RAMSAR y su evolución.

Se registró un incremento gradual significativo en la superficie de la laguna, de octubre 2014(Figura 6) con 0.40 km<sup>2</sup> a mayo 2015 con 0.41 km<sup>2</sup>. A partir de junio 2015 (Figura 6), inició una fase de desecación escalonada durante el cual la superficie de agua se redujo principalmente desde sus extremos Norte y Este y las costas se retiraron en promedio (107 m y 34 m respectivamente), quedando para febrero 2016, un pequeño remanente de agua de 0.15 km<sup>2</sup> en el centro de la laguna.

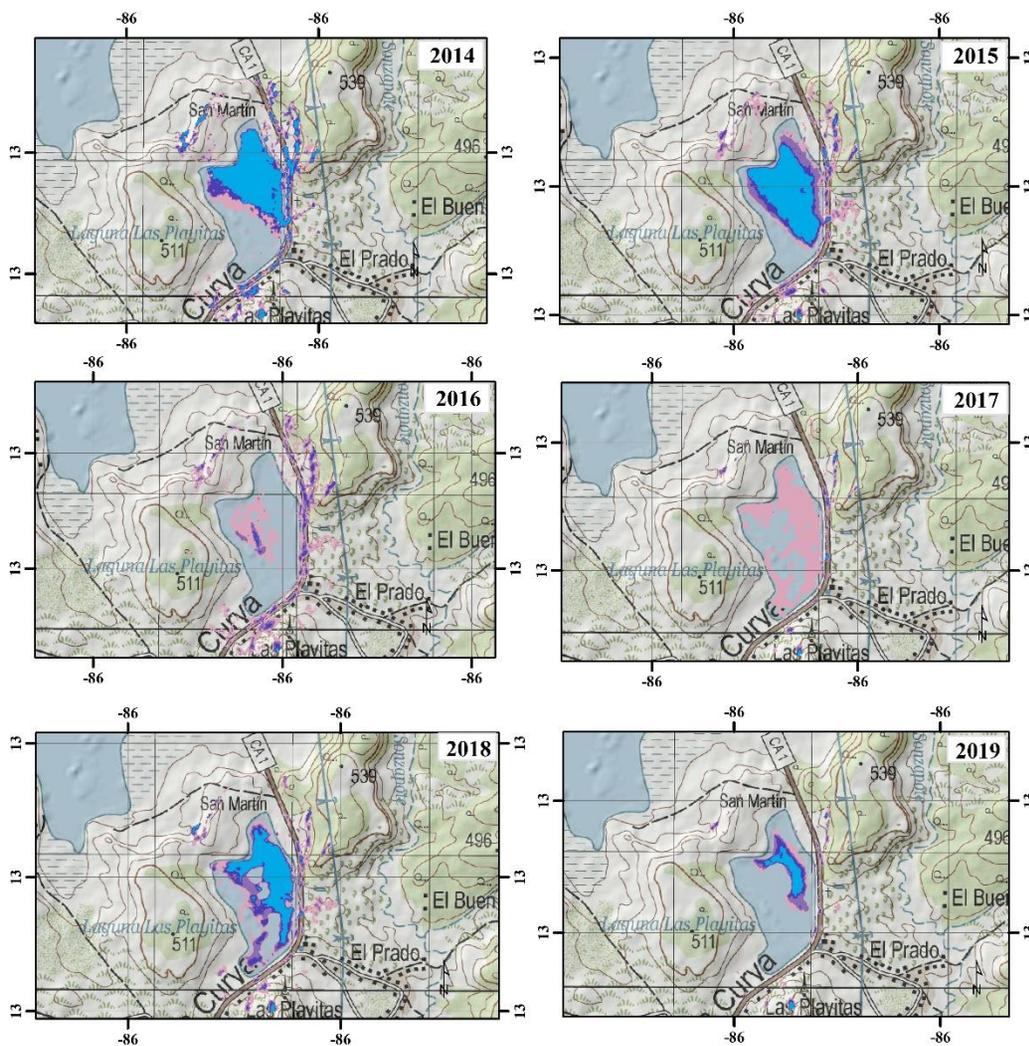
En marzo 2016, esta fase se intensificó, la superficie de la laguna se redujo de manera abrupta a 0.05 km<sup>2</sup> y desde este mes hasta septiembre 2017(Figura 6), el radar Sentinel-1 no logró detectar presencia alguna de agua libre en superficie, interpretándose de esta manera la ocurrencia de una desecación total. Por este medio es necesario que la resolución espacial del sensor equivale a 10 x10 m. En consecuencia, pudieron existir áreas compactas con presencia de agua, pero con dimensiones menores a 100 m<sup>2</sup>.

En octubre 2017, la laguna experimentó una recuperación abrupta y el agua libre en superficie se concentró en los extremos Norte, Sur y Este. Durante esta etapa, la distribución espacial del agua varió de mes a mes, manteniendo una morfología similar con áreas que oscilaron entre 0.43 km<sup>2</sup> a 0.27 km<sup>2</sup>. Este ciclo de recuperación terminó en junio 2018(Figura 6), con una mayor concentración de agua en los sectores Norte y Este y una superficie aproximada de 0.37 km<sup>2</sup>.

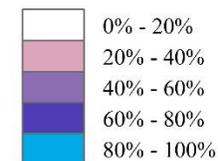
Por último, a partir de agosto 2018 se inició una nueva etapa de reducción gradual con una duración de 16 meses, en la cual la superficie de la laguna disminuyó de 0.26 km<sup>2</sup> en agosto hasta 0.05 km<sup>2</sup> en diciembre 2019 (Figura 6). Al finalizar el análisis, el agua libre en superficie se concentraba sólo en un pequeño remanente de 322 m de largo y 52 m de ancho, localizado casi al centro de la laguna. Durante este período, no se registró presencia de agua libre en superficie de carácter permanente. La presencia de agua se rige por condiciones estacionales, ocasionales y efímeras.

El agua estacional representa el comportamiento habitual de la laguna. Durante el período evaluado abarcó tan sólo un área aproximada de 0.05 km<sup>2</sup> y predominó en el sector Noreste de la laguna, siguiendo el límite marcado por la carretera Panamericana. La dinámica de intermitencia se completa con aguas ocasionales y efímeras, las cuales abarcan una superficie de 0.12 km<sup>2</sup> y 0.19 km<sup>2</sup>.

Dinámica espacio-temporal de agua libre en superficie en el Sistema Lacustre Playitas-Moyúa-Tecomapa, Ciudad Dario, Matagalpa 2014-2019  
**PORCENTAJE ANUAL DE PERMANENCIA DE AGUA LIBRE EN SUPERFICIE PARA PLAYITAS**



**Porcentaje de permanencia (%)**



Este mapa tiene como objetivo presentar la permanencia en porcentaje del área de las lagunas del sistema lacustre.

Se identificaron zonas con diferente concentración de agua, en donde:

40%-60%	es	agua	ocasional
60%-80%	es	agua	estacional
80%-100%	es	agua	permanente

Hoja topográfica  
 2953\_1 INETER 2006

Elipsoide WGS 1984  
 Proyección Universal Transversa de Marcador  
 Dato horizontal WGS 1984 UTM Z16N

Basado en imágenes de radar  
 SENTINEL-1 (2014-2019)

Elaborado por:  
 Jorde Steven's Reyes Blanco

Figura 6: Porcentaje anual de permanencia de agua libre en superficie para el año 2014

### 5.3. Dinámica de la laguna Tecomapa

Tecomapa presentó un comportamiento propio de un pantano<sup>1</sup> más que de una laguna intermitente. Sus fluctuaciones interanuales no fueron regulares, más bien, su dinámica se caracterizó por extensos períodos de desecación con ligeros incrementos de agua libre en superficie espaciados entre 7 a 15 meses aproximadamente.

Al igual que en Las Playitas, no se encontraron registros bibliográficos que describan la dinámica de la laguna a largo plazo a como ocurre con Moyúa, aunque Salvatierra T. (2012) menciona que el comportamiento fluctuante de sus aguas y los fenómenos de desecación están influenciados por la actividad ganadera y procesos de erosión-sedimentación como consecuencia de la agricultura en laderas. Aun cuando no se cuentan con suficientes registros de imágenes de radar, los resultados del presente estudio contribuyen con las actividades de monitoreo del sitio RAMSAR.

Se identificaron tres fases relevantes. La primera corresponde a una fase de desecación gradual, comprendida entre octubre y noviembre del 2014 (Figura 7) a febrero 2015 (Figura 7) , durante la cual el área de la laguna disminuyó de 0.51 km<sup>2</sup> a 0.22 km<sup>2</sup>.

Posteriormente esta fase se intensificó, y a partir de marzo 2015 hasta junio 2018 (Figura 7), la laguna se desecó por completo, comportándose más como un ecosistema de pantano, manifestando ligeros incrementos de agua libre en superficie en intervalos de 7 a 15 meses. A partir de julio 2018, se registró un incremento gradual de las aguas de la laguna y su superficie aumentó de 0.25 km<sup>2</sup> a 0.41 km<sup>2</sup> en diciembre 2019(Figura 7).

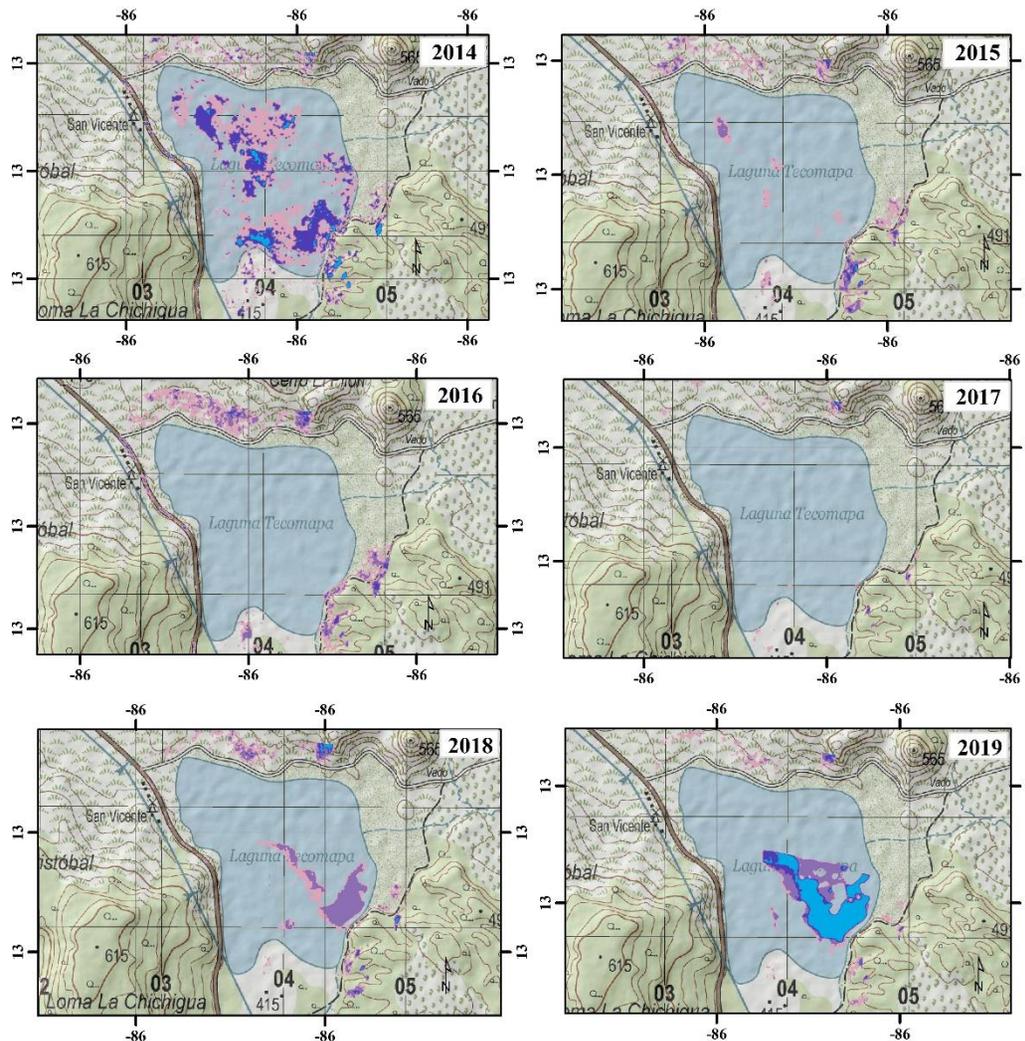
El comportamiento de esta apoya el argumento de que Tecomapa es una laguna efímera con tendencia a asemejarse a un pantano. Durante este período, no se registró presencia de agua

---

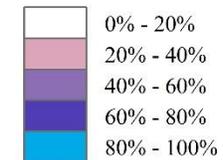
<sup>1</sup> Un pantano o ciénaga es una capa de agua estancada y poco profunda en la cual crece una vegetación acuática que puede llegar a ser muy densa. El pantano ocupa en un valle la parte abandonada por las aguas de un río como antiguos meandros, lechos antes muy anchos y luego reducidos por alguna causa que haya afectado el caudal del río. Los pantanos pueden ser de agua dulce o salada. Entendido como ecosistema, en los pantanos conviven distintas plantas sumergidas y flotantes como algas, lirios de agua, el junco, arroz silvestre y la enea. Cuando los sedimentos rellenan el fondo del pantano, la vegetación acuática va siendo reemplazada gradualmente por matorrales y otras veces por especies propias de tierra firme con gramíneas y árboles de mayor tamaño. Los pantanos proporcionan hábitats donde anidar y pasar el invierno, aves marinas, pequeños mamíferos, ranas, cocodrilos, insectos y muchas otras especies hidrófilas

libre en superficie de carácter permanente. La presencia de agua se rige por condiciones efímeras, las cuales abarcan una superficie de 0.97 km<sup>2</sup> y se extienden desde el centro hacia el Este de la laguna en forma de “V”.

Dinámica espacio-temporal de agua libre en superficie en el Sistema Lacustre Playitas-Moyúa-Tecomapa, Ciudad Darío, Matagalpa 2014-2019  
**PORCENTAJE ANUAL DE PERMANENCIA DE AGUA LIBRE EN SUPERFICIE PARA TECOMAPA**



**Porcentaje de permanencia (%)**



Este mapa tiene como objetivo presentar la permanencia en porcentaje del área de las lagunas del sistema lacustre.

Se identificaron zonas con diferente concentración de agua, en donde:

- 40%-60% es agua ocasional
- 60%-80% es agua estacional
- 80%-100% es agua permanente

Hoja topográfica  
2953\_1 INETER 2006

Elipsoide WGS 1984  
Proyección Universal Transversa de Marcator  
Dato horizontal WGS 1984 UTM Z16N

Basado en imágenes de radar  
SENTINEL-1 (2014-2019)

Elaborado por:  
Jorde Steven's Reyes Blanco

Figura 7: Porcentaje anual de permanencia de agua libre en superficie para el año 2014

#### 5.4. Relación área - precipitación de Moyúa

Según Salvatierra, uno de los factores climáticos más determinantes en la dinámica de humedales es la precipitación. En el presente estudio, se logró identificar que las precipitaciones mensuales marcan patrones intra anuales en Moyúa. Esta laguna experimentó reducción de agua libre en superficie en el orden de 1.5 km<sup>2</sup>, precisamente durante los meses más secos del año, como marzo-abril 2015, febrero-marzo 2016 y marzo-mayo 2017. A su vez, se observaron procesos de recuperación de similar magnitud durante los meses de mayo 2015 y 2016. Estos procesos alcanzaron su mayor expresión durante los meses más lluviosos, septiembre y octubre, los cuales están relacionados con ciclones tropicales (Figura 8).

Es importante recalcar que haciendo un análisis global del período (2014-2019) se identificaron dos grandes etapas. La primera, una desecación de la laguna iniciada en noviembre 2014 a mayo 2017, la cual coincidió con la concatenación de dos años de sequía<sup>2</sup> (2014 y 2015) y uno normal (2016) y trajo como consecuencia una reducción del agua libre en superficie hasta en un 50%. La segunda, una súbita recuperación, a partir de la cual la laguna ha permanecido relativamente estable. Durante esta etapa, la laguna alcanzó su máxima extensión (5.54 km<sup>2</sup>) como resultado de 1,583 mm de precipitación, distribuidos entre mayo y noviembre 2017 (Figura 8).

Estas etapas puede que obedezcan a ciclos de desecación-recuperación de mediano o largo plazo. Lamentablemente, no existen estaciones meteorológicas propias para el monitoreo regular de este sitio RAMSAR, a partir de observaciones satelitales de sensores Infrarrojo Geoestacionarios proporcionadas CHIRPS V.2 (Peterson, 2015) permitió identificar coincidencias entre años secos y fenómenos de desecación reportados en bibliografía (Anexo 4)

---

<sup>2</sup> La sequía es un fenómeno natural cíclico, que se produce por una reducción de las precipitaciones suficientemente intensa y prolongada como para causar impactos. Se trata de una característica normal de nuestro clima, que nos afecta de manera recurrente y que no se puede predecir.

Se logro identificar una posible relación entre la desecación del 2016 (reportada por La Prensa, 2016 y registrada en las imágenes Sentinel-1) y el período comprendido entre 2014 y 2016, el cual incluyó dos años de sequía consecutiva en 2014 y 2015, con precipitaciones menores al promedio anual en un 13% y 24% respectivamente y el año 2016 con ligeros excesos de precipitación en un orden del 9%. La reducción del espejo de agua continuó alcanzando su punto más álgido en agosto 2017, pero las precipitaciones registradas en la segunda mitad del año enmascaran la relación existente entre clima y fenómenos de desecación (Figura 8).

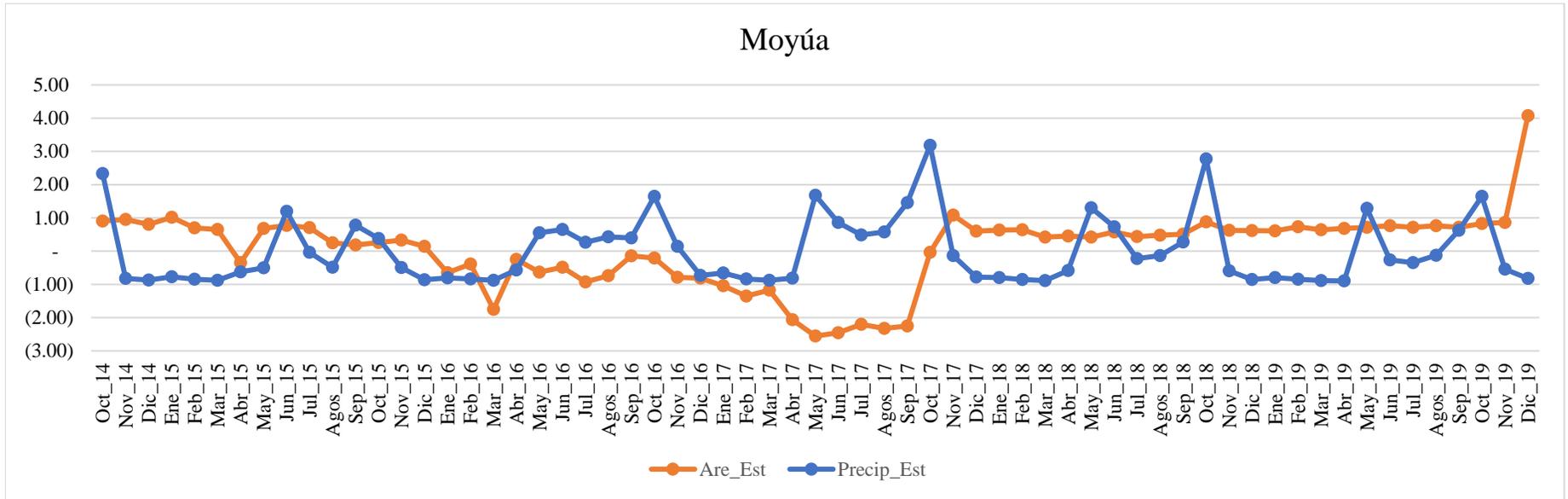


Figura 8: Relación área-precipitación Moyúa (Fuente: Sentinel 1- CHIRPS)

### **5.5. Relación área - precipitación Playitas**

Se logró identificar que las precipitaciones mensuales marcan patrones intra anuales en Playitas. Esta laguna experimentó reducción de agua libre en superficie en el orden de 0.0022 km<sup>2</sup>, presentado en diferentes tiempos de desecación, como agosto-septiembre 2015, un periodo discontinuo de disminución durante diciembre 2015 a marzo de 2016 y mayo-agosto del mismo año, un periodo prolongado de sequía de noviembre 2016 – septiembre 2017, diciembre 2018- enero 2019 y por último de marzo 2019 – diciembre del mismo año. A su vez, se observaron procesos de recuperación de similar magnitud durante un año octubre 2017 y octubre 2018. Este proceso se alcanzó su mayor expresión durante un intervalo de 12 meses (1 año), los cuales están relacionados con efectos climáticos extremos (Figura 9).

Es importante recalcar que haciendo un análisis global del período (2014-2019) se identificaron cinco etapas. La primera, una desecación de la laguna iniciada en noviembre 2014 y presentando un aumento en enero de 2015 cabe destacar que este coincidió con el punto máximo de extensión de la laguna (0.49 km<sup>2</sup>) y la cual no ha podido alcanzar desde esa fecha. La segunda, otra desecación iniciada desde febrero 2015 y con constantes variaciones hasta septiembre 2016 en donde presento un aumento (0.4621 km<sup>2</sup>) muy cercano a la extensión máxima. La tercera, una súbita desecación que se extendió desde octubre 2016 hasta septiembre 2017 durante este periodo la laguna desapareció en su totalidad. La cuarta, un aumento circunstancial para noviembre de 2017 permaneciendo con características variantes y relativamente estables hasta noviembre 2018. La quinta, desecación de la laguna iniciada en diciembre 2018 que se extendió hasta todo 2019 (Figura 9).

Estas etapas puede que obedezcan a ciclos de desecación-recuperación de mediano o largo plazo. Lamentablemente, no existen estaciones meteorológicas propias para el monitoreo regular de este sitio RAMSAR, a partir de observaciones satelitales de sensores Infrarrojo Geoestacionarios proporcionadas CHIRPS V.2 (Peterson, 2015) permitió identificar coincidencias entre años secos y fenómenos de desecación reportados en bibliografía (Anexo 5).

Se identificó una posible relación entre la desecación del 2016 (reportada por La Prensa, 2016) y registrada en las imágenes Sentinel-1) y el período comprendido entre 2014 y 2016, el cual incluyó dos años de sequía consecutiva en 2014 y 2015, con precipitaciones menores al promedio anual en un 12% y 22 % respectivamente y el año 2016 con ligeros excesos de precipitación en un orden del 9%. La reducción del espejo de agua continuó alcanzando su punto más álgido en abril 2017, pero las precipitaciones registradas en la segunda mitad del año enmascaran la relación existente entre clima y fenómenos de desecación (Figura 9).

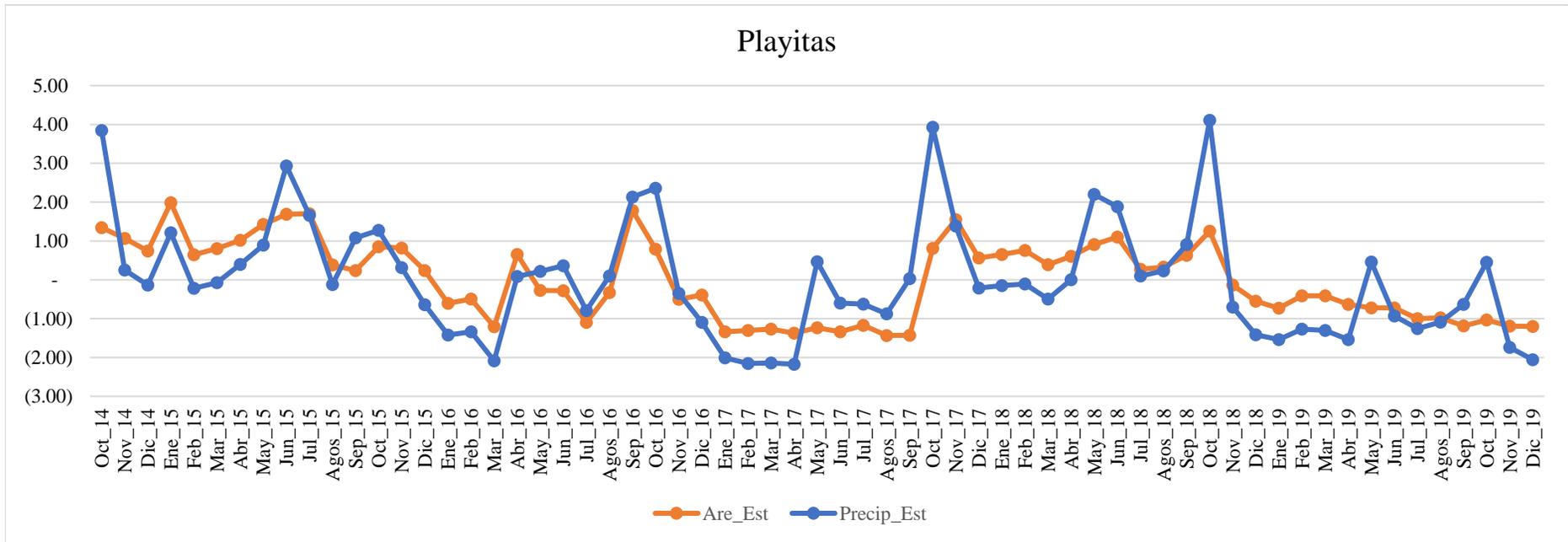


Figura 9: Relación área-precipitación Playitas (Fuente: Sentinel 1- CHIRPS)

## 5.6. Relación área - precipitación Tecomapa

Se logró identificar que las precipitaciones mensuales marcan patrones intra anuales en Tecomapa. Esta laguna experimentó reducción de agua libre en superficie en el orden de 0.0009 km<sup>2</sup> precisamente durante los meses más secos del año, como marzo-abril 2015, febrero-marzo 2016 y marzo-mayo 2017. A su vez, se observaron procesos de recuperación de similar magnitud durante los meses de mayo 2015 y 2016. Estos procesos alcanzaron su mayor expresión durante los meses más lluviosos, septiembre y octubre, los cuales están relacionados con ciclones tropicales.

Es importante recalcar que haciendo un análisis global del período (2014-2019) se identificaron varias etapas. La primera, una desecación de la laguna iniciada en noviembre 2014 hasta febrero 2015. La segunda, un leve incremento para marzo 2015 que se extiende hasta julio 2018. La tercera, una súbita recuperación julio 2018 alcanzando una extensión muy cercana a la de noviembre 2014 la cual fue el punto máximo (0.6964 km<sup>2</sup>). La tercera, una vez iniciada la recuperación en julio 2018 con un incremento gradual hasta diciembre 2019 (Figura 10).

Estas etapas puede que obedezcan a ciclos de desecación-recuperación de mediano o largo plazo. Lamentablemente, no existen estaciones meteorológicas propias para el monitoreo regular de este sitio RAMSAR, a partir de observaciones satelitales de sensores Infrarrojo Geoestacionarios proporcionadas CHIRPS V.2 (Peterson, 2015) permitió identificar coincidencias entre años secos y fenómenos de desecación reportados en bibliografía (Anexo 6).

Se identificó una posible relación entre la desecación del 2016 (reportada por La Prensa, 2016) y registrada en las imágenes Sentinel-1) y el período comprendido entre 2014 y 2016, el cual incluyó dos años de sequía consecutiva en 2014 y 2015, con precipitaciones menores al promedio anual en un 11% y 23 % respectivamente y el año 2016 con ligeros excesos de precipitación en un orden del 9 %. La reducción del espejo de agua continuó alcanzando su punto más álgido en abril 2017, pero las precipitaciones registradas en la segunda mitad del año enmascaran la relación existente entre clima y fenómenos de desecación (Figura 10).

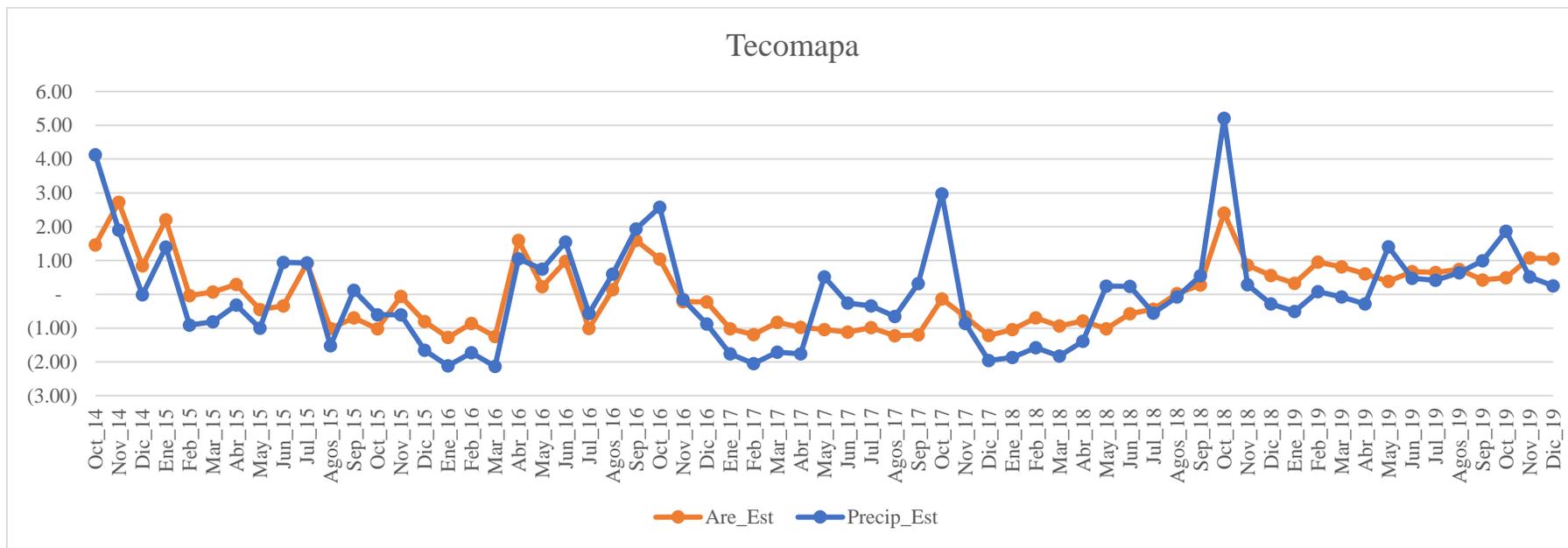


Figura 10: Relación área-precipitación Tecomapa (Fuente: Sentinel 1- CHIRPS)

## VI. CONCLUSIONES

Los resultados en el procesamiento de las imágenes radar de los cinco años y tres meses evaluados revelaron que cada laguna presenta una dinámica espacio-temporal particular. Sin embargo, los cambios más notables se vinculan a una posible desecación de la laguna con un patrón cíclico, gradual e interanual en el 2017.

La implementación de Sistemas de Información Geográfica e imágenes a radar, denotan la obtención de datos promedios de precipitación a través de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), permitiéndose realizar una comparación entre las áreas de agua libre de superficie y las precipitaciones.

La validez en la utilización de la plataforma Google Earth Engine (GEE) e imágenes SAR del sensor Sentinel- 1 define el logro de la detección y estimación de datos de agua libre en superficie en correlación estadística con datos CHIRPS y las fluctuaciones climatológicas sobre el sistema lacustre.

## VII. RECOMENDACIONES

El desarrollo de este estudio ha permitido aplicar metodologías de fácil acceso y correlacionar sus resultados con los datos de las imágenes radar, no obstante, se pueden mejorar los procesos si se consideran otras variables para determinar la pérdida de agua libre en superficie como: la densidad de plantas, intensidad del sol, hidrolapso, entre otros. De esta manera se podrían aproximar de mejor forma los resultados de pérdida de agua libre en superficie en función de otras variables.

La optimización del algoritmo mejorara de forma circunstancial al momento de procesar una serie de datos como: ingresar datos locales de precipitaciones, área de intereses más específica y eliminación de datos con margen de errores laterales (efecto salpimienta o Speckle).

El acceso a datos climatológicos certeros y confiables, facilitará el desarrollo de modelos que minimicen las dudas alrededor de los datos colectados a través de datos CHIRPS proporcionando así insumos necesarios para mostrar proyecciones, al identificar variaciones y futuros escenarios para la implementación de planes de manejo y ordenamiento del recurso hídrico presente en el área de estudio.

## LITERATURA CITADA

- Anusha, N., & Bharathi, B. (2019). *Flood detection and flood mapping using multi-temporal synthetic aperture radar and optical data*. Chenna, Tamilnadu, India: The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences.
- Avendaño Pérez, J., Parra Plazas, J. A., & Bayona, J. F. (2014). *Segmentación y clasificación de imágenes SAR en zonas de inundación en Colombia, una herramienta computacional para prevención de desastres*. Colombia.
- Barreto, P. E. (24 de Abril de 1993). Muere laguna Moyuá. *Barricada*, págs. 01-12.
- Bembibre, C. (27 de Septiembre de 2010). *Definición ABC*.
- Briceño, I., Pérez, W., San Miguel, D., & Ramos, S. (2016). *Determinación de calidad de agua en el Lago Vichuquén, con imágenes de satélite Landsat 8, sensor OLI, año 2016, Chile*. Chile.
- Cai, X., Gan, W., Zhao, X., Ji, W., Wang, X., & Chen, X. (02 de Febrero de 2005). Optimizing Remote Sensing-Based Level–Area Modeling of Large Lake Wetlands: Case Study of Poyang Lake. En *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING* (págs. 471-479). China.  
[https://www.researchgate.net/publication/273395531\\_Optimizing\\_Remote\\_Sensing-Based\\_Level-Area\\_Modeling\\_of\\_Large\\_Lake\\_Wetlands\\_Case\\_Study\\_of\\_Poyang\\_Lake](https://www.researchgate.net/publication/273395531_Optimizing_Remote_Sensing-Based_Level-Area_Modeling_of_Large_Lake_Wetlands_Case_Study_of_Poyang_Lake)
- Chuvieco, E. (2008). *Teledeteccion Ambiental*. Barcelona,España: Ariel S.A.
- CIRA UNAN- MANAGUA. (2012). *Experiencias para la adaptación y reducción de la vulnerabilidad al cambio climático en el sector hídrico: Caso Humedales de Moyúa, Playitas y Tecomapa, Nicaragua* . Managua,Nicargua.
- Darrah, S. E., Shennan-Farpón, Y., Loh, J., Davidson, N. C., Finlayson, C. M., Gardner, R. C., & Walpole, M. J. (2019). Improvements to the Wetland Extent Trends (WET) index as a tool for monitoring natural and human-made wetlands. En *Ecological*

- Indicators* (págs. 294-298).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.032>
- Gorelick, N. a. (31 de Junio de 2017). *Google Earth Engine*. Google Earth Engine:  
<https://earthengine.google.com/>
- Kreiser, Z., Killough, B., & Rizvi, S. (2018). *Water Across Synthetic Aperture Radar Data (WASARD): SAR Water Body Classification*. Maryland, Estados Unidos.
- Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). *Google Earth Engine Applications*. Basel,Switzerland:  
MDPI.
- Leighton, P. (01 de Febrero de 2019). Latinoamérica lidera pérdida de humedales a nivel global. Santiago, Chile. <https://www.scidev.net/america-latina/medio-ambiente/noticias/latinoamerica-lidera-perdida-de-humedales-a-nivel-global.html>
- Lowry, J. (2007). *La utilización de programas y datos de SIG de bajo costo para el inventario, la evaluación y el monitoreo de humedales*. Gland, Suiza.
- Martínez Bencardino, C. (2012). *Estadística y muestreo* (13 ed.). Bogotá, Colombia: Ecoe.
- Moncayo Eraso, R. J., & Bueno Trindade Galo, M. d. (2017). *Evaluación espacio- temporal del estado trofico de un lago de grandes dimensiones usando imagenes MODO9GA*. Colombia.
- NASA-ARSET. (28 de Junio de 2017). Basics of Synthetic Aperture Radar (SAR).  
<https://www.youtube.com/watch?v=Xemo2ZpduHA&feature=youtu.be>
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. España: CreateSpace Independent Publishing Platform (Amazon).
- Pekel, J.-F., Cottan, A., Gorelick, N., & Belward, A. (07 de Diciembre de 2016). High-resolution mapping of global surface water and its longterm changes. 17.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Peterson, P. (13 de 06 de 2015). *Climate Hazards Center*. Climate Hazards Center:  
<https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>

- RAMSAR. (2007). *Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales Inventario de humedales* (4 ed.). Gland, Suiza.
- RAMSAR. (18 de Octubre de 2011). *RAMSAR*. <https://www.ramsar.org/es/nuevas/noveno-sitio-ramsar-de-nicaragua>
- RAMSAR. (2016). *INTRODUCCIÓN A LA CONVENCIÓN SOBRE LOS HUMEDALES* (5 ed.). Gland, Suiza.
- RAMSAR. (2018). *PERSPECTIVA MUNDIAL SOBRE LOS HUMEDALES*. En RAMSAR, *Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas 2018*.
- Rauter, F. (2015). *Transformaciones de la imagen: Clasificación Supervisadas y No Supervisadas*. Santiago, Argentina. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/lpr/pdf/p11.PDF>
- Salas Estrada, J. (2002). *Biogeografía de Nicaragua*. Managua.
- Silva, A. C. (2012). *Análisis de los cambios en los humedales del sistema Lagunar Catazajá, mediante imágenes satelitales: Hacia el monitoreo de humedales de la región Usumacinta, México*. Mexico: CentroGeo.
- Tabilo-Valdivieso, E. L. (2005). *Importancia del Sistema de Humedales Costeros de Coquimbo para Chorlos y Playeros Migratorios (Charadriidae)*. Chile.
- Vargas, L. (1971). *Geología y depósitos minerales de los cuadrángulos de Ciudad Darío, Terrabona, Las Playitas y Esquipulas*. Managua.
- World Wide Fund for Nature. (27 de Septiembre de 2019). *Habitats (Wetlands)*. Gland, Suiza. <https://www.worldwildlife.org/habitats/wetlands>

## VIII. ANEXO

### Anexo 1: Lista de imágenes Sentinel-1

ID	CODIGO	FECHA	SENSOR
1	S1A_IW_GRDH_1SSV_20141004T113000_20141004T113025_002679_002FD8_92DE	04/10/2014	Sentinel-1
2	S1A_IW_GRDH_1SSV_20141009T113804_20141009T113835_002752_003176_FE37	09/10/2014	Sentinel-1
3	S1A_IW_GRDH_1SSV_20141028T112959_20141028T113024_003029_003754_F4A9	28/10/2014	Sentinel-1
4	S1A_IW_GRDH_1SSV_20141102T113804_20141102T113835_003102_0038ED_D618	02/11/2014	Sentinel-1
5	S1A_IW_GRDH_1SSV_20141121T112959_20141121T113024_003379_003EE1_3C58	21/11/2014	Sentinel-1
6	S1A_IW_GRDH_1SSV_20141126T113803_20141126T113834_003452_0040A2_5D2D	26/11/2014	Sentinel-1
7	S1A_IW_GRDH_1SSV_20141215T112958_20141215T113023_003729_004708_E813	15/12/2014	Sentinel-1
8	S1A_IW_GRDH_1SSV_20141220T113803_20141220T113834_003802_0048AD_7FEB	20/12/2014	Sentinel-1
9	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150108T112957_20150108T113022_004079_004EEB_0D32	08/01/2015	Sentinel-1
10	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150113T113802_20150113T113833_004152_00508A_8281	13/01/2015	Sentinel-1
11	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150206T113801_20150206T113832_004502_005867_981B	06/02/2015	Sentinel-1
12	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150225T112956_20150225T113021_004779_005EF0_ADD3	25/02/2015	Sentinel-1
13	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150314T113801_20150314T113833_005027_0064E7_2406	14/03/2015	Sentinel-1
14	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150321T112957_20150321T113022_005129_00675C_A323	21/03/2015	Sentinel-1

15	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150407T113802_20150407T113833_005377_006D43_3974	07/04/2015	Sentinel-1
16	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150501T113803_20150501T113834_005727_0075A4_B14C	01/05/2015	Sentinel-1
17	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150508T112959_20150508T113024_005829_007804_B30C	08/05/2015	Sentinel-1
18	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150525T113805_20150525T113836_006077_007DDE_F90A	25/05/2015	Sentinel-1
19	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150601T113001_20150601T113026_006179_0080C3_29B9	01/06/2015	Sentinel-1
20	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150618T113806_20150618T113837_006427_0087E9_5365	18/06/2015	Sentinel-1
21	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150625T113002_20150625T113027_006529_008ADA_1011	25/06/2015	Sentinel-1
22	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150712T113806_20150712T113837_006777_0091A4_81C4	12/07/2015	Sentinel-1
23	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150719T113003_20150719T113028_006879_009499_CB25	19/07/2015	Sentinel-1
24	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150812T113004_20150812T113029_007229_009E44_4C14	12/08/2015	Sentinel-1
25	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150829T113809_20150829T113840_007477_00A509_BE4D	29/08/2015	Sentinel-1
26	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150905T113005_20150905T113030_007579_00A7DB_AC23	05/09/2015	Sentinel-1
27	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150922T113810_20150922T113841_007827_00AE70_DADE	22/09/2015	Sentinel-1
28	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150929T113006_20150929T113031_007929_00B13C_9FB1	29/09/2015	Sentinel-1
29	S1A_IW_GRDH_1SSV_20151016T113810_20151016T113841_008177_00B7DD_DD07	16/10/2015	Sentinel-1
30	S1A_IW_GRDH_1SSV_20151023T113006_20151023T113031_008279_00BAB5_664F	23/10/2015	Sentinel-1
31	S1A_IW_GRDH_1SSV_20151109T113810_20151109T113841_008527_00C132_36F1	09/11/2015	Sentinel-1
32	S1A_IW_GRDH_1SSV_20151116T113000_20151116T113025_008629_00C41E_874B	16/11/2015	Sentinel-1

33	S1A_IW_GRDH_1SSV_20151203T113804_20151203T113835_008877_00CB13_A05E	03/12/2015	Sentinel-1
34	S1A_IW_GRDH_1SSV_20151227T113803_20151227T113834_009227_00D4E0_D7D7	27/12/2015	Sentinel-1
35	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160103T112958_20160103T113023_009329_00D7C6_4F41	03/01/2016	Sentinel-1
36	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160120T113802_20160120T113833_009577_00DEE6_9237	20/01/2016	Sentinel-1
37	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160127T112957_20160127T113022_009679_00E1E8_3B43	27/01/2016	Sentinel-1
38	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160127T112957_20160127T113022_009679_00E1E8_7E66	27/01/2016	Sentinel-1
39	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160213T113802_20160213T113833_009927_00E91B_DF01	13/02/2016	Sentinel-1
40	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160220T112957_20160220T113022_010029_00EC1B_0A4B	20/02/2016	Sentinel-1
41	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160308T113802_20160308T113833_010277_00F32B_9D92	08/03/2016	Sentinel-1
42	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160401T113803_20160401T113834_010627_00FD25_DBC6	01/04/2016	Sentinel-1
43	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160408T112958_20160408T113023_010729_01002B_8053	08/04/2016	Sentinel-1
44	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160425T113804_20160425T113834_010977_0107C7_EEF6	25/04/2016	Sentinel-1
45	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160502T112959_20160502T113024_011079_010AFC_42F8	02/05/2016	Sentinel-1
46	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160519T113805_20160519T113836_011327_0112F2_0BAE	19/05/2016	Sentinel-1
47	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160526T113001_20160526T113026_011429_011648_AB1D	26/05/2016	Sentinel-1
48	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160612T113806_20160612T113837_011677_011E22_77CB	12/06/2016	Sentinel-1
49	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160706T113808_20160706T113839_012027_012947_34A9	06/07/2016	Sentinel-1
50	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160713T113003_20160713T113028_012129_012C9F_2EB4	13/07/2016	Sentinel-1

51	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160730T113809_20160730T113840_012377_0134BB_5A68	30/07/2016	Sentinel-1
52	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160806T113005_20160806T113030_012479_013827_9850	06/08/2016	Sentinel-1
53	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160823T113810_20160823T113841_012727_01405E_EEE0	23/08/2016	Sentinel-1
54	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160830T113006_20160830T113031_012829_0143D0_7407	30/08/2016	Sentinel-1
55	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160916T113811_20160916T113842_013077_014BDE_B41E	16/09/2016	Sentinel-1
56	S1A_IW_GRDH_1SSV_20160923T113007_20160923T113032_013179_014F46_950D	23/09/2016	Sentinel-1
57	S1B_IW_GRDH_1SSV_20160929T112917_20160929T112942_002283_003DA6_B0FB	29/09/2016	Sentinel-1
58	S1B_IW_GRDH_1SSV_20161004T113716_20161004T113741_002356_003FB3_C64B	04/10/2016	Sentinel-1
59	S1B_IW_GRDH_1SSV_20161011T112917_20161011T112942_002458_004260_B81F	11/10/2016	Sentinel-1
60	S1B_IW_GRDH_1SSV_20161028T113716_20161028T113741_002706_004949_F24F	28/10/2016	Sentinel-1
61	S1B_IW_GRDH_1SSV_20161104T112917_20161104T112942_002808_004C17_02B5	04/11/2016	Sentinel-1
62	S1B_IW_GRDH_1SSV_20161121T113715_20161121T113740_003056_005326_2942	21/11/2016	Sentinel-1
63	S1B_IW_GRDH_1SSV_20161128T112916_20161128T112941_003158_0055F6_1EF6	28/11/2016	Sentinel-1
64	S1B_IW_GRDH_1SSV_20161215T113715_20161215T113740_003406_005D17_B084	15/12/2016	Sentinel-1
65	S1B_IW_GRDH_1SSV_20161222T112915_20161222T112940_003508_005FF6_D72B	22/12/2016	Sentinel-1
66	S1B_IW_GRDH_1SSV_20170108T113713_20170108T113738_003756_00674B_391D	08/01/2017	Sentinel-1
67	S1B_IW_GRDH_1SSV_20170115T112913_20170115T112938_003858_006A3B_425F	15/01/2017	Sentinel-1
68	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170219T113754_20170219T113819_015352_0192E8_F912	19/02/2017	Sentinel-1

69	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170226T112955_20170226T113020_015454_0195FB_2DC9	26/02/2017	Sentinel-1
70	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170303T113753_20170303T113818_015527_019831_6542	03/03/2017	Sentinel-1
71	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170310T112955_20170310T113020_015629_019B47_DC54	10/03/2017	Sentinel-1
72	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170322T112955_20170322T113020_015804_01A07E_AEC2	22/03/2017	Sentinel-1
73	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170327T113754_20170327T113819_015877_01A2B2_02E2	27/03/2017	Sentinel-1
74	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170403T112955_20170403T113020_015979_01A5AE_F3B5	03/04/2017	Sentinel-1
75	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170408T113755_20170408T113820_016052_01A7ED_068E	08/04/2017	Sentinel-1
76	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170415T112956_20170415T113021_016154_01AB06_599F	15/04/2017	Sentinel-1
77	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170420T113755_20170420T113820_016227_01AD4A_4453	20/04/2017	Sentinel-1
78	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170427T112956_20170427T113021_016329_01B056_173E	27/04/2017	Sentinel-1
79	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170502T113756_20170502T113821_016402_01B296_4C5D	02/05/2017	Sentinel-1
80	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170509T112957_20170509T113022_016504_01B5AF_840F	09/05/2017	Sentinel-1
81	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170514T113756_20170514T113821_016577_01B7EA_0687	14/05/2017	Sentinel-1
82	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170521T112958_20170521T113023_016679_01BB07_A288	21/05/2017	Sentinel-1
83	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170526T113757_20170526T113822_016752_01BD49_21AB	26/05/2017	Sentinel-1
84	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170602T112958_20170602T113023_016854_01C06C_2E86	02/06/2017	Sentinel-1
85	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170607T113758_20170607T113823_016927_01C2B9_3C7E	07/06/2017	Sentinel-1
86	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170614T112959_20170614T113024_017029_01C5D7_F9A4	14/06/2017	Sentinel-1

87	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170619T113758_20170619T113823_017102_01C820_E8A4	19/06/2017	Sentinel-1
88	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170626T113000_20170626T113025_017204_01CB2C_842B	26/06/2017	Sentinel-1
89	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170701T113759_20170701T113824_017277_01CD67_5E81	01/07/2017	Sentinel-1
90	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170708T113000_20170708T113025_017379_01D06E_F4D7	08/07/2017	Sentinel-1
91	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170720T113001_20170720T113026_017554_01D5C3_5583	20/07/2017	Sentinel-1
92	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170725T113800_20170725T113825_017627_01D80A_C00E	25/07/2017	Sentinel-1
93	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170801T113002_20170801T113027_017729_01DB23_85F0	01/08/2017	Sentinel-1
94	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170806T113801_20170806T113826_017802_01DD5E_D17E	06/08/2017	Sentinel-1
95	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170813T113003_20170813T113028_017904_01E06D_57F6	13/08/2017	Sentinel-1
96	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170818T113802_20170818T113827_017977_01E2AC_0B35	18/08/2017	Sentinel-1
97	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170825T113003_20170825T113028_018079_01E5BD_2971	25/08/2017	Sentinel-1
98	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170830T113802_20170830T113827_018152_01E7F1_D2D5	30/08/2017	Sentinel-1
99	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170906T113004_20170906T113028_018254_01EB10_2F6C	06/09/2017	Sentinel-1
100	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170911T113803_20170911T113828_018327_01ED6A_2DCC	11/09/2017	Sentinel-1
101	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170918T113004_20170918T113029_018429_01F07D_9C8A	18/09/2017	Sentinel-1
102	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170923T113803_20170923T113828_018502_01F2C7_449D	23/09/2017	Sentinel-1
103	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171005T113803_20171005T113828_018677_01F81E_OCD2	05/10/2017	Sentinel-1
104	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171012T113005_20171012T113030_018779_01FB2A_8F77	12/10/2017	Sentinel-1

105	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171017T113804_20171017T113829_018852_01FD74_6E48	17/10/2017	Sentinel-1
106	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171024T113005_20171024T113030_018954_020086_8340	24/10/2017	Sentinel-1
107	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171029T113804_20171029T113829_019027_0202C9_A72B	29/10/2017	Sentinel-1
108	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171105T113004_20171105T113029_019129_0205E4_3E3D	05/11/2017	Sentinel-1
109	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171110T113803_20171110T113828_019202_02082E_818F	10/11/2017	Sentinel-1
110	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171117T113004_20171117T113029_019304_020B57_F126	17/11/2017	Sentinel-1
111	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171122T113803_20171122T113828_019377_020DB7_0949	22/11/2017	Sentinel-1
112	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171129T113004_20171129T113029_019479_0210DC_95A9	29/11/2017	Sentinel-1
113	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171204T113803_20171204T113828_019552_02132F_5222	04/12/2017	Sentinel-1
114	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171211T113003_20171211T113028_019654_021656_5B4E	11/12/2017	Sentinel-1
115	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171216T113802_20171216T113827_019727_02189F_0E39	16/12/2017	Sentinel-1
116	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171223T113003_20171223T113028_019829_021BB9_C44E	23/12/2017	Sentinel-1
117	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171228T113802_20171228T113827_019902_021E0C_3233	28/12/2017	Sentinel-1
118	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180104T113002_20180104T113027_020004_02213E_1582	04/01/2018	Sentinel-1
119	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180109T113801_20180109T113826_020077_022393_BCBE	09/01/2018	Sentinel-1
120	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180116T113002_20180116T113027_020179_0226CF_B379	16/01/2018	Sentinel-1
121	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180202T113800_20180202T113825_020427_022EB5_B631	02/02/2018	Sentinel-1
122	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180209T113002_20180209T113027_020529_0231F0_8602	09/02/2018	Sentinel-1

123	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180214T113800_20180214T113825_020602_02344F_58DE	14/02/2018	Sentinel-1
124	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180305T113001_20180305T113026_020879_023D0A_AFDf	05/03/2018	Sentinel-1
125	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180310T113800_20180310T113825_020952_023F65_EA20	10/03/2018	Sentinel-1
126	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180317T113001_20180317T113026_021054_02429A_7A6A	17/03/2018	Sentinel-1
127	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180403T113801_20180403T113826_021302_024A7B_241E	03/04/2018	Sentinel-1
128	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180410T113002_20180410T113027_021404_024D9A_826E	10/04/2018	Sentinel-1
129	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180415T113801_20180415T113826_021477_024FEE_9EBA	15/04/2018	Sentinel-1
130	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180504T113003_20180504T113028_021754_025899_7753	04/05/2018	Sentinel-1
131	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180509T113802_20180509T113827_021827_025AF4_817B	09/05/2018	Sentinel-1
132	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180516T113004_20180516T113029_021929_025E27_0F16	16/05/2018	Sentinel-1
133	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180602T113804_20180602T113829_022177_02661A_0BEC	02/06/2018	Sentinel-1
134	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180609T113005_20180609T113030_022279_02693C_C371	09/06/2018	Sentinel-1
135	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180614T113805_20180614T113830_022352_026B8B_E7B5	14/06/2018	Sentinel-1
136	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180703T113006_20180703T113031_022629_0273A8_F3F0	03/07/2018	Sentinel-1
137	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180708T113806_20180708T113831_022702_0275CD_E08B	08/07/2018	Sentinel-1
138	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180715T113007_20180715T113032_022804_0278EC_A7AB	15/07/2018	Sentinel-1
139	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180801T113807_20180801T113833_023052_0280B2_D746	01/08/2018	Sentinel-1
140	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180808T113009_20180808T113034_023154_0283EE_439C	08/08/2018	Sentinel-1

141	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180813T113808_20180813T113833_023227_02864B_306D	13/08/2018	Sentinel-1
142	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180820T113009_20180820T113034_023329_028996_2308	20/08/2018	Sentinel-1
143	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180901T113010_20180901T113035_023504_028F26_AB6D	01/09/2018	Sentinel-1
144	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180906T113809_20180906T113834_023577_029180_7BDD	06/09/2018	Sentinel-1
145	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180913T113010_20180913T113035_023679_0294BC_BE7A	13/09/2018	Sentinel-1
146	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181007T113011_20181007T113036_024029_02A02C_7E87	07/10/2018	Sentinel-1
147	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181012T113806_20181012T113835_024102_02A28A_D402	12/10/2018	Sentinel-1
148	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181019T113011_20181019T113036_024204_02A5DD_6161	19/10/2018	Sentinel-1
149	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181105T113810_20181105T113835_024452_02AE25_9FEE	05/11/2018	Sentinel-1
150	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181112T113011_20181112T113036_024554_02B1EA_55C4	12/11/2018	Sentinel-1
151	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181124T113011_20181124T113036_024729_02B859_F8F6	24/11/2018	Sentinel-1
152	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181129T113809_20181129T113834_024802_02BAED_688C	29/11/2018	Sentinel-1
153	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181206T113010_20181206T113035_024904_02BE37_D8D6	06/12/2018	Sentinel-1
154	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181211T113809_20181211T113834_024977_02C0E4_A8FE	11/12/2018	Sentinel-1
155	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181218T113010_20181218T113035_025079_02C48F_22A7	18/12/2018	Sentinel-1
156	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190104T113808_20190104T113833_025327_02CD82_FA69	04/01/2019	Sentinel-1
157	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190111T113009_20190111T113034_025429_02D131_B673	11/01/2019	Sentinel-1
158	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190116T113808_20190116T113833_025502_02D3D3_BBC7	16/01/2019	Sentinel-1

159	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190204T113008_20190204T113033_025779_02DDEE_A09E	04/02/2019	Sentinel-1
160	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190209T113807_20190209T113832_025852_02E083_2B6D	09/02/2019	Sentinel-1
161	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190216T113008_20190216T113033_025954_02E421_0709	16/02/2019	Sentinel-1
162	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190221T113807_20190221T113832_026027_02E6B4_914D	21/02/2019	Sentinel-1
163	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190305T113807_20190305T113832_026202_02ECFF_E036	05/03/2019	Sentinel-1
164	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190312T113008_20190312T113033_026304_02F0BC_5797	12/03/2019	Sentinel-1
165	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190317T113807_20190317T113832_026377_02F371_5B84	17/03/2019	Sentinel-1
166	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190405T113008_20190405T113033_026654_02FDAB_069B	05/04/2019	Sentinel-1
167	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190410T113807_20190410T113832_026727_03004F_2CB3	10/04/2019	Sentinel-1
168	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190417T113009_20190417T113034_026829_030408_AE28	17/04/2019	Sentinel-1
169	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190504T113808_20190504T113833_027077_030CFD_38CD	04/05/2019	Sentinel-1
170	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190511T113010_20190511T113035_027179_03105A_357F	11/05/2019	Sentinel-1
171	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190516T113809_20190516T113834_027252_0312A1_3987	16/05/2019	Sentinel-1
172	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190604T113011_20190604T113036_027529_031B44_CF90	04/06/2019	Sentinel-1
173	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190609T113810_20190609T113835_027602_031D7C_7C83	09/06/2019	Sentinel-1
174	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190616T113011_20190616T113036_027704_03208E_B7B8	16/06/2019	Sentinel-1
175	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190703T113812_20190703T113837_027952_0327F9_665F	03/07/2019	Sentinel-1
176	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190710T113013_20190710T113038_028054_032B18_FF14	10/07/2019	Sentinel-1

177	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190715T113812_20190715T113837_028127_032D45_0E84	15/07/2019	Sentinel-1
178	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190803T113015_20190803T113040_028404_0335B2_EC58	03/08/2019	Sentinel-1
179	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190808T113814_20190808T113839_028477_0337F9_D315	08/08/2019	Sentinel-1
180	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190815T113015_20190815T113040_028579_033B82_520C	15/08/2019	Sentinel-1
181	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190908T113017_20190908T113031_028929_0347AA_A3B0	08/09/2019	Sentinel-1
182	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190920T113017_20190920T113042_029104_034DB6_1B49	20/09/2019	Sentinel-1
183	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190925T113816_20190925T113841_029177_03502B_D5AF	25/09/2019	Sentinel-1
184	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191002T113018_20191002T113043_029279_0353BA_CF7F	02/10/2019	Sentinel-1
185	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191007T113816_20191007T113841_029352_03563C_701A	07/10/2019	Sentinel-1
186	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191014T113017_20191014T113042_029454_0359C7_87A4	14/10/2019	Sentinel-1
187	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191107T113018_20191107T113042_029804_0365F6_F4C2	07/11/2019	Sentinel-1
188	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191112T113816_20191112T113841_029877_036878_F116	12/11/2019	Sentinel-1
189	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191119T113017_20191119T113042_029979_036C05_0C0B	19/11/2019	Sentinel-1
190	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191124T113816_20191124T113841_030052_036E88_9D73	24/11/2019	Sentinel-1
191	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191201T113017_20191201T113042_030154_037216_1796	01/12/2019	Sentinel-1
192	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191206T113816_20191206T113841_030227_037497_068C	06/12/2019	Sentinel-1
193	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191213T113016_20191213T113041_030329_037825_BF94	13/12/2019	Sentinel-1
194	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191218T113815_20191218T113840_030402_037AA6_3E11	18/12/2019	Sentinel-1

## *Anexo 2: Código de procesamiento de imágenes*

```
var collectionVV = sentinel_1
    .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))

.filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation',
'VV'))

    .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))
    .filterBounds(lagoon)
    .select(['VV'])
    .filterDate('2014-10-03', '2014-10-31');
print(collectionVV);

var collectionVH = sentinel_1
    .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))

.filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation',
'VH'))

    .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))
    .filterBounds(lagoon)
    .select(['VH'])
    .filterDate('2014-10-03', '2014-10-31');
print(collectionVH);

var MedianVV10= collectionVV.median();
print(MedianVV10);

var MedianVH10= collectionVH.median();
print(MedianVH10) ;

var aoi= polygon;
```

```

var VVClip10= MedianVV10.clip (aoi);

Map.addLayer(VVClip10,{max:-2.4658413211658, min:-
21.34417746646162 });

var aoitrain = VVClip10.sample ({
region: aoi,
scale: 10,
numPixels: 20
});

var kmeans = ee.Clusterer.wekaKMeans(20).train(aoitrain);

var vvCluster = VVClip10.cluster(kmeans);

var VVWater10 = vvCluster.remap (
[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19],
[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0]
);

Map.addLayer(VVClip10, {max:-2.4658, min:-21.3441});
Map.addLayer(vvCluster.randomVisualizer(), {}, "Kmenas
cluster_10");
Map.addLayer(VVWater10.randomVisualizer(), {}, "Water_10");

```

Anexo 3: Datos de precipitación media anual del sistema lacustre (Fuente: CHIRPS)

<b>año</b>	<b>ene</b>	<b>feb</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>may</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>sep</b>	<b>oct</b>	<b>nov</b>	<b>dic</b>	<b>TOTAL</b>
1981	10.63	14.59	16.85	10.86	245.03	385.52	71.56	198.14	114.59	148.90	43.88	12.72	1273.28
1982	16.32	12.35	5.74	10.30	376.93	208.94	69.17	57.85	227.18	95.26	35.51	18.66	1134.21
1983	11.23	6.68	6.91	1.71	44.18	190.30	109.70	114.44	199.15	130.84	63.69	9.52	888.34
1984	12.34	7.71	8.92	2.53	60.78	127.91	131.89	116.67	327.13	125.82	19.92	13.22	954.83
1985	12.94	10.11	5.26	21.61	114.94	114.93	151.15	89.17	110.55	233.05	38.99	26.07	928.75
1986	13.36	7.82	4.06	1.79	256.94	146.75	111.90	103.46	92.12	107.59	16.44	10.18	872.40
1987	26.45	8.74	6.65	1.68	81.37	112.31	223.39	77.78	151.69	75.48	11.77	25.87	803.16
1988	20.36	9.49	3.62	9.44	165.75	197.19	152.07	219.90	315.45	256.15	42.37	24.59	1416.38
1989	16.95	13.19	2.91	1.50	69.40	112.09	140.73	155.55	324.69	77.42	41.91	30.72	987.07
1990	26.99	12.03	8.41	9.77	126.60	216.63	129.41	108.67	171.81	261.51	86.41	44.13	1202.38
1991	10.61	6.93	3.78	7.04	140.22	111.06	78.07	62.85	121.10	183.01	17.17	8.49	750.34
1992	11.69	10.19	4.06	1.37	111.40	114.75	117.30	55.89	189.46	159.79	10.92	26.67	813.47
1993	22.95	6.61	3.97	8.25	342.51	181.84	93.75	131.33	386.94	156.53	28.96	11.54	1375.19
1994	19.02	14.24	4.44	50.17	74.47	96.48	31.53	61.59	116.90	201.43	78.31	8.94	757.50
1995	11.54	11.63	12.36	34.02	99.69	304.16	104.93	283.26	216.88	207.13	30.79	11.83	1328.24
1996	23.76	8.49	5.10	3.23	138.74	112.68	191.56	178.23	224.48	290.57	137.81	9.06	1323.72

1997	12.83	8.00	6.59	21.04	57.29	263.85	113.26	60.22	163.26	180.53	58.33	12.48	957.68
1998	10.77	9.77	4.99	1.70	131.12	124.16	114.77	182.64	286.21	697.41	87.06	26.96	1677.56
1999	26.30	12.45	6.10	22.08	147.83	173.95	118.08	93.30	410.83	225.99	81.51	6.60	1325.03
2000	12.51	7.22	3.81	3.48	103.44	165.56	72.45	75.25	285.65	70.88	17.79	21.46	839.49
2001	11.17	7.37	3.88	1.92	203.63	72.79	77.83	78.16	196.70	117.92	22.77	6.79	800.91
2002	15.63	9.76	4.87	1.97	186.16	224.84	119.41	56.04	183.90	176.35	26.66	9.38	1014.98
2003	11.76	7.07	9.68	2.86	163.71	288.83	84.93	63.07	173.31	210.52	72.25	8.30	1096.28
2004	18.87	7.85	5.66	8.34	114.91	136.18	76.68	81.28	170.90	191.42	41.09	11.70	864.88
2005	10.87	6.76	4.28	10.86	142.42	356.45	182.61	137.41	220.93	283.23	51.03	19.75	1426.61
2006	18.13	8.22	4.82	2.89	121.84	125.64	105.24	60.62	92.25	130.55	29.20	16.61	716.02
2007	20.40	6.86	7.02	12.36	128.32	120.85	94.96	229.67	208.61	459.38	72.74	15.97	1377.15
2008	18.92	13.30	8.13	4.35	181.88	186.65	178.07	135.36	196.20	491.43	20.30	8.43	1443.01
2009	14.03	12.53	4.85	4.59	198.71	206.85	124.97	56.22	103.51	127.12	82.22	16.40	952.00
2010	20.08	12.83	5.24	85.79	205.21	172.33	233.82	243.91	312.82	184.23	43.06	8.91	1528.21
2011	20.08	10.58	5.93	6.75	174.80	216.06	177.87	270.56	234.89	286.11	47.63	27.23	1478.50
2012	20.39	14.69	7.24	16.53	259.87	220.56	95.49	153.54	172.26	276.07	25.10	17.58	1279.30
2013	15.78	8.60	4.49	2.04	80.41	209.92	184.41	98.53	318.35	338.47	64.47	10.92	1336.38
2014	15.78	7.97	3.03	2.84	77.28	54.51	53.84	102.97	283.81	354.66	10.90	5.66	973.25
2015	16.30	7.89	4.18	32.43	45.58	230.82	96.51	47.08	185.44	142.01	46.02	5.98	860.23

2016	12.18	9.01	4.27	38.10	160.02	171.02	128.69	146.98	143.00	279.66	115.67	21.01	1229.62
2017	28.17	8.92	4.52	11.69	282.93	193.71	152.92	162.56	259.02	446.74	85.10	15.65	1651.91
2018	13.74	7.05	3.80	36.34	241.89	179.59	75.61	85.84	129.74	402.60	35.97	6.91	1219.08
2019	13.20	7.85	3.64	2.58	240.07	71.21	61.97	86.01	168.54	279.70	41.27	10.42	986.44
				MEAN	156.366	156.366	156.366	156.366	156.366	156.366		MEAN	1124.199

Anexo 4: Datos estandarizados Moyúa (Fuente: CHIRPS)

Mes	Area	Precipitación	Are_Est	Precip_Est
Oct_14	5.3117	354.66	0.91	2.34
Nov_14	5.3656	10.9	0.95	- 0.82
Dic_14	5.1797	5.66	0.80	- 0.87
Ene_15	5.4494	16.3	1.01	- 0.77
Feb_15	5.0465	7.89	0.70	- 0.85
Mar_15	4.9806	4.18	0.65	- 0.88
Abr_15	3.6928	32.43	- 0.35	- 0.62
May_15	5.0171	45.58	0.68	- 0.50
Jun_15	5.134	230.82	0.77	1.20
Jul_15	5.0517	96.51	0.71	- 0.03
Agos_15	4.4639	47.08	0.25	-0.49
Sep_15	4.3805	185.44	0.19	0.78
Oct_15	4.4733	142.01	0.26	0.38
Nov_15	4.5654	46.02	0.33	- 0.50
Dic_15	4.3244	5.98	0.14	- 0.87

Ene_16	3.3022	12.18	-	0.65	-	0.81
Feb_16	3.6323	9.01	-	0.39	-	0.84
Mar_16	1.8723	4.27	-	1.75	-	0.88
Abr_16	3.817	38.1	-	0.25	-	0.57
May_16	3.3139	160.02	-	0.64		0.55
Jun_16	3.5117	171.02	-	0.49		0.65
Jul_16	2.9345	128.69	-	0.93		0.26
Agos_16	3.1802	146.98	-	0.74		0.43
Sep_16	3.9487	143	-	0.15		0.39
Oct_16	3.8638	279.66	-	0.21		1.65
Nov_16	3.1193	115.67	-	0.79		0.14
Dic_16	3.0829	21.01	-	0.82	-	0.73
Ene_17	2.7952	28.17	-	1.04	-	0.66
Feb_17	2.3927	8.92	-	1.35	-	0.84
Mar_17	2.619	4.52	-	1.18	-	0.88
Abr_17	1.4658	11.69	-	2.07	-	0.81
May_17	0.8321	282.93	-	2.56		1.68
Jun_17	0.9571	193.71	-	2.46		0.86
Jul_17	1.291	152.92	-	2.20		0.48
Agos_17	1.1292	162.56	-	2.33		0.57
Sep_17	1.2226	259.02	-	2.25		1.46
Oct_17	4.0938	446.74	-	0.04		3.18
Nov_17	5.5413	85.1			-	0.14
			1.08			
Dic_17	4.9115	15.65		0.60	-	0.78
Ene_18	4.9618	13.74		0.64	-	0.79

Feb_18	4.9662	7.05	0.64	-	0.86
Mar_18	4.683	3.8	0.42	-	0.89
Abr_18	4.7272	36.34	0.45	-	0.59
May_18	4.6851	241.89	0.42		1.30
Jun_18	4.8884	179.59	0.58		0.73
Jul_18	4.707	75.61	0.44	-	0.23
Agos_18	4.7591	85.84	0.48	-	0.13
Sep_18	4.8011	129.74	0.51		0.27
Oct_18	5.2749	402.6	0.88		2.78
Nov_18	4.9441	35.97	0.62	-	0.59
Dic_18	4.9393	6.91	0.62	-	0.86
Ene_19	4.9264	13.2	0.61	-	0.80
Feb_19	5.08	7.85	0.73	-	0.85
Mar_19	4.9719	3.64	0.64	-	0.89
Abr_19	5.0185	2.58	0.68	-	0.90
May_19	5.0654	240.07	0.72		1.28
Jun_19	5.1309	71.21	0.77	-	0.27

Jul_19	5.0627	61.97	0.71	-	0.35
Agos_19	5.1278	86.01	0.76	-	0.13
Sep_19	5.0684	168.54	0.72		0.63
Oct_19	5.2081	279.7	0.83		1.65
Nov_19	5.2563	41.27	0.86	-	0.54
Dic_19	5.2692	10.42	4.07	-	0.83
Mean	4.14	100.29			
DS	1.29	108.90			

Anexo 5: Datos estandarizados Playitas (Fuente: CHIRPS)

Mes	Area	Precipitacion	Are_Est	Precip_Est
Oct_14	0.401	377.76	1.35	2.50
Nov_14	0.3619	12.58	1.07	- 0.81
Dic_14	0.3167	5.96	0.74	- 0.87
Ene_15	0.49	16.71	1.99	- 0.78
Feb_15	0.3033	6.96	0.64	- 0.86
Mar_15	0.3255	5.33	0.80	- 0.88
Abr_15	0.3554	33.82	1.02	- 0.62
May_15	0.412	43.67	1.43	- 0.53
Jun_15	0.449	239.34	1.69	1.24
Jul_15	0.4508	97.23	1.71	- 0.05
Agos_15	0.2667	46.7	0.38	- 0.50
Sep_15	0.2466	195.62	0.24	0.85
Oct_15	0.3325	148.76	0.85	0.42
Nov_15	0.328	46.34	0.82	- 0.51
Dic_15	0.2465	6.09	0.24	- 0.87
Ene_16	0.1292	12.42	- 0.61	- 0.82
Feb_16	0.1454	9.27	- 0.49	- 0.84
Mar_16	0.0462	5.35	- 1.21	- 0.88
Abr_16	0.3041	40.2	0.65	- 0.56
May_16	0.1756	156.33	- 0.28	0.49
Jun_16	0.1749	173.12	- 0.28	0.64
Jul_16	0.061	136.24	- 1.10	0.31
Agos_16	0.1677	150.24	- 0.33	0.43
Sep_16	0.4621	140.23	1.79	0.34

Oct_16	0.3235	275.54		0.79		1.57
Nov_16	0.1436	119.32	-	0.51		0.15
Dic_16	0.1596	24.69	-	0.39	-	0.70
Ene_17	0.0274	28.72	-	1.34	-	0.67
Feb_17	0.0323	9.16	-	1.31	-	0.84
Mar_17	0.0374	6.13	-	1.27	-	0.87
Abr_17	0.0226	14.32	-	1.38	-	0.80
May_17	0.042	290.42	-	1.24		1.71
Jun_17	0.0281	183.82	-	1.34		0.74
Jul_17	0.0508	162.31	-	1.17		0.54
Agos_17	0.0147	163.9	-	1.43		0.56
Sep_17	0.0156	263.17	-	1.43		1.46
Oct_17	0.3267	446.41		0.81		3.12
Nov_17	0.4292	83.95		1.55	-	0.17
Dic_17	0.2921	17.13		0.56	-	0.77
Ene_18	0.3042	13.84		0.65	-	0.80
Feb_18	0.319	7.05		0.76	-	0.86
Mar_18	0.2681	4.68		0.39	-	0.89
Abr_18	0.2981	35.5		0.61	-	0.61
May_18	0.3396	245.34		0.91		1.30
Jun_18	0.3668	188.34		1.10		0.78
Jul_18	0.2514	83.4		0.27	-	0.17
Agos_18	0.2592	91.93		0.33	-	0.09
Sep_18	0.3017	132.98		0.63		0.28
Oct_18	0.3877	417.77		1.25		2.86
Nov_18	0.1953	39.37	-	0.13	-	0.57
Dic_18	0.1371	7.32	-	0.55	-	0.86

Ene_19	0.1124	13.38	-	0.73	-	0.81
Feb_19	0.1567	8	-	0.41	-	0.86
Mar_19	0.1564	4.3	-	0.41	-	0.89
Abr_19	0.1255	2.99	-	0.64	-	0.90
May_19	0.1135	232.2	-	0.72		1.18
Jun_19	0.1132	79.84	-	0.72	-	0.20
Jul_19	0.0752	74.17	-	1.00	-	0.26
Agos_19	0.0782	90.14	-	0.98	-	0.11
Sep_19	0.0489	163.4	-	1.19		0.55
Oct_19	0.0701	266.47	-	1.03		1.49
Nov_19	0.0476	42.7	-	1.20	-	0.54
Dic_19	0.0471	8.1	-	1.20	-	0.85
Mean	0.21	102.36				
DS	0.14	110.29				

Anexo 6: Datos estandarizados Tecomapa (Fuente: CHIRPS)

Mes	Area	Precipitacion	Are_Est	Precip_Est
Oct_14	0.4767	392.39	1.46	2.67
Nov_14	0.6964	10.7	2.72	- 0.82
Dic_14	0.3694	7.24	0.84	- 0.86
Ene_15	0.6067	11.9	2.21	- 0.81
Feb_15	0.2157	5.51	- 0.04	- 0.87
Mar_15	0.2347	4.34	0.07	- 0.88
Abr_15	0.2737	34.2	0.29	- 0.61
May_15	0.1447	39.84	- 0.45	- 0.56
Jun_15	0.1634	240.78	- 0.34	1.28
Jul_15	0.3819	102.31	0.92	0.01
Agos_15	0.0473	44.16	- 1.01	- 0.52
Sep_15	0.1009	189.71	- 0.70	0.81
Oct_15	0.0447	146.43	- 1.02	0.42
Nov_15	0.211	41.44	- 0.07	- 0.54
Dic_15	0.0826	7.6	- 0.80	- 0.85
Ene_16	0.0001	8.85	- 1.28	- 0.84
Feb_16	0.0721	6.75	- 0.86	- 0.86
Mar_16	0.0043	4.57	- 1.25	- 0.88
Abr_16	0.5003	41.5	1.60	- 0.54
May_16	0.2623	156.94	0.23	0.51
Jun_16	0.3924	163.07	0.98	0.57
Jul_16	0.0463	149.96	- 1.01	0.45
Agos_16	0.2463	150.74	0.14	0.46
Sep_16	0.5001	137.86	1.60	0.34

Oct_16	0.4032	268.95		1.04	1.54
Nov_16	0.1843	108.47	-	0.22	0.07
Dic_16	0.1832	29.79	-	0.23	- 0.65
Ene_17	0.045	20.19	-	1.02	- 0.74
Feb_17	0.0154	6.67	-	1.19	- 0.86
Mar_17	0.0781	4.71	-	0.83	- 0.88
Abr_17	0.0519	15.31	-	0.98	- 0.78
May_17	0.0405	271.45	-	1.05	1.56
Jun_17	0.0279	194.33	-	1.12	0.86
Jul_17	0.0515	170.38	-	0.98	0.64
Agos_17	0.0088	163.37	-	1.23	0.57
Sep_17	0.0136	266.17	-	1.20	1.51
Oct_17	0.1982	441.11	-	0.14	3.12
Nov_17	0.1068	79.24	-	0.66	- 0.20
Dic_17	0.0108	20.04	-	1.22	- 0.74
Ene_18	0.0414	9.95	-	1.04	- 0.83
Feb_18	0.1005	5.17	-	0.70	- 0.88
Mar_18	0.0591	4.05	-	0.94	- 0.89
Abr_18	0.0852	35.41	-	0.79	- 0.60
May_18	0.0454	238.24	-	1.02	1.26
Jun_18	0.1228	188.95	-	0.57	0.81
Jul_18	0.1459	87.74	-	0.44	- 0.12
Agos_18	0.2256	89.95		0.02	- 0.10
Sep_18	0.2707	130.56		0.28	0.27
Oct_18	0.6399	407.7		2.40	2.81
Nov_18	0.3717	37.95		0.86	- 0.58
Dic_18	0.3195	8.83		0.56	- 0.84

Ene_19	0.2793	9.57	0.33	-	0.84
Feb_19	0.3878	5.83	0.95	-	0.87
Mar_19	0.3639	3.77	0.81	-	0.89
Abr_19	0.3277	3.69	0.61	-	0.89
May_19	0.2896	212.26	0.39		1.02
Jun_19	0.3396	78.72	0.67	-	0.20
Jul_19	0.3349	75.75	0.65	-	0.23
Agos_19	0.3512	89.87	0.74	-	0.10
Sep_19	0.2962	163.32	0.42		0.57
Oct_19	0.3077	251.17	0.49		1.38
Nov_19	0.4094	40.07	1.07	-	0.56
Dic_19	0.4058	13.44	1.05	-	0.80
Mean	0.22	100.81			
DS	0.17	109.24			