

UNIVERSIDAD DR. JOSÉ MATÍAS DELGADO
FACULTAD DE AGRICULTURA E INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA
“JULIA HILL DE O’SULLIVAN”



CÁTEDRA:
CAMBIO CLIMÁTICO

TÍTULO:

“ATLAS DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL DURANTE EL AÑO
2020 Y LOS EFECTOS DE LA TEMPORADA HURACANADA ACTIVA
EN EL SALVADOR”

CATEDRÁTICO:

MSc. LUIS ALBERTO GARCÍA GUIROLA

PRESENTADO POR:
SAGASTUME AMAYA, ANA MARÍA

**ESTUDIANTE DE TERCER AÑO
DE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

ANTIGUO CUSCATLÁN, LA LIBERTAD, EL SALVADOR

07 DE JUNIO DE 2021

Publicado bajo la Licencia Creative Commons: Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada CC BY-NC-ND



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

ÍNDICE

ABSTRACT	4
AGRADECIMIENTOS	5
INTRODUCCIÓN.....	6
GLOSARIO	7
I. PRESENTACIÓN DEL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	9
1.2 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	9
1.3 ANTECEDENTES	10
1.4 JUSTIFICACIÓN	15
1.5 OBJETIVOS.....	16
1.6 ALCANCES	16
1.7 DELIMITACIÓN	16
II. MARCO REFERENCIAL.....	17
2.1 TEORÍAS RELACIONADAS	17
2.1.1 Satélites y teledetección	17
2.1.2 FEWS NET e imágenes de satélite de CHIRPS.....	19
2.2 CONCEPTUALIZACIÓN	23
2.2.1 Caracterización de la estación lluviosa en El Salvador.....	23
2.2.2 Fenómeno del Niño y la Niña y su influencia en la temporada de huracanes del año 2020	23
2.2.3 Temporada de huracanes del año 2020.....	24
2.2.3.2 Principales eventos con influencia en El Salvador durante la temporada de huracanes del Pacífico del 2020	38
2.2.4 Relación entre afectaciones y zonas de susceptibilidad a inundaciones y deslizamientos en El Salvador.....	40
III. METODOLOGÍA.....	45
3.1 TIPO DE ESTUDIO	45
3.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	45
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	45
3.4 PROCEDIMIENTO Y MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	45
3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	46
IV. RESULTADOS	48
4.1 RESULTADOS.....	48

4.2	DISCUSIÓN.....	72
4.3	CONCLUSIONES.....	73
4.4	RECOMENDACIONES.....	74
	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	76
	ANEXOS	83
	Anexo 1. Código para la generación de mapas de precipitación acumulada mensual en El Salvador.	83

ABSTRACT

With applications in agriculture, geology, cartography, industry and others, at present, remote sensing represents a tool of great relevance for society. Satellite precipitation products, such as CHIRPS products, are useful for monitoring accumulated monthly precipitation in multiple regions, including Central America. In this study, considering the influence of the Atlantic and Pacific hurricane season, data from satellite images was analyzed to create maps of accumulated monthly rainfall for the year 2020 in the territory of El Salvador. Using a processing through programming in R, twelve maps, associated with areas of greater susceptibility to floods and landslides, were generated for better management of natural disasters and early warning plans.

Keywords: Remote sensing, CHIRPS, satellite precipitation, monthly accumulated rainfall, El Salvador, R applications.

Con aplicaciones en la agricultura, geología, cartografía, industria y otros, en la actualidad, la teledetección representa una herramienta de gran relevancia para la sociedad. Los productos satelitales de precipitación, tal como los productos CHIRPS, son útiles para monitorear precipitación mensual acumulada en múltiples regiones, incluyendo Centroamérica. En este estudio, considerando la influencia de la temporada de huracanes del Atlántico y Pacífico, datos de imágenes satelitales fueron analizados para crear mapas de lluvia acumulada mensual del año 2020 en el territorio de El Salvador. Utilizando un procesamiento a través de programación en R, se generaron 12 mapas que fueron asociados a zonas de mayor susceptibilidad a inundaciones y deslizamientos para una mejor gestión de desastres naturales y planes de alerta temprana.

Palabras clave: Teledetección, CHIRPS, precipitación satelital, lluvia acumulada mensual, El Salvador, aplicaciones de R.

AGRADECIMIENTOS

Con profunda admiración, agradezco a la directora del programa ARSET-NASA, Dra. Ana Prados por brindarme la oportunidad de conocer sobre teledetección y despertar en mí el interés en las aplicaciones de esta rama.

Asimismo, agradezco al Lic. Luis García Guirola, por apoyarme en el acompañamiento de esta investigación y colaborar en revisiones y recomendaciones a lo largo del proceso.

Asimismo, a Ing. Lorena Aguilar y Lic. Mario Rodríguez por su apoyo para la compilación de imágenes satelitales desde FEWS NET. Gracias al Lic. Christian Parada por su enseñanza en procesamiento a través del software estadístico R.

Finalmente, a mis padres, familia y amigos. Más que científica, me enseñan a ser una mejor persona.

INTRODUCCIÓN

Conocer acerca de la precipitación del sitio puede resultar en evitar pérdidas humanas, económicas y materiales. El 2020 fue definitivamente un año histórico, ya que, además de la pandemia COVID-19, se mostraron los efectos del cambio climático en todo el mundo y las regiones del Atlántico y Pacífico no son la excepción. Con más de 30 eventos meteorológicos, la temporada de huracanes del Atlántico influyó en el comportamiento climatológico de El Salvador, incrementando la lluvia acumulada mensual y demostrando las susceptibilidades a inundaciones y deslizamientos en el territorio. Para dicho año, La investigadora considera que la mayor precipitación acumulada registrada del año dos mil veinte en El Salvador ocurre en el mes de junio y la región más susceptible a ella es la zona central y oriental del país. Debido a que la implementación de los satélites y la teledetección ha facilitado la cotidianidad, pero también ha contribuido a prevenir los daños causados por eventos meteorológicos extremos a través de sistemas de alerta temprana, La investigadora mapeó y analizó gráficamente datos de precipitación acumulada mensual del año 2020 en el territorio de El Salvador. Además, procesó una base de datos en grilla de lluvia estimada por el satélite TRMM 3B42 del CHIRPS FEWS NET, transformándolo en un atlas climático mensual de lluvia del año 2020 y realizando una asociación con la temporada huracanada. Finalmente, examinó la susceptibilidad a inundaciones en el territorio basándose en mapas de riesgo para el año 2020 para comprobar o rechazar su hipótesis.

GLOSARIO

- ❖ AFWA: Agencia Meteorológica de la Fuerza Aérea de EE. UU.
- ❖ AMSU: Sondeo Avanzado de Microondas.
- ❖ CFSv2: Sistema de Pronóstico del Clima versión 2.
- ❖ CGT: Tele conexión circumglobal
- ❖ CHIRPS: Datos de estación de Precipitación Infrarroja del Grupo de Amenazas Climáticas.
- ❖ CHPClim: Climatología de Precipitación de Riesgos Climáticos.
- ❖ CPC: Centro de Predicciones Climáticas.
- ❖ DMSP: Programa de Satélites Meteorológicos de Defensa.
- ❖ DOA-MARN: Dirección del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- ❖ FEWS NET: Red de sistemas de alerta temprana contra la hambruna.
- ❖ GHCN: Red mundial de climatología histórica.
- ❖ IR: Infrarrojo.
- ❖ JAXA: Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón.
- ❖ MARN: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales El Salvador.
- ❖ METOP: Satélite operacional meteorológico.
- ❖ NASA: Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio de Estados Unidos.
- ❖ NHC: Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos.
- ❖ NMME: Conjunto de varios modelos de América del Norte.
- ❖ NOAA: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos.
- ❖ QuickSCAT: Dispersómetro rápido de NASA.
- ❖ SAB: Rama de Análisis de Satélites.
- ❖ SASSCAL: Centro de Servicios Científicos del África Meridional para el Cambio Climático y la Gestión Adaptativa de la Tierra.
- ❖ SATCON: Condición del satélite.

- ❖ SFMR: Radiómetro de microondas de frecuencia escalonada.
- ❖ TAFB: Subdivisión de Análisis y Pronóstico Tropical.
- ❖ TRMM: Misión de Medición de la Lluvia Tropical de la NASA.
- ❖ UCSB: Universidad de California, Santa Bárbara.
- ❖ USAID: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.
- ❖ USGS: Servicio de Estudios Geológicos de los Estados Unidos.
- ❖ VIS: Satélites visibles.
- ❖ WindSAT: Velocidad del viento sobre el agua

I. PRESENTACIÓN DEL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Centroamérica, por estar en una región tropical, usualmente recibe una precipitación abundante cada año, demostrada en lluvia y ocasionalmente granizos. Por lo tanto, también es vulnerable a que estos eventos, por el cambio climático sean cada vez más intensos y frecuentes, causando daños a la propiedad, la infraestructura y hasta afectaciones a las personas. El Salvador no está exento de fenómenos meteorológicos que tienen un impacto en la economía, agricultura y desarrollo territorial.

El año dos mil veinte estuvo marcado por múltiples eventos climáticos que resultaron en un aumento de precipitación, a comparación de sus últimos años. Estos datos son registrados por instituciones gubernamentales, como el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como organizaciones internacionales, como FEWS NET, que, con la finalidad de gestión de riesgos, recolectan imágenes satelitales que pueden ser analizadas posteriormente con software especializados. Estrategias nacionales y regionales se han tomado anteriormente para prevenir y mitigar los daños de tormentas cada vez más frecuentes. Sin embargo, el año 2020 mostró que aún existe un largo camino por recorrer si se quiere gestionar estos eventos de manera que ni los pueblos ni los ecosistemas que ocupan se vean afectados en gran magnitud.

Esta investigación pretende elaborar mapas de isoyetas en forma de un atlas de lluvia mensual estimada por satélite del año 2020 en el territorio de la República de El Salvador y proveer así un análisis, identificando las regiones más vulnerables ante fenómenos climáticos extremos dentro del país.

1.2 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

H0: La mayor precipitación acumulada registrada del año dos mil veinte en El Salvador no ocurre en el mes de junio y la región más susceptible a ella no es la zona central y oriental del país.

H1: La mayor precipitación acumulada registrada del año dos mil veinte en El Salvador ocurre en el mes de junio y la región más susceptible a ella es la zona central y oriental del país.

1.3 ANTECEDENTES

El Salvador es uno de los países del mundo más frecuentemente afectado por fenómenos naturales, lo cual, sumado a la falta de planificación territorial y alta vulnerabilidad tanto física como social, ha resultado en numerosas pérdidas materiales y de vidas humanas, provocando fuertes impactos sociales, económicos y ambientales, afectando la inversión social y fuentes de empleo, acentuando la vulnerabilidad existente e impidiendo el desarrollo sostenible del país (MARN, 2017).

Eventos extremos, potenciados por el cambio climático global, causan estragos en el territorio salvadoreño. Múltiples instituciones nacionales e internacionales se han encargado de monitorear, registrar y alertar apropiadamente ante dichos eventos. Ubicados en la región tropical, precipitaciones abundantes y frecuentes son típicas según la climatología en El Salvador; sin embargo, en el año 2020 se estableció un récord por una temporada de huracanes en el Atlántico y Caribe, además del Pacífico, que afectaron la región de una manera nunca antes vista.

A lo largo de la historia, El Salvador ha sufrido el impacto de diferentes eventos climáticos por lluvias extremas que causan daños graves, comprometiendo el desarrollo económico y social del país y la región (MARN, 2019). En los últimos veinte años, estos eventos extremos se han incrementado, como consecuencia con altas pérdidas humanas y económicas, como los eventos del huracán Stan (2005), huracán Ida (2009), tormenta tropical Agatha (2010), depresión tropical 12E (2011), con fuertes afectaciones en el recurso hídrico, en los ecosistemas y las poblaciones (MARN, 2019).

El huracán Stan, en el año 2005, se asoció con desastrosas inundaciones tierra adentro en partes de Centroamérica y México. Para el 27 de septiembre de dicho año, la tormenta ya estaba establecida en el Mar Caribe. Las observaciones durante Stan incluyen estimaciones de intensidad basadas en satélites de la Rama de Análisis y Pronósticos Tropicales (TAFB), la Rama de Análisis de Satélites (SAB) y

la Agencia Meteorológica de la Fuerza Aérea de EE. UU. (AFWA). Las imágenes de los satélites en órbita polar de la NOAA, la Misión de Medición de la Lluvia Tropical de la NASA (TRMM), el QuikSCAT de la NASA y los satélites del Programa de Satélites Meteorológicos de Defensa (DMSP) también fueron útiles para rastrear a Stan. Una misión satelital logro medir los vientos máximos de Stan, de 79 nudos en 700 milibares a las 1000 UTC, justo antes de tocar tierra el 4 de octubre en Yucatán (Figura 1). Estos datos son las bases principales para establecer la intensidad máxima (y la llegada a tierra) de Stan en 70 nudos. Varias ubicaciones informaron totales de precipitación superiores a 10 pulgadas, o 254 mm (Pasch & Roberts, 2006).

A pesar que es imposible medir las pérdidas humanas que dejó el huracán Stan, las estimaciones del número total de vidas perdidas en México y América Central se encuentran en su mayoría en el rango de 1000 a 2000 personas (Pasch & Roberts, 2006). Asimismo, causó estragos económicos notorios en El Salvador. Se estima que tuvo un impacto económico de 149.5 millones de dólares USD en el sector social, 56.1 millones en el sector productivo, 113.5 millones de pérdidas en infraestructura y 21.8 millones en medio ambiente, sumando un total de 355.6 millones de dólares USD (MARN, 2019).

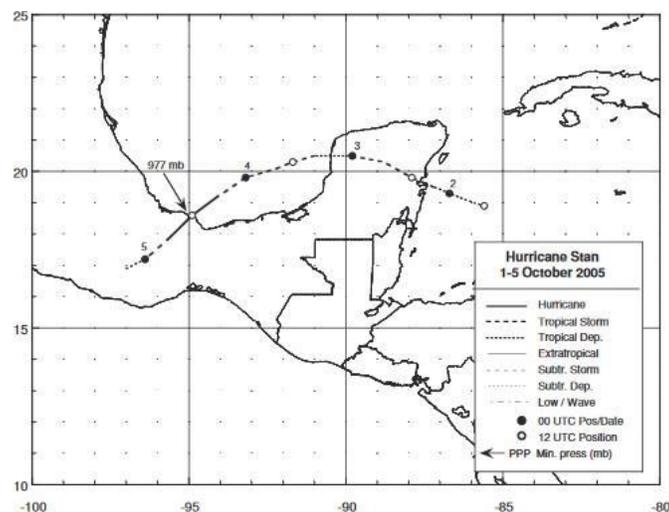


Figura 1: Mejores posiciones del recorrido del huracán Stan, del 1 al 5 de octubre de 2005.
Fuente: (Pasch & Roberts, 2006)

En el año 2009, el huracán Ida fue un huracán tardío que tuvo un gran impacto en la costa este de Nicaragua y países adyacentes. Fue el primer huracán de noviembre en el Golfo de México desde Kate de 1985, iniciando como una tormenta en el oeste del Mar Caribe el 1 de noviembre (Avila & Cangialosi, 2010). Las observaciones de Ida (Figura 2) también incluyen estimaciones de intensidad basadas en satélites de la Subdivisión de Análisis y Pronósticos Tropicales (TAFB) y la Subdivisión de Análisis de Satélites (SAB). Los datos e imágenes de los satélites en órbita polar de la NOAA, incluido el instrumento Sondeo Avanzado de Microondas (AMSU), la Misión de Medición de Lluvias Tropicales de la NASA (TRMM), el QuikSCAT de la NASA, los satélites del Programa de Satélites Meteorológicos de Defensa (DMSP), entre otros, también fueron útiles en construyendo la mejor trayectoria de Ida. La intensidad máxima de vientos asignada de 90 nudos sobre el Canal de Yucatán fue una combinación de vientos a nivel de vuelo ajustados en la superficie, estimaciones de intensidad satelital y datos SFMR, durante el día 9 de noviembre de 2009 (Avila & Cangialosi, 2010).

En cuanto a pérdidas humanas, los informes de prensa indican que hubo al menos 124 muertes atribuidas a Ida en El Salvador. Sin embargo, estas muertes se relacionaron con fuertes lluvias asociadas con otro disturbio o baja presión en el Pacífico de El Salvador y no con Ida directamente (Avila & Cangialosi, 2010). Asimismo, causó estragos económicos notorios en El Salvador. Se estima que tuvo un impacto económico de 39.7 millones de dólares USD en el sector social, 82.4 millones en el sector productivo, 132.7 millones de pérdidas en infraestructura y 60.1 millones en medio ambiente, sumando un total de 314.8 millones de dólares USD (MARN, 2019).

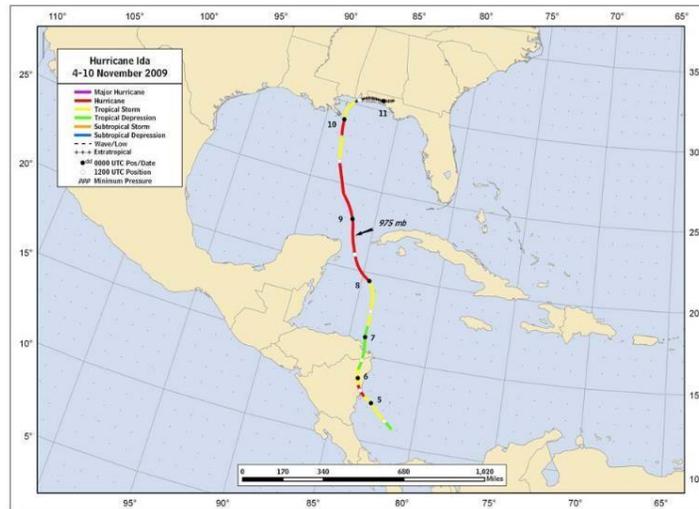


Figura 2: Mejores posiciones del recorrido del huracán Stan, del 4 al 10 de noviembre de 2009.
Fuente: (Avila & Cangialosi, 2010)

La tormenta tropical Agatha, a finales de mayo de 2010, impactó específicamente el triángulo norte centroamericano, marcando la primera depresión tropical de la temporada de huracanes del Pacífico Oriental. El 29 de mayo, autoridades salvadoreñas emitieron un aviso de tormenta tropical para las costas del pacífico de México, Guatemala, hasta la frontera con Honduras (Kimberlain T., 2010). Las observaciones en Agatha (Figura 3) incluyen estimaciones de intensidad basadas en satélites de la Subdivisión de Análisis y Pronósticos Tropicales (TAFB) y la Subdivisión de Análisis de Satélites (SAB). Los datos e imágenes de los satélites en órbita polar de la NOAA, la Misión de Medición de Lluvia Tropical de la NASA (TRMM) y los satélites Aqua, el satélite europeo METOP y el Programa de Satélites Meteorológicos de Defensa (DMSP) y los satélites WindSat, entre otros, también fueron útiles en la construcción de la mejor trayectoria de Agatha. No hubo observaciones en la superficie de vientos sostenidos con fuerza de tormenta tropical provenientes de Agatha. En La Unión, El Salvador, se informó de una ráfaga de viento de 43 nudos a las 1200 UTC del 30 de mayo. Las mareas estuvieron 1-2 pies por encima de lo normal en la costa de El Salvador el 29 de mayo. El principal impacto de Agatha fueron las fuertes lluvias generalizadas en partes de América Central. En Ilopango se reportó un total de 8.17 pulgadas, o sea 208 mm. Las lluvias de Agatha fueron parte de un período prolongado de fuertes lluvias en América

Central del 25 al 30 de mayo (Beven, Tropical Cyclone Report Tropical Storm Agatha, 2011).

Las fuertes lluvias de Agatha provocaron inundaciones y deslizamientos de tierra generalizados en Guatemala, Honduras y El Salvador. Si bien existe incertidumbre sobre exactamente cuántas personas murieron directamente debido a la tormenta, el número de muertos de Agatha parece ser 190 (Beven, Tropical Cyclone Report Tropical Storm Agatha, 2011). En El Salvador, las inundaciones y deslizamientos de tierra tuvieron un impacto económico de 43.9 millones de dólares USD en el sector social, 20.6 millones en el sector productivo, 35.5 millones de pérdidas en infraestructura y 12.1 millones en medio ambiente, sumando un total de 112.1 millones de dólares USD (MARN, 2019).

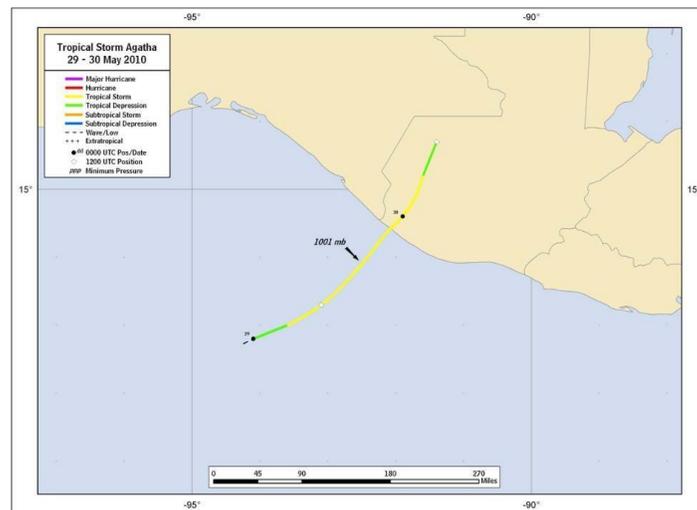


Figura 3: Mejores posiciones del recorrido de la tormenta tropical Agatha, del 29 a 30 de mayo de 2010. Fuente: (Beven, Tropical Cyclone Report Tropical Storm Agatha, 2011)

Para la depresión tropical 12E, en octubre de 2011, análisis satelital sugiere que se desarrolló en la misma onda tropical que produjo el huracán Phillipe en el Atlántico. Las lluvias torrenciales asociadas con la depresión y el flujo de tipo monzónico asociado en el que estaba incrustado contribuyeron a graves inundaciones en partes del sureste de México y Guatemala (Figura 4) (Kimberlain T. B., 2012). Se registraron vientos máximos el día 12 de octubre, alcanzando 35 mph y una presión mínima de 1004 milibares (National Hurricane Center, 2011). Un informe oficial del

gobierno guatemalteco indica que 36 muertes pueden atribuirse directamente a la depresión. Se reportaron muchas otras muertes en Centroamérica en relación con las fuertes lluvias (Kimberlain T. B., 2012).

En cuanto a las pérdidas económicas de El Salvador, se tuvo un el mayor impacto registrado de 207.1 millones de dólares USD en el sector social, 339.1 millones en el sector productivo, 279.6 millones de pérdidas en infraestructura y 76.5 millones en medio ambiente, sumando un total de 902.3 millones de dólares USD (MARN, 2019).

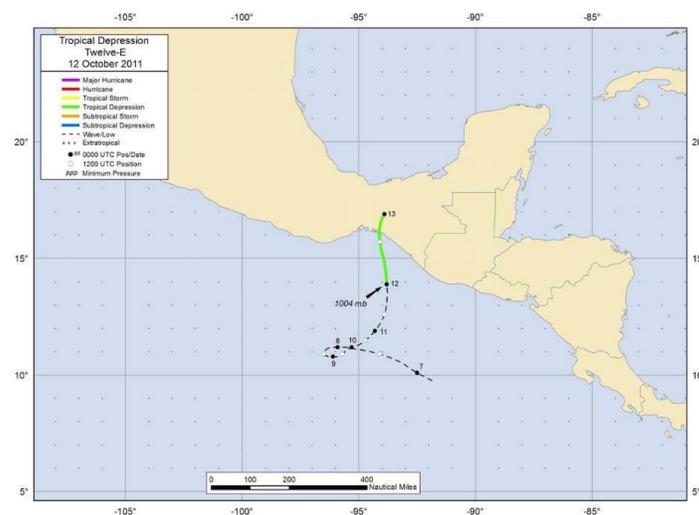


Figura 4: Mejores posiciones del recorrido de la depresión tropical 12-E, 12 de octubre de 2011.
Fuente: (Kimberlain T. B., 2012)

1.4 JUSTIFICACIÓN

La implementación de los satélites y la teledetección ha facilitado la cotidianidad, pero también contribuye a prevenir los daños causados por eventos meteorológicos extremos a través de sistemas de alerta temprana. Los pronósticos utilizan los satélites con estos fines, sin embargo, se necesitan herramientas para el análisis apropiado, efectivo y veloz de los mismos. Debido a que es de suma importancia comprender el comportamiento de dichos eventos en la climatología de El Salvador, y considerando que el año 2020 estuvo marcado por eventos críticos, esta investigación se considera como un recurso de gran relevancia para instituciones locales y academia.

1.5 OBJETIVOS

Objetivo general: Mapear y analizar gráficamente datos de precipitación acumulada mensual del año 2020 en el territorio de El Salvador.

Objetivos específicos:

1. Procesar base de datos en grilla de lluvia estimada por el satélite TRMM 3B42 del CHIRPS FEWS NET para transformar en mapas del atlas climático mensual de lluvia del año 2020.
2. Analizar y caracterizar el periodo de lluvia en el año 2020, realizando una asociación con la temporada huracanada.
3. Examinar la susceptibilidad a inundaciones en el territorio basándose en mapas de riesgo para el año 2020.

1.6 ALCANCES

El alcance de este estudio se limita a compilar datos de precipitación acumulada mensual estimada por imágenes satelitales en El Salvador. El periodo a evaluar son doce meses del año dos mil veinte. No se incluirán datos de años anteriores ni de regiones fuera de la establecida previamente. Además, tampoco se trabajará con datos registrados en las estaciones climatológicas del país debido a que es una investigación a realizarse de manera virtual.

1.7 DELIMITACIÓN

La investigadora ha delimitado temporal y espacialmente este estudio. Se evaluará la precipitación acumulada mensual durante todo el año dos mil veinte, iniciando desde el mes de enero y finalizando en diciembre. Además, se desarrollará de manera virtual la gestión de datos de lluvia estimada por imágenes satelitales provistas por FEWS NET, de lluvias en la República de El Salvador que posteriormente serán analizadas utilizando el idioma de programación R, generando doce mapas en total.

II. MARCO REFERENCIAL

2.1 TEORÍAS RELACIONADAS

Para comprender las dinámicas globales de la interacción entre la energía y ciclo del agua, es necesario entender primero que la precipitación es un elemento de suma importancia, ya que su papel es trascendental en los estudios del clima de una región. La precipitación, sea en lluvia, nieve o granizo, ha sido medida en estaciones meteorológicas de un sitio específico, sin embargo, una medición manual no es la única técnica para recolección de estos datos disponible en la actualidad. Afortunadamente, el desarrollo de técnicas de teledetección a través de productos satelitales puede proveer a tomadores de decisiones actuar rápidamente al monitorear la precipitación del sitio. Se debe recordar que, aunque los radares meteorológicos pueden proporcionar estimaciones precisas de las precipitaciones sobre el terreno, la combinación de radares terrestres y pluviómetros puede generar productos de precipitación de alta calidad (Hong, y otros, 2018).

2.1.1 Satélites y teledetección

Los sensores satelitales y los radares meteorológicos terrestres son dos fuentes principales de lluvia por detección remota (Hong, y otros, 2018).

Los sensores satelitales incluyen multicanal, como visible e infrarrojo (VIS / IR), microondas pasivo y microondas activo. Los sensores infrarrojos proporcionan estimaciones de precipitación con resoluciones temporales y espaciales relativamente altas. Actualmente, los satélites han proporcionado grandes cantidades de datos de precipitación, superficie terrestre y temperatura superficial del mar (Hong, y otros, 2018).

Por otra parte, la teledetección, o *remote sensing* en inglés, aplica la información que los satélites compilan usando radiación electromagnética y no es necesario que esté en contacto con el objeto o el área de estudio. En la teledetección se utilizan diversos tipos de herramientas y dispositivos para hacer que la radiación electromagnética fuera de este rango de 400 a 700 nm sea visible para el ojo humano, especialmente el infrarrojo cercano, el infrarrojo medio, el infrarrojo térmico

y las microondas. Cada vez más, la teledetección se utiliza para adquirir información sobre procesos ambientales como el crecimiento de cultivos agrícolas, cambios en la cobertura del suelo, deforestación, dinámica de la vegetación, dinámica de la calidad del agua, crecimiento urbano, entre otros, (Clevers, 2006).

Con aplicaciones en la agricultura, geología, cartografía, industria y otros, la teledetección ha recorrido una amplia historia donde se demuestran sus múltiples usos y aplicaciones (Cuadro 1).

1800 Descubrimiento de infrarrojos por Sir W. Herschel
1839 Inicio de la práctica de la fotografía
1847 Espectro infrarrojo mostrado por J.B.L. Foucault
1859 Fotografía de globos
1873 Teoría del espectro electromagnético por J.C. Maxwell
1909 Fotografía de aviones
1916 Primera Guerra Mundial: reconocimiento aéreo
1935 Desarrollo del radar en Alemania
1940 Segunda Guerra Mundial: Aplicaciones de la parte no visible del espectro electromagnético
1950-Investigación y desarrollo militar
1959 Primera fotografía espacial de la Tierra (Explorer-6)
1960 Lanzamiento del primer satélite meteorológico TIROS
1970 Observaciones de teledetección Skylab desde el espacio
1972-Rápidos avances en el procesamiento de imágenes digitales
1982 Lanzamiento de Landsat-4: Nueva generación de sensores Landsat: TM
1986 SPOT satélite comercial francés de observación de la tierra
1986 Sensores hiperespectrales de desarrollo

1990 Desarrollo de sistemas espaciales de alta resolución Primeros desarrollos comerciales en teledetección

1991 Lanzamiento del primer satélite radar ERS-1 por la ESA

1992 Lanzamiento del satélite radar JERS-1 por Japón

1995 Lanzamiento de Radarsat por Canadá

1995 Lanzamiento de ERS-2 por la ESA

1999 Lanzamiento de EOS: Misión de Observación de la Tierra de la NASA "Terra" con MODIS y ASTER

1999 Lanzamiento de IKONOS, sistema de sensores de muy alta resolución espacial

2001 Lanzamiento de QuickBird, sistema de sensores de muy alta resolución espacial

2002 Lanzamiento de "Aqua" con MODIS por la NASA 2002 Lanzamiento de Envisat-1 con instrumentos ópticos y de radar por la ESA

2008 Lanzamiento de GeoEye

2009 Lanzamiento de WorldView-2 por DigitalGlobe

2013 Lanzamiento de Landsat-8 por NASA / USGS

2015 Lanzamiento de Sentinel-1 por la ESA

2016 Lanzamiento de Sentinel-2 por la ESA 2016 Lanzamiento de Sentinel-3 por la ESA

Cuadro 1: Hitos en la historia de la teledetección. Fuente: (Clevers, 2006)

En la actualidad, la principal ventaja de la compilación de estos datos es la aplicación a datos de observación de acuerdo con los métodos de procesamiento de imágenes digitales y reconocimiento de patrones (Clevers, 2006). Finalmente, como resultado de la teledetección, se pueden exportar como capas de sistemas de información geográfica (SIG), como mapas e incluso tablas, lo cual sirve para un análisis o aplicaciones especiales, integrar con otra información y, asimismo, combinarlo con otros tipos de estudios para distintas aplicaciones adicionales.

2.1.2 FEWS NET e imágenes de satélite de CHIRPS

La red de sistemas de alerta temprana contra la hambruna, FEWS NET por sus siglas en inglés, provee información, datos, mapas e informes con análisis para

combatir la inseguridad alimentaria, trabajando de la mano con científicos, organizaciones e instituciones gubernamentales. Sus estudios de alerta temprana incluyen múltiples variables, incluyendo precipitación. Desde hace 36 años, el FEWS NET ofrece ayuda humanitaria a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) como respuesta a eventos meteorológicos extremos que han amenazado la seguridad alimentaria en África y Centroamérica para lograr un desarrollo sostenible resiliente en las regiones más vulnerables. Una de las labores principales del FEWS NET es el monitoreo y pronóstico de condiciones agroclimáticas. Se busca la comprensión del sistema climático global utilizando sensores remotos, modelos y observación de campo para proporcionar productos y servicios de información de alerta temprana de agro climatología, incluyendo los datos satelitales CHIRPS (FEWS NET, 2021).

Los datos de estación de Precipitación Infrarroja del Grupo de Amenazas Climáticas (CHIRPS), *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* en inglés, es un conjunto de datos de lluvia cuasi global de más de 30 años, desde 1981. CHIRPS incorpora imágenes satelitales de resolución de 0.05° con datos de estaciones in situ para crear series de tiempo de lluvia cuadrículadas para análisis de tendencias y monitoreo de sequías estacionales (ICPAC, 2020). El flujo de procesamiento de la estación CHIRPS incorpora datos de cinco flujos de datos públicos y varios archivos privados. Los flujos de datos públicos son el GHCN mensual, el GHCN diario, el Resumen Global del Día (GSOD), el GTS y el Centro de Servicios Científicos del África Meridional para el Cambio Climático y la Gestión Adaptativa de la Tierra (SASSCAL) (Funk, Peterson, & Landsfeld, *The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes.*, 2015). En cuanto a precipitación, CHIRPS compila datos satelitales de lluvia del satélite TRMM 3B42. La Misión de Medición de Lluvias Tropicales (TRMM) es una misión conjunta entre la NASA y la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA) diseñada para monitorear y estudiar las lluvias tropicales (Figura 5). El producto 3B42 contiene una precipitación infrarroja combinada cuadrículada, ajustada por TRMM y una estimación del error de precipitación RMS, con una resolución temporal desde 3 horas y una resolución

espacial desde 0.25 grados (Google Earth Engine Data Catalog, 2015). Los formatos de archivo disponibles para CHIRPS son con extensiones .tif, .bil y .netcdf.

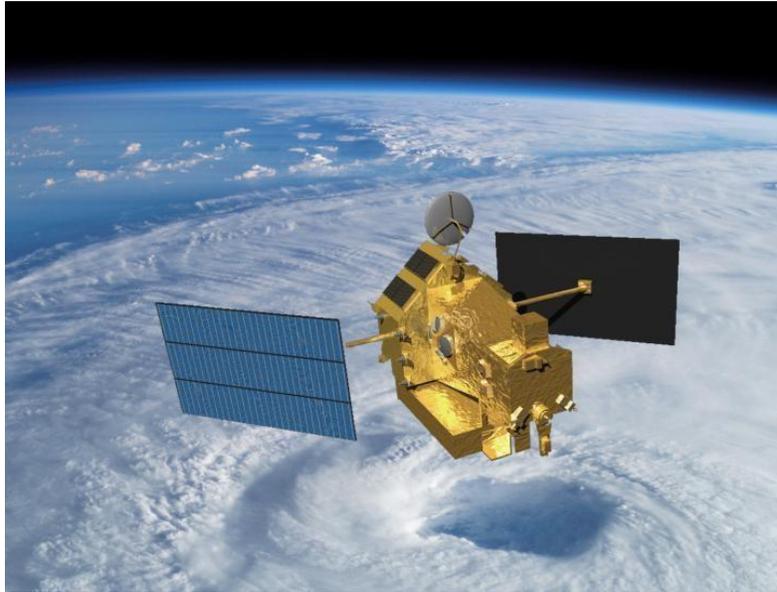


Figura 5: Satélite TRMM. Fuente: (NASA, 2015)

La USGS y UCSB combinaron nuevos recursos de observaciones satelitales, precipitación promedio de estaciones y predictores de lluvia como elevación, latitud y longitud para construir promedios de precipitación mensual cuadrículados globales de alta resolución (0.05 grados, aproximadamente 5 kilómetros) para crear la Climatología de Precipitación de Riesgos Climáticos (CHPClim) (Funk, Michaelsen, & Marshall, 2012). Estos promedios mensuales se utilizaron luego para eliminar el sesgo sistemático de los campos de precipitación mensuales basados en satélites utilizando la relación entre el CHPClim y el promedio mensual de satélites únicamente (Funk, y otros, 2014). Adicionalmente, se combinaron observaciones de estaciones con estimaciones de lluvia satelitales no sesgadas para producir el conjunto de datos de precipitación infrarroja con estaciones (CHIRPS), para así poder respaldar las actividades de monitoreo de sequías de FEWS NET.

Tal como (Funk, y otros, 2014) explica, CHIRPS es el producto de un procesamiento de dos partes. En primer lugar, las estimaciones infrarrojas de precipitación por pentada se crean a partir de datos satelitales calculando el porcentaje de tiempo

durante la pentada que las observaciones de infrarrojo indican cimas de nubes frías (inferior a 235 K), y convirtiendo ese valor en milímetros de precipitación por mediante regresión local previamente determinada con pentadas de precipitación TRMM 3B42. Las pentadas se expresan luego como porcentaje de lo normal dividiendo los valores por sus medias a largo plazo (1981 - en adelante). Estos valores sin unidades representan variaciones en el tiempo de la media a largo plazo (lluvia por debajo de lo normal, normal o por encima de lo normal). El porcentaje de pentada de precipitación infrarroja normal se multiplica luego por el pentada de CHPCLim correspondiente para producir una estimación cuadrículada insesgada, con unidades de milímetros por pentada, denominada Precipitación Infrarroja del Grupo de Amenazas Climáticas o CHIRP. En la segunda parte del proceso, las estaciones se combinan con los datos CHIRP para producir el producto final, CHIRPS. En algunos casos, faltan valores de precipitación infrarroja debido a una cobertura satelital incompleta. Durante la década de los años ochenta, existieron “lagunas” de datos faltantes, que se completaron utilizando datos del Sistema de Pronóstico del Clima ver. 2 (CFSv2). Las estimaciones de CFSv2 se corrigieron por sesgo de la misma manera que las estimaciones de precipitación infrarrojo, utilizando la proporción de CHPCLim pentadal a la media pentadal a largo plazo de CFSv2.

Estimar variaciones espaciales y temporales de precipitación es un aspecto clave para mitigar el impacto negativo de eventos meteorológicos extremos, a la vez que se actúa como un sistema de alerta temprana. Sin embargo, las estimaciones derivadas de datos satelitales proporcionan promedios por áreas que sufren sesgos debido a la complejidad del terreno, que a menudo subestima la intensidad de los eventos de precipitación extrema y, por otra parte, zonas rurales donde estaciones escasean de pluviómetros pueden tener efectos negativos en la creación de cuadrículas de precipitación (Climate Hazards Center, 2021). Por esta razón, CHIRPS dispone de datos completos y actualizados para monitorear así, eventos importantes de precipitación y sequía en el mundo.

2.2

CONCEPTUALIZACIÓN

2.2.1 Caracterización de la estación lluviosa en El Salvador

La climatología de El Salvador establece que se cuenta con dos estaciones: lluviosa y seca, así como transición seca-lluviosa y lluviosa seca. La temporada de lluvias en El Salvador usualmente inicia el 21 de mayo, finalizando el 16 de octubre, aproximadamente por 149 días. Luego, continúa la transición lluviosa-seca desde el 17 de octubre hasta el 13 de noviembre, con una duración aproximada de 28 días. La estación seca inicia el 14 de noviembre y finaliza el 19 de abril, aproximadamente por 157 días; dando inicio finalmente a la transición seca-lluviosa desde el 20 de abril hasta el 20 de mayo, con una duración aproximada de 31 días (Centro de Meteorología e Hidrología, 1993).

Tal como menciona (García & Fernández, 1997), durante la estación lluviosa, los meses que presentan una disminución notable son julio y agosto, específicamente en la zona costera y oriental del país, pero no en la zona norte o cordillera sur. Estos meses son conocidos como canícula, caracterizada por periodos de tiempo soleados y chubascos nocturnos (Flores & Rosales, 1978). Los meses que presentan un aumento notable de precipitación son septiembre y junio (García & Fernández, 1997), precisamente influenciados por eventos originados en el Pacífico, incluso también en octubre (Flores & Rosales, 1978). Por otra parte, en la época seca, invasiones de aire frío desde Norteamérica pueden incurrir a lluvias locales en zonas expuestas al viento, como en la región montañosa del noroeste, con vientos de gran rafagosidad (Flores & Rosales, 1978). Lo que favorece o no la lluvia en el territorio es la acción de sistemas tropicales y subtropicales que, al tener la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (García & Fernández, 1997), se puede manifestar en temporales.

2.2.2 Fenómeno del Niño y la Niña y su influencia en la temporada de huracanes del año 2020

El fenómeno del Niño y la Niña puede tener influencia en la temporada de huracanes anual, tanto en el Atlántico como en el Pacífico. En el año 2020, inició con

condiciones neutrales, pero con temperaturas frías del agua del mar, desde que inició el trimestre junio-agosto se desarrolló la Niña. El índice Niño 3.4 se había enfriado considerablemente recientemente. Anteriormente, este índice estaba por encima de + 0.5°C durante octubre de 2019 hasta finales de abril de 2020. Sin embargo, los impactos importantes de El Niño habían estado en gran parte ausentes, por lo que el Centro de Predicciones Climáticas (CPC) no declaró un Niño. Además, se indicó una transición a La Niña (índice Niño 3.4 \leq -0.5°C) a medida que avanzaba el verano, lo que parece ser consistente con los vientos alisios intensificados presentes en el Océano Pacífico ecuatorial. El sistema de pronóstico del clima de la NOAA y el NMME predijeron La Niña o SST por debajo del promedio en el Pacífico ecuatorial central y este-central durante ASO 2020 (Climate Prediction Center, 2020). Estas predicciones fueron bastante certeras, ya que desde el trimestre diciembre 2019, enero - febrero 2020 hasta junio-julio-agosto 2020, se mantuvieron condiciones neutrales del ENSO; y desde el trimestre julio-agosto-septiembre 2020 hasta noviembre-diciembre 2020 y enero 2021 se tuvieron condiciones características del fenómeno de La Niña (Ver Tabla 1) (Climate Prediction Center, 2021).

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2

Tabla 1: Episodios ONI por temporada, (Climate Prediction Center, 2021)

2.2.3 Temporada de huracanes del año 2020

La temporada de huracanes del Atlántico en el año 2020 rompió récord por haber registrado más de 30 eventos meteorológicos, de los cuales 13 fueron extremos y 6 muy extremos, aun superando a la temporada del 2005. Sin embargo, El Salvador no fue afectado únicamente por estos, sino también por eventos en el Pacífico que, aunque fue una de las temporadas menos activas, sus tormentas como Depresión tropical Uno-E y Tormenta tropical Amanda dejaron afectaciones y pérdidas humanas en el territorio salvadoreño, así como en la región norte centroamericana.

2.2.3.1 Principales eventos con influencia en El Salvador durante la temporada de huracanes del Atlántico del 2020.

- **Tormenta tropical Cristóbal – 1-9 de junio, 2020**

A inicios de junio, se desarrolló un giro centroamericano y se centró cerca de la frontera entre México y Guatemala, mientras que la tormenta tropical Amanda se formaba simultáneamente sobre el extremo oriental del Pacífico norte frente a las costas de Guatemala y El Salvador. Debido a que la tormenta todavía estaba incrustada dentro del giro centroamericano, procedió a hacer un bucle lento en sentido antihorario sobre la Bahía de Campeche y el sureste de México durante los siguientes días, moviéndose inicialmente lentamente hacia el sur y luego hacia el sureste el 2 y 3 de junio alcanzando una intensidad máxima estimada de 50 nudos a las 0600 UTC del 3 de junio y convirtiéndose en una tormenta tropical (Berg, Tropical Storm Cristobal Report, 2021). Múltiples observaciones incluyeron estimaciones de satélites como TAFB y SATCON, así como observaciones de sonda de viento del 53° Escuadrón de Reconocimiento de las Reservas de la Fuerza Aérea de Estados Unidos (Berg, Tropical Storm Cristobal Report, 2021). Durante nueve días (del 29 de mayo al 7 de junio) se produjeron las lluvias más intensas y significativas para la región centroamericana, también debido a la influencia de la Tormenta Amanda. Se registraron altas precipitaciones totales en partes de Centroamérica, particularmente en El Salvador, Guatemala, Honduras y Belice. En El Salvador, 20.10 pulgadas (510.54 mm) de lluvia cayeron en el Volcán Conchagua durante el período de Cristóbal, y esa ubicación terminó con un total combinado de 42.80 pulgadas (1087.1 mm) para todo el evento (Figura 6) (Berg, Tropical Storm Cristobal Report, 2021).

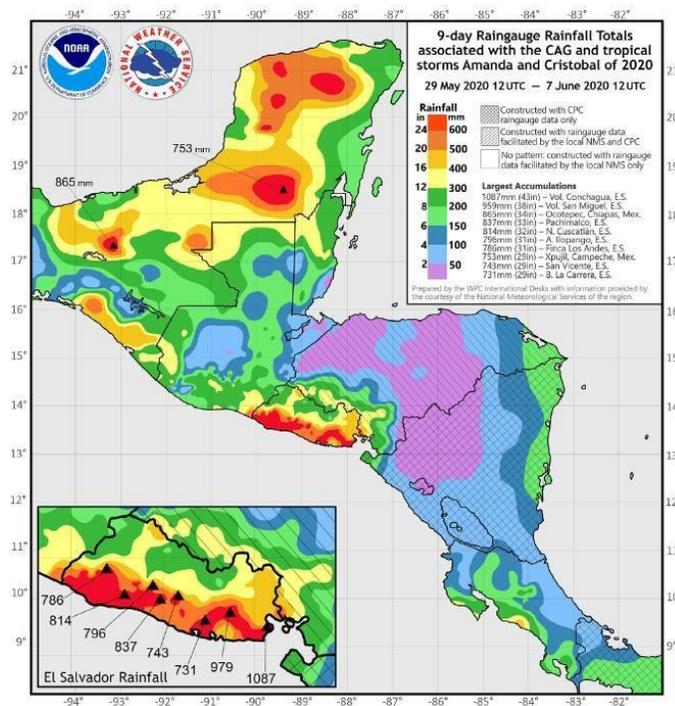


Figura 6: Acumulación de lluvia de nueve días (mm) en Centroamérica y sureste de México del 29 de mayo al 7 de junio de 2020. Fuente: Oficina Internacional del Centro de Predicción Meteorológica de la NOAA y los servicios meteorológicos de la región.

- **Huracán Laura – 20-29 de agosto, 2020**

Laura se remonta a una onda tropical que se movió frente a la costa de África occidental el 16 de agosto, acompañada por un chorro del este alrededor del nivel de 700 milibares, pero tras pasar por Cuba y el golfo de México, fue hasta el día 27 de agosto que Laura alcanzó su intensidad máxima de aprox. 130 nudos mientras se acercaba a la costa del suroeste de Luisiana, alcanzando categoría 4 (Figura 7). El sistema fue absorbido por otra baja centrada cerca de los Grandes Lagos a las 1200 UTC del 29 de agosto (Pasch, Berg, Roberts, & Papin, 2021). Múltiples observaciones incluyeron estimaciones de satélites como TAFB, SAB y SATCON, así como observaciones de sonda de viento del 53° Escuadrón de Reconocimiento de las Reservas de la Fuerza Aérea de Estados Unidos. Aunque el pico total de precipitación registrada fue de 11.74 pulgadas (298.2 mm) en Luisiana (Pasch, Berg, Roberts, & Papin, 2021), Laura ejerció una influencia indirecta en El Salvador. El 27 de agosto, la Dirección del Observatorio Ambiental (DOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) informó que Laura había tocado tierra entre

Texas y Luisiana, un día antes; y que a pesar que según el pronóstico del Centro Nacional de Huracanes (NHC, Miami), las tormentas se mantendrían en la costa de Centroamérica, siendo moderadas a ocasionalmente fuertes, impactando específicamente los municipios de Metapán, Citalá y Usulután, debido a la humedad acumulada del suelo (Hernández & DOA-MARN, 2020).

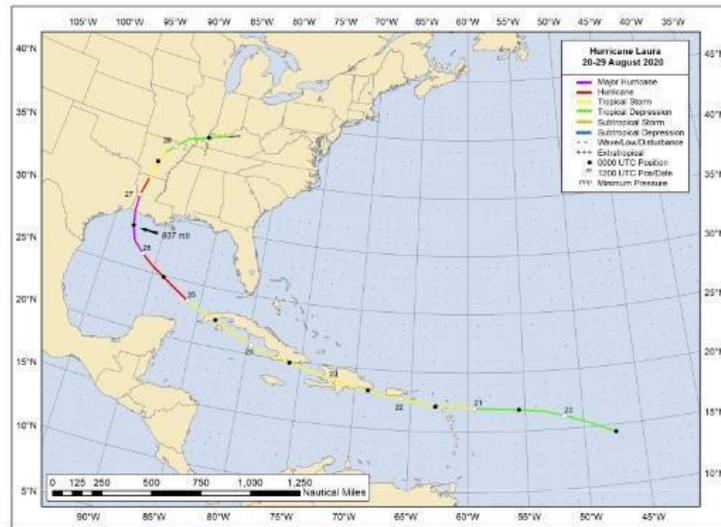


Figura 7: Mejores posiciones del recorrido del Huracán Laura, 20-29 de agosto, 2020.
Fuente: (Pasch, Berg, Roberts, & Papin, 2021)

- **Huracán Marco – 21-25 de agosto, 2020**

Marco se desarrolló a partir de una onda tropical que se movió hacia el oeste desde la costa de África del 10 al 11 de agosto. A medida que aumentaba su convección, se movió por el Atlántico tropical central-occidental, Antillas Menores, Mar Caribe central, hasta llegar a Centroamérica a las 0600 UTC del 21 de agosto como depresión tropical, a unas 40 millas al noreste de Cabo Gracias a Dios, en la frontera de Nicaragua y Honduras (Figura 8). El fortalecimiento continuo llevó a Marco a convertirse en huracán durante 6 a 12 h sobre el sureste del Golfo de México el 23 de agosto, con una intensidad máxima de 65 nudos. El centro pasó justo al sur de la desembocadura del río Mississippi alrededor de las 0000 UTC del 25 de agosto, y poco después, Marco se debilitó hasta convertirse en una depresión (Beven II & Berg, 2021). Múltiples observaciones incluyeron estimaciones de satélites como TAFB, AMSU, ASCAT, DMSP y SATCON, así como observaciones de sonda de

viento del 53° Escuadrón de Reconocimiento de las Reservas de la Fuerza Aérea de Estados Unidos. La precipitación total máxima reportada fue de 13.17 pulgadas (334.5 mm) en Florida. (Beven II & Berg, 2021). El 22 de agosto, la Dirección del Observatorio Ambiental (DOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) informó que el territorio salvadoreño podría verse influenciado por incremento de la lluvia de moderada a fuerte intensidad, tipo temporal, con énfasis en la costa del país y la cordillera volcánica. Además, debido a la humedad acumulada en el suelo, árboles y vallas podrían caerse en los municipios de Metapán, Citalá, San Ignacio, Santa Tecla, Antigua Cuscatlán, Colón, San Salvador, Ciudad Delgado, Ilopango, Mejicanos, Soyapango, Arambala y Perquín (Galdamez N., 2020).

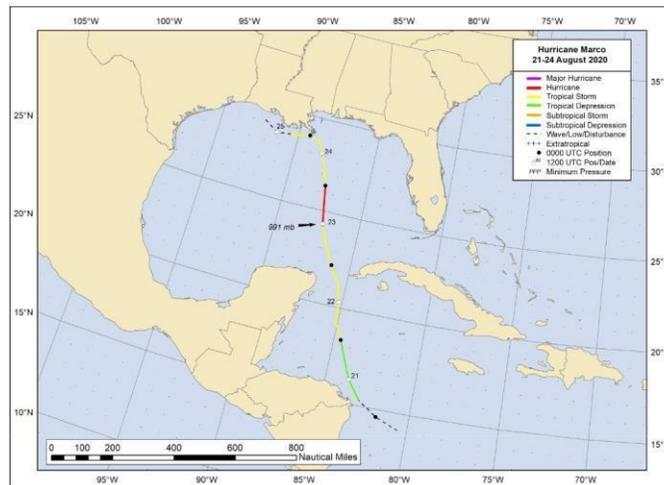


Figura 8: Mejores posiciones del recorrido del Huracán Marco, 21-25 de agosto, 2020.
Fuente: (Beven II & Berg, 2021)

- **Huracán Nana – 1-3 de septiembre, 2020**

Nana se formó a partir de una onda tropical que partió de la costa occidental de África el 23 de agosto. La onda se movió rápidamente hacia el oeste a través del Atlántico tropical durante los siguientes días, llegando a las Antillas Menores el 30 de agosto. Después de una breve disminución a principios del 31 de agosto, la convección profunda se volvió a desarrollar y se concentró bastante cerca del centro de circulación de nivel medio más tarde ese día. A las 0600 UTC del 1 de septiembre, el sistema se convirtió en ciclón tropical cuando se encontraba a unas 155 millas

náuticas al sureste de Kingston, Jamaica, produciendo vientos con fuerza de tormenta (Figura 9). Nana se movió inicialmente hacia el oeste-noroeste al sur de un puente subtropical que se extendía desde el Atlántico occidental a través de Florida. Nana se fortaleció y alcanzó una intensidad de 65 nudos el 3 de septiembre, cuando se encontraba a unas 45 millas náuticas al sur de la ciudad de Belice. Nana continuó moviéndose hacia el oeste-suroeste y el ciclón se debilitó rápidamente después de tocar tierra. El centro de la tormenta tropical se movió sobre Guatemala a las 1200 UTC del 3 de septiembre, y se convirtió en depresión tropical cerca de la frontera entre Guatemala y México a las 1800 UTC de ese día, disipándose sobre el terreno montañoso del oeste de Guatemala poco después (Brown D. P., Hurricane Nana Report, 2020). Múltiples observaciones incluyeron estimaciones de satélites como TAFB, SAB y SATCON, así como observaciones de sonda de viento del 53° Escuadrón de Reconocimiento de las Reservas de la Fuerza Aérea de Estados Unidos. Fuertes lluvias ocurrieron en Guatemala y el sureste de México. En Guatemala, se reportaron de 5 a 7 pulgadas (127 a 178 mm) de lluvia cerca de la costa del Pacífico de ese país cuando el centro de Nana pasaba al noroeste de esa área. Los totales máximos de precipitación en Guatemala fueron de 7.2 pulgadas (183 mm) en Trinidad, 6.22 pulgadas en (158.1 mm) en el Ingenio Concepción y 5.84 pulgadas en (148.4 mm) en la Costa Brava. (Brown D. P., Hurricane Nana Report, 2020). En cuanto a lluvias en el territorio salvadoreño, la Dirección del Observatorio Ambiental (DOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) informó se tendrían tormentas aisladas y dispersas, al norte del territorio nacional con énfasis en zonas altas y montañosas de la zona norte y que cuando ingresara a Belice, perdería fuerza (Galdamez, Hernández, & DOA-MARN, 2020).

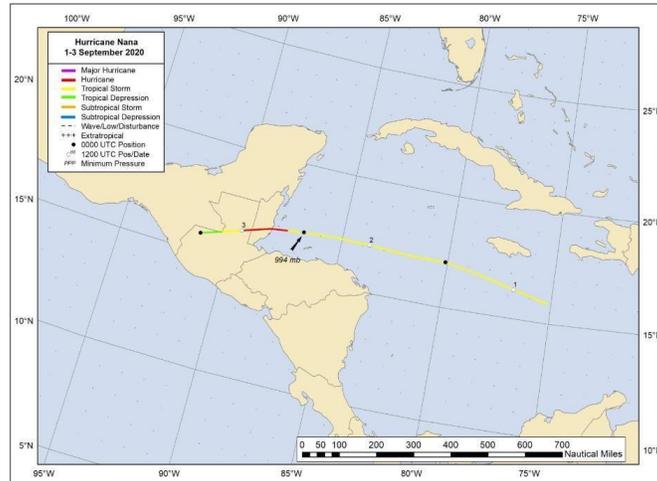


Figura 9: Mejores posiciones del recorrido del Huracán Nana, 1-3 de septiembre, 2020. Fuente: (Brown D. P., Hurricane Nana Report, 2020)

- **Huracán Gamma – 2-6 de octubre, 2020**

Gamma se formó a partir de una onda tropical que partió de la costa occidental de África el 21 de septiembre. La onda se movió hacia el oeste a través del Atlántico tropical oriental y central durante los próximos días con convección limitada. La onda se acercó a las Antillas Menores y Caribe. A principios del 2 de octubre, las imágenes de satélite indicaron que se había desarrollado un área de baja presión en la superficie y, poco tiempo después, la convección se organizó lo suficiente, lo que resultó en la formación de una depresión tropical a las 0600 UTC de ese día a unas 260 millas náuticas al sureste de Cozumel, México (Latto, 2021). El patrón de nubes de la depresión mejoró a lo largo del día, y los datos de reconocimiento de aeronaves indicaron que el sistema se fortaleció y se convirtió en una tormenta tropical a las 1800 UTC cuando estaba centrado a unas 120 millas náuticas al sureste de Cozumel. Cuando Gamma tocó tierra cerca de Tulum, México, en la península de Yucatán a las 1645 UTC del 3 de octubre, había alcanzado su intensidad máxima de 65 nudos. El huracán se debilitó rápidamente a tormenta tropical después de tocar tierra, pero debido a una vaguada en el sureste de Estados Unidos, Gamma alcanzó su segundo pico superior de 55 nudos a las 1800 UTC del día 4. Gamma se disipó a las 1800 UTC del 6 de octubre sobre la Península de Yucatán (Figura 10) (Latto, 2021). Múltiples observaciones incluyeron estimaciones

de satélites como TAFB, SAB, ASCAT y SATCON, así como observaciones de sonda de viento del 53° Escuadrón de Reconocimiento de las Reservas de la Fuerza Aérea de Estados Unidos. La precipitación máxima se registró en Cozumel, México, de 15.11 pulgadas, o sea 383.8 mm (Latto, 2021). La Dirección del Observatorio Ambiental (DOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) pronosticaba que los daños de Gamma en El Salvador serían menores, sin interrumpir actividades cotidianas, con tormentas moderadas a fuertes en los siguientes municipios: San Francisco Gotera, Perquín, Jiquilisco, Puerto El Triunfo, San Miguel, Chirilagua, La Unión y Conchagua (Pichinte & DOA-MARN, 2020).

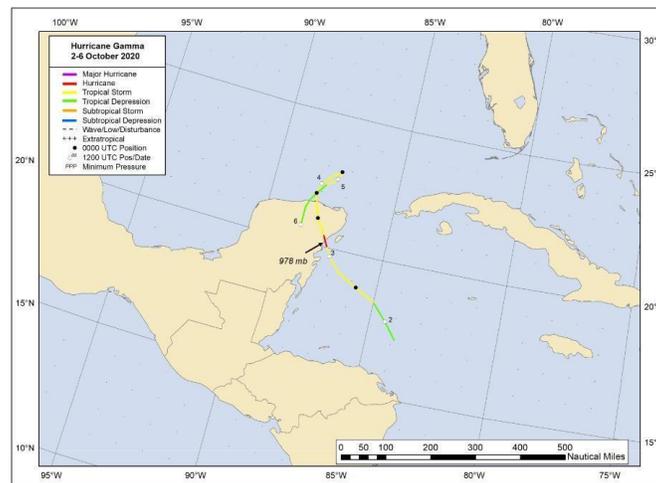


Figura 10: Mejores posiciones del recorrido del Huracán Gamma, 2-6 de octubre, 2020. Fuente: (Latto, 2021)

- **Huracán Delta – 4-10 de octubre, 2020**

Delta inició con una onda tropical que se movió frente a la costa occidental de África el 26 de septiembre. Las lluvias y tormentas eléctricas comenzaron a aumentar cuando se acercó a los 50° W de longitud el 30 de septiembre. La onda tropical cruzó las Antillas Menores el 1 de octubre y luego entró en el este del Mar Caribe. Imágenes satelitales indicaron que se formó un centro de circulación a las 1800 UTC del 4 de octubre, marcando la formación de una depresión tropical a unas 90 millas náuticas al sur de Kingston, Jamaica (Figura 11). Delta alcanzó la mayor intensidad de huracán a las 1200 UTC del 6 de octubre, y alcanzó su primer pico de intensidad como huracán de categoría 4 con vientos máximos de 120 nudos a las 1800 UTC ese día cuando se centró a unas 175 millas náuticas al sur de la Isla de la Juventud,

Cuba (Cangialosi & Berg, 2021). Múltiples observaciones incluyeron estimaciones de satélites como TAFB, SAB, ASCAT, DMSP y SATCON, así como observaciones de sonda de viento del 53° Escuadrón de Reconocimiento de las Reservas de la Fuerza Aérea de Estados Unidos. Delta produjo precipitaciones máximas de 8 pulgadas (203.2 mm) en porciones del norte de la Península de Yucatán. En Estados Unidos, las lluvias más intensas cayeron principalmente en el suroeste y centro de Luisiana, con rangos desde 15 hasta 20 pulgadas (381 mm – 508 mm). En particular, LeBleu Settlement, Luisiana, registró 17.57 pulgadas (446.28 mm), donde ocurrieron inundaciones significativas (Cangialosi & Berg, 2021). En El Salvador, las lluvias de Delta ocurrieron de manera indirecta, siendo más bien potenciadas por la zona de convergencia intertropical. La Dirección del Observatorio Ambiental (DOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) informó sobre probabilidad de caída de árboles en la zona norte y cordillera del país, debido a la humedad del suelo por tormentas moderadas a fuertes desde el día 6 hasta 9 de octubre (De la O Reyes, Galdamez, Pichinte, Vanegas, & DOA-MARN, 2020).

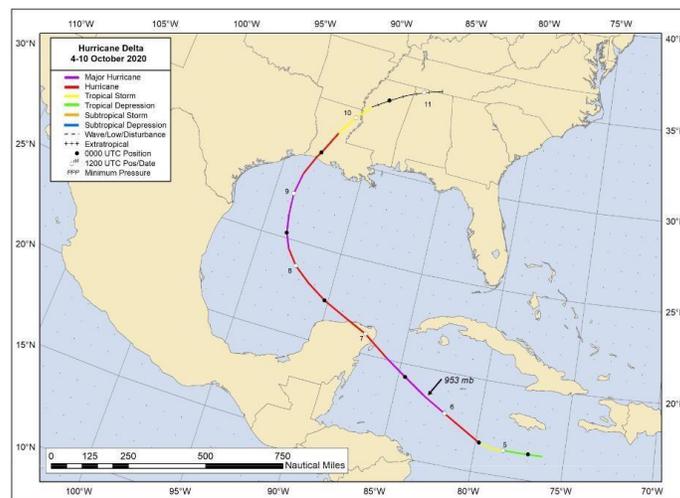


Figura 11: Mejores posiciones del recorrido del Huracán Delta, 4-10 de octubre, 2020.
Fuente: (Cangialosi & Berg, 2021)

- **Huracán Zeta – 24-29 de octubre, 2020**

Se desarrolló sobre el sudoeste del Mar Caribe el 19 de octubre debido a la combinación de una onda tropical y una vaguada de nivel medio. En ese momento, la onda tropical original se había movido cerca de la Península de Yucatán con una amplia zona acompañante de baja presión observada en las imágenes de satélite. Después de que la convección profunda aumentara, los datos de satélite indican que se formó un mínimo a las 1200 UTC del 24 de octubre (Figura 12). Zeta se convirtió en huracán a principios del 26 de octubre. Tocó tierra cerca de Ciudad Chemuyil, México alrededor de las 0355 UTC del 27 de octubre con una intensidad estimada de 75 nudos y 977 milibares. Zeta se debilitó sobre la península de Yucatán, pero volvió a convertirse en huracán a principios del 28 de octubre mientras avanzaba más rápido sobre el Golfo de México. Zeta se debilitó a una tormenta tropical justo al sur de Tuscaloosa, Alabama, a principios del 29 de octubre y luego corrió hacia el noreste a través del norte de Georgia y el sur de los Apalaches. Zeta se entrelazó con una zona frontal a principios del 30 de octubre y luego se disipó sobre el Océano Atlántico occidental (Blake, Berg, & Hagen, 2021). Múltiples observaciones incluyeron estimaciones de satélites como TAFB, SAB, ASCAT, DMSP y SATCON, así como observaciones de sonda de viento del 53° Escuadrón de Reconocimiento de las Reservas de la Fuerza Aérea de Estados Unidos. Se estima que Zeta produjo hasta 10 pulgadas (255 mm) de lluvia en la Península de Yucatán, con un máximo total de 9.57 pulgadas (243 mm) en Cozumel, México (Blake, Berg, & Hagen, 2021). En El Salvador, Zeta ejerció un impacto indirecto en las precipitaciones, ya que más que todo se recibió influencia de la Zona Convergente Intertropical. La Dirección del Observatorio Ambiental (DOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) informó sobre lluvias moderadas a fuertes, principalmente en la cordillera volcánica y franja norte del territorio (González, Soriano, & DOA-MARN, 2020).

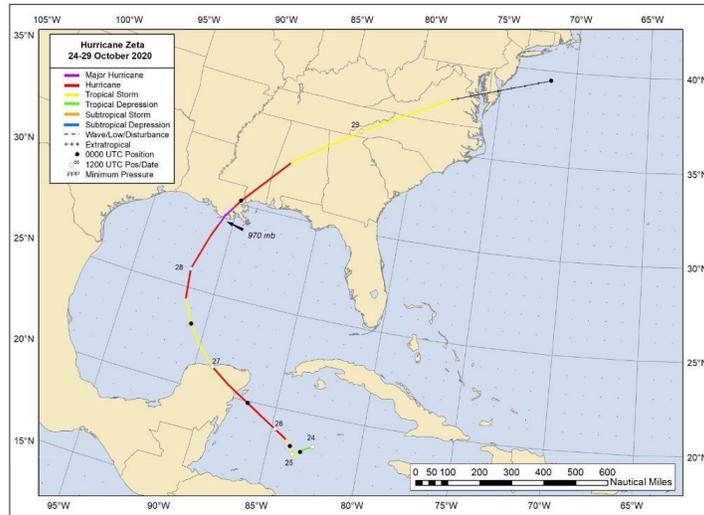


Figura 12: Mejores posiciones del recorrido del Huracán Zeta, 24-29 de octubre, 2020.
Fuente: (Blake, Berg, & Hagen, 2021)

- **Tormenta tropical Eta – 31 de octubre – 13 de noviembre, 2020**

Eta inició como un área de baja presión en el suroeste del Caribe el día 28 de octubre de 2020, estableciéndose como onda tropical hasta el 30 de octubre a las 1600 UTC en el este del Caribe. El día 31 la depresión tropical se convierte en tormenta tropical ETA y se emiten anuncios de vigilancia para la costa noroeste de Nicaragua y Honduras, continuando con precipitaciones desde 10 a 25 pulgadas para el triángulo norte de Centroamérica (Brown, Reinhart, & Berg, 2020). El día 2 de noviembre ETA se convierte en huracán mayor (Brown D. P., Hurricane Eta Intermediate Advisory Number 8A, 2020), pero fue hasta el día 3 que alcanzó vientos sostenidos máximos hasta de 122 nudos con una presión mínima central de 940 milibares. Los datos satelitales indicaban que Eta continuaba fortaleciéndose rápidamente y se pronosticaban lluvias de hasta 255 mm sobre El Salvador (Brown D. P., Hurricane Eta Intermediate Advisory Number 12A, 2020). A medida que se movía al este, las condiciones extremas disminuían, hasta convertirse nuevamente en tormenta tropical. Tras pasar por Cuba, se dirigió al sur de Florida, donde se vuelve una extratropical baja de 45 mph y 1004 milibares el día 13 de noviembre (Figura 13) (Beven, Post-Tropical Cyclone Eta Advisory Number 52, 2020). Múltiples observaciones incluyeron estimaciones de satélites como TAFB, SAB y SATCON,

así como observaciones de sonda de viento del 53° Escuadrón de Reconocimiento de las Reservas de la Fuerza Aérea de Estados Unidos. En El Salvador, la Dirección del Observatorio Ambiental (DOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) informó desde el día 31 sobre el impacto de ETA, el cual resultaría menor que en países vecinos, pero aun así había probabilidades de deslaves, con lluvias moderadas a fuertes (González R., 2020).



Figura 13: Mejores posiciones del recorrido del Huracán ETA, 31 de octubre a 12 de noviembre. Cortesía de The Weather Channel.

- **Huracán Iota – 13-18 de noviembre, 2020**

Justo después de ETA, Iota llegó nuevamente a Centroamérica, convirtiéndose en un huracán de categoría 4. Las inundaciones, exacerbadas por las condiciones de inundación, resultaron en 67 muertes y 41 personas desaparecidas en partes de Centroamérica (Stewart, 2021). Inició como una onda tropical de baja latitud que se movió frente a las costas de África el 30 de octubre. A principios de noviembre, una pronunciada marejada de viento trans-ecuatorial del dirigido la onda tropical hacia el noroeste a través de Guyana. Después de girar hacia el oeste, la onda comenzó a interactuar con el Océano Atlántico central y suroeste, lo que provocó un fuerte aumento tanto en la profundidad como en la cobertura de área de la zona asociada. El día, la convección aumentó mientras la onda giraba inusualmente hacia el oeste-suroeste, lo que resultó en el desarrollo de un amplio sistema de baja presión a las 1200 UTC de ese día centrado sobre el Caribe. La

depresión continuó fortaleciéndose, convirtiéndose en tormenta tropical 6 horas después (Figura 14). Durante el período desde las 1800 UTC del 14 de noviembre hasta las 1200 UTC del 16 de noviembre, los datos satelitales indicaron que Iota se fortaleció hasta su intensidad máxima de 135 nudos y 80 milibares. Sin embargo, se debilitó gradualmente debido al paso de la estela relativamente fría creada por el huracán Eta casi dos semanas antes. El huracán tocó tierra con una intensidad de 125 nudos alrededor de las 0340 UTC del 17 de noviembre a lo largo de la costa oriental de Nicaragua. Poco después de tocar tierra, Iota giró hacia el oeste y se debilitó rápidamente sobre el terreno montañoso de Nicaragua, convirtiéndose en una tormenta tropical a las 1800 UTC de ese día mientras se encontraba entre Honduras y Nicaragua. Finalmente, Iota se disipó sobre el oeste de El Salvador a las 1800 UTC del 18 de noviembre (Stewart, 2021). Múltiples observaciones incluyeron estimaciones de satélites como TAFB, SAB, ASCAT y SATCON, así como observaciones de sonda de viento del 53° Escuadrón de Reconocimiento de las Reservas de la Fuerza Aérea de Estados Unidos (Stewart, 2021). En El Salvador, se registraron precipitaciones máximas en los siguientes sitios: Las Pilas, 168 mm; Volcán San Miguel, 137 mm; Los Naranjos, 95.2 mm (Figura 15). Además, debido a que la parte sur de la circulación de Iota aprovechó la humedad se produjeron fuertes lluvias e inundaciones, que resultaron en dos muertes y daños significativos a la agricultura en el país (Stewart, 2021).

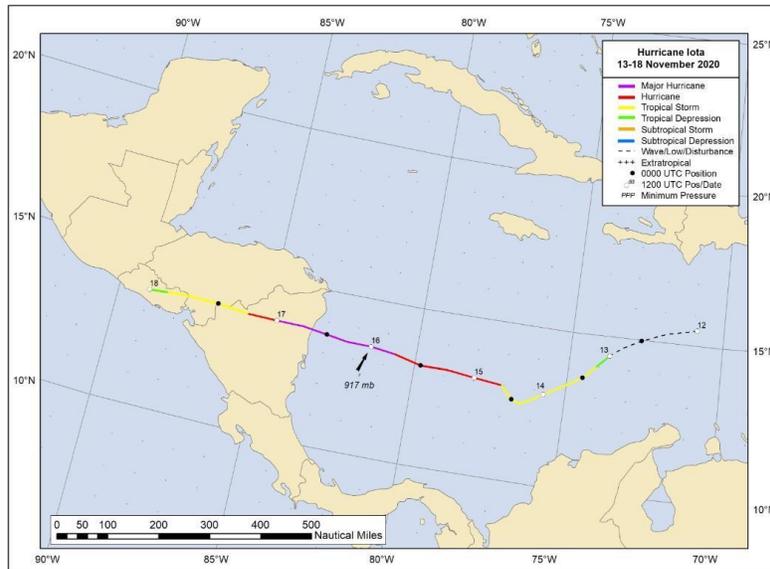


Figura 14: Mejores posiciones del recorrido del Huracán ETA, 13-18 de noviembre, 2020. Fuente: (Stewart, 2021)

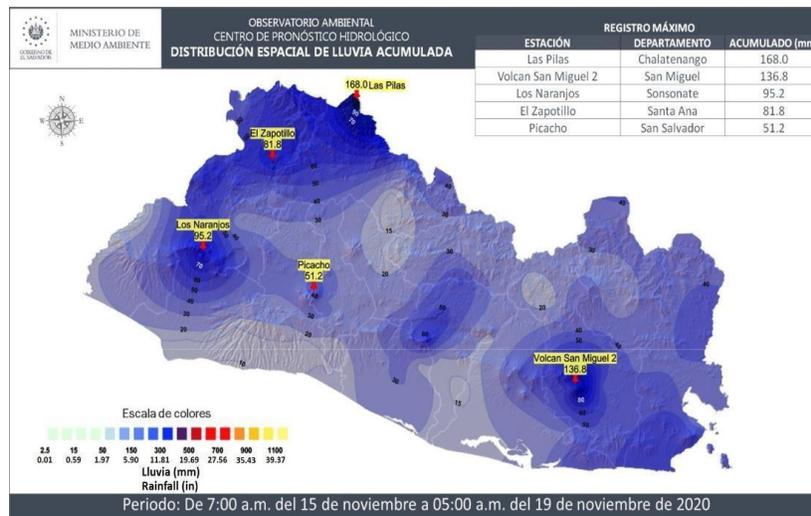


Figura 15: Total de precipitaciones en El Salvador asociadas con el huracán Iota durante el periodo del 15 al 19 de noviembre de 2020. Cortesía del Centro de Pronóstico Hidrológico de El Salvador.

2.2.3.2 Principales eventos con influencia en El Salvador durante la temporada de huracanes del Pacífico del 2020.

- **Depresión tropical Uno-E – 25-26 de abril, 2020**

La Depresión Tropical Uno-E fue una perturbación que se desarrolló por la Zona de Convergencia Intertropical a millas al sur de las costas de El Salvador y Guatemala el 17 de abril. Los datos satelitales indican que el sistema desarrolló un centro definido y una convección profunda a las 0600 UTC del 25 de abril para marcar la formación de una depresión tropical. Se movió hacia el noroeste, pero se perdió la organización en breve después de las 0000 UTC del 26 de abril. La baja remanente se volvió hacia el oeste a principios del 27 de abril, y se abrió en una depresión a las 1800 UTC de ese día (Figura 16) (Cangialosi J. P., 2020). Múltiples observaciones incluyeron estimaciones de satélites como TAFB, ASCAT y DMSP (Cangialosi J. P., 2020). En El Salvador, causó lluvias aisladas moderadas.

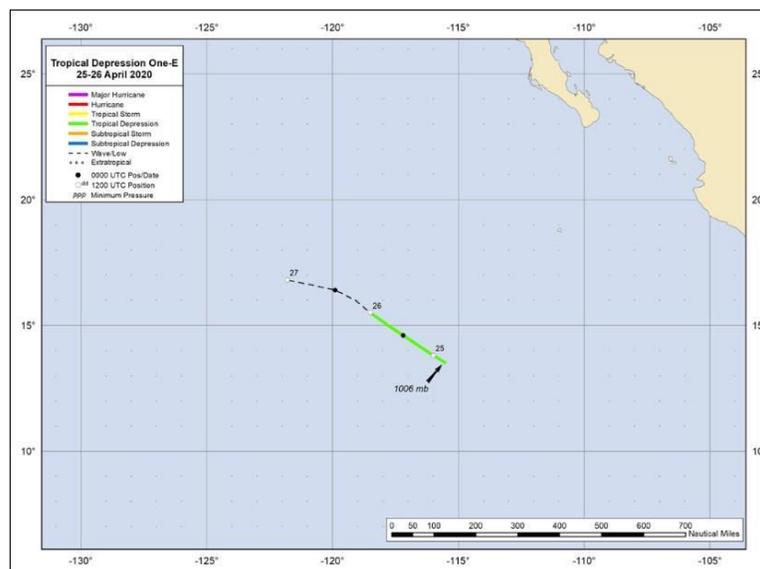


Figura 16: Mejores posiciones del recorrido de Depresión Tropical 1-E, 25-26 de abril, 2020.
Fuente: (Cangialosi J. P., 2020)

- **Tormenta tropical Amanda – 30-31 de mayo, 2020**

Amanda es la segunda tormenta tropical conocida que toca tierra a lo largo de la costa del Pacífico de Guatemala, después de la tormenta tropical Agatha de 2010. Junto con un sistema meteorológico más grande sobre América Central y la

tormenta tropical Cristóbal sobre la bahía de Campeche, Amanda produjo lluvias significativas e inundaciones en partes de América Central y el sureste de México, lo que resultó en 40 muertes en El Salvador, Guatemala y Honduras (Figura 17) (Berg, Tropical Storm Amanda Report, 2020). Múltiples observaciones incluyeron estimaciones de satélites como TAFB, ASCAT y DMSP (Berg, Tropical Storm Amanda Report, 2020). El Salvador, algunas de las precipitaciones más importantes se produjeron cerca de la cadena volcánica costera, donde se registraron más de 750 mm en varias estaciones. Durante Amanda, se reportaron totales máximos de precipitación de 576.7 mm y 519.0 mm en Volcán Conchagua y Volcán de San Miguel, respectivamente. Las respectivas precipitaciones máximas totales medidas en estos sitios durante todo el período de nueve días fueron 1087.1 mm y 979.8 mm. Se midió un total de 796.7 mm en el Aeropuerto Internacional de Ilopango (Berg, Tropical Storm Amanda Report, 2020). Las acumulaciones de lluvia más importantes en Guatemala también ocurrieron cerca de la costa del Pacífico y la cadena volcánica costera. Amanda produjo una precipitación máxima total de 11.8 pulgadas (299.7 mm) en Jutiapa, en la parte sureste del país, del 30 al 31 de mayo, y la ciudad también registró un total de siete días de 26.48 pulgadas (672.5 mm) del 30 de mayo al 5 de junio. En Honduras, la precipitación máxima registrada durante Amanda fue de 4.06 pulgadas (103.2 mm) en Erandique. Más de 10 pulgadas (250 mm) ocurrieron entre el 29 de mayo y el 7 de junio en sitios en la parte suroeste del país a lo largo de las montañas de la Sierra Madre en la frontera con El Salvador. Los totales máximos fueron 13.73 pulgadas (348.7 mm) en Sabana Grande y 12.74 pulgadas (323.6 mm) en Caridad (Berg, Tropical Storm Amanda Report, 2020). Después del Huracán Mitch en 1998, Amanda se considera el segundo evento meteorológico más devastador, ya que más de 119,000 personas fueron afectadas. Más de 12,000 personas buscaron refugio mientras era un momento crítico de la pandemia COVID-19. Se reportaron casi 700 deslizamientos de tierra en todo el país, que, junto con las inundaciones, dañaron o destruyeron 3,000 viviendas y restringieron o cerraron el acceso a 19 rutas de tráfico. Más de 3,000 hectáreas de cultivos, el 92% de las cuales eran maíz, se dañaron o se perdieron. Además, se estiman daños por un valor de 200 millones de dólares (UNICEF, 2020).

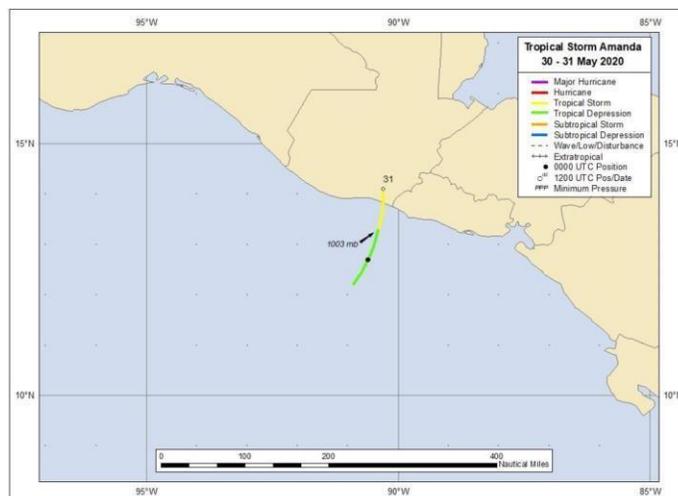


Figura 17: Mejores posiciones del recorrido de la Tormenta Tropical Amanda, 30-31 de mayo, 2020.

Fuente: (Berg, Tropical Storm Amanda Report, 2020)

2.2.4 Relación entre afectaciones y zonas de susceptibilidad a inundaciones y deslizamientos en El Salvador.

En la región salvadoreña, al estar expuesta a eventos meteorológicos extremos e intensos, el suelo es vulnerable a acumular un alto nivel de humedad, ocasionando así deslaves e inundaciones en las zonas más susceptibles del país. La susceptibilidad de un área geográfica depende de mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico (Soldano, 2009). El Salvador está rodeado por el Océano Pacífico al sur y en su territorio se encuentra una cadena montañosa al norte y una cadena volcánica al centro. (MARN, 2018) clasifica la susceptibilidad a inundaciones en El Salvador de la siguiente manera: Moderada, en los departamentos Ahuachapán, Sonsonate, La Libertad, La Paz, San Vicente, Usulután. Asimismo, se indica que el Lago de Güija y Embalse 15 de septiembre tienen una susceptibilidad moderada a inundaciones (Figura 18). Existe una susceptibilidad alta a inundaciones en la zona costera de Ahuachapán, Sonsonate, La Libertad, La Paz, San Vicente y Usulután, así como regiones aisladas de los anteriormente mencionados. En el departamento de San Salvador también existe una susceptibilidad alta a inundaciones, pero únicamente en áreas cercanas al Lago de Ilopango. Es importante mencionar que gran parte de los departamentos con susceptibilidad más alta a inundaciones en sus zonas costeras son Ahuachapán, Sonsonate, La Libertad, La Paz, Usulután y La Unión. En San Vicente y San Miguel,

áreas en los departamentos están muy sujetas a posibles inundaciones, precisamente por estar cercanas a cuerpos hídricos, como es el Embalse 15 de septiembre y Laguna de Olomega, respectivamente. En la región norte del país únicamente Santa Ana y Chalatenango están muy susceptibles a inundaciones, especialmente en áreas cercanas al Lago de Güija y Embalse Cerrón Grande. En general, los departamentos más susceptibles a inundaciones son La Paz, Usulután, La Unión y San Miguel, respectivamente.

Por otra parte, siendo igualmente relevante, es la evaluación de susceptibilidad a deslizamientos y deslaves, ya que, debido a la humedad acumulada en el suelo por precipitaciones intensas, ocurre a menudo en El Salvador. (MARN, 2018) clasifica la susceptibilidad a deslizamientos en El Salvador de la siguiente manera: Baja, Moderada, Alta y Muy Alta (Figura 19 a). Todos los departamentos tienen una susceptibilidad Moderada-Alta a deslizamientos, especialmente en la cadena montañosa norte, en los departamentos de Santa Ana, Chalatenango, Cabañas y Morazán, así como en la cadena volcánica central, en Sonsonate, La Libertad, San Salvador, La Paz, San Vicente y Usulután. Puntos de susceptibilidad muy alta a deslizamientos se encuentran en la cadena volcánica central, especialmente en Sonsonate, San Salvador, San Vicente y Usulután, y sus áreas aledañas (Figura 19 b) (MARN, 2017).

Susceptibilidad a inundaciones



Figura 18: Mapa de amenaza de inundaciones en El Salvador. Fuente: (MARN, 2018)

Susceptibilidad a deslizamientos

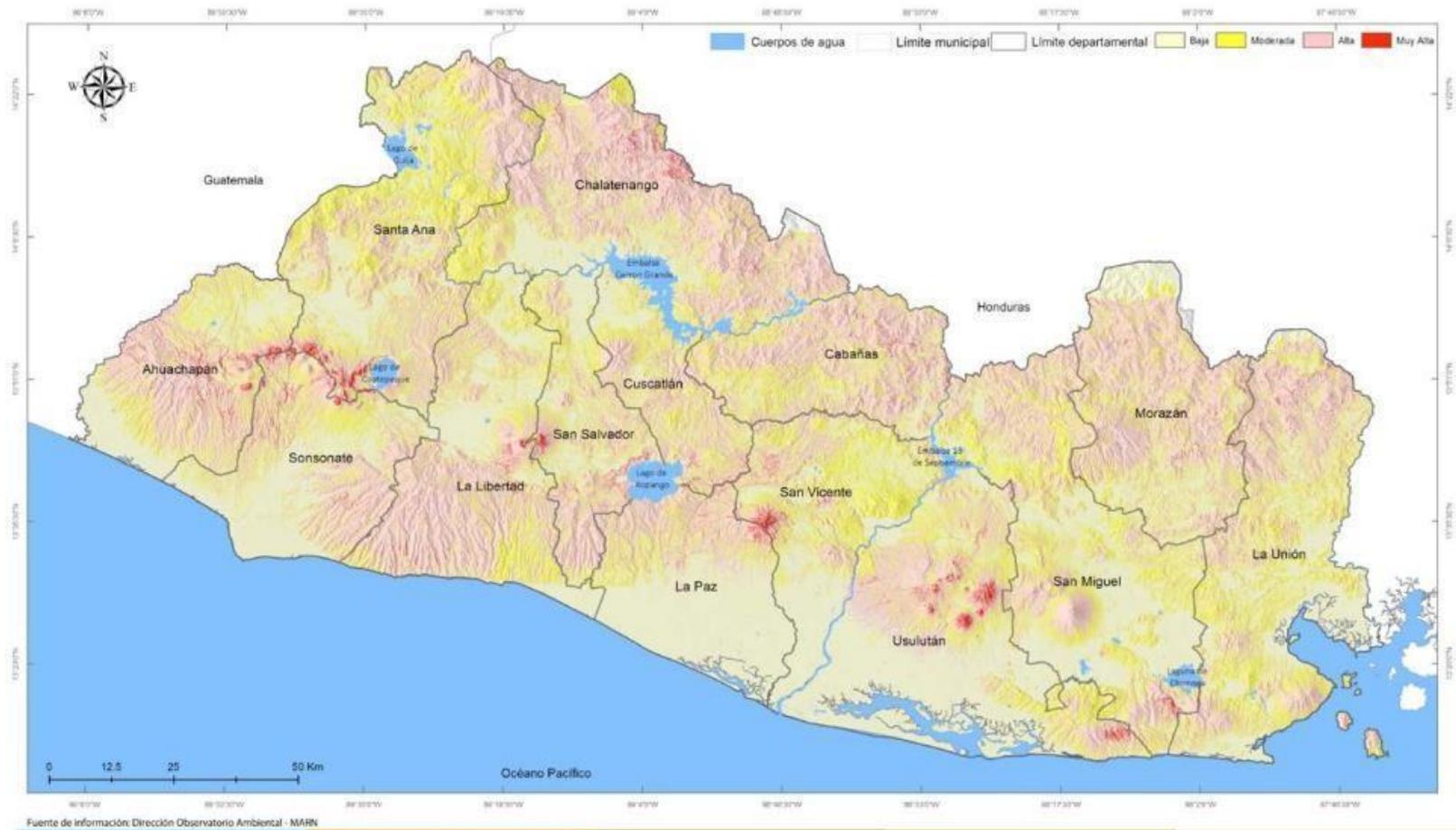


Figura 19 a: Mapa susceptibilidad a deslizamientos en El Salvador. Fuente: (MARN, 2018)



Figura 20 b: Mapa de zonas susceptibles a deslizamientos en El Salvador. Fuente: (MARN, 2017)

III. METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE ESTUDIO

Para este estudio, La investigadora ha optado por un enfoque cuantitativo, debido a que evalúa variables cuantitativas de precipitación en una región espacial durante un periodo de tiempo determinado. Tal como se expone (Hernández Sampieri, 2014), el planteamiento cuantitativo puede dirigirse para explorar fenómenos poco conocidos, así como describirlos apropiadamente. Por lo tanto, la presente investigación cuantitativa evaluará los criterios de valoración en precipitación acumulada mensual y lo explicará, a través de un análisis gráfico.

3.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES

Precipitación mensual acumulada: Representa la variable independiente en el estudio. Se refiere a la medida de precipitación acumulada, en este caso lluvia en mm, por un tiempo determinado, en este caso mensual durante doce ocasiones.

Temporalidad y espacio: Representa la variable dependiente en el estudio. Se refiere al transcurso de tiempo que la investigación recaba y evalúa datos, así como la región geográfica determinada para el estudio.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población, determinada por el dominio espacial disponible para estudio con datos provistos por CHIRPS para Centroamérica, ocurre en 23.5°N-6°N, 93°W- 57°W, con una resolución de 0.05° por 0.05°, desde enero de 1981 hasta mayo 2021, generando como productos mapas de 720 x 350 pixeles. Por otra parte, la muestra del estudio, determinada el dominio espacial seleccionada para estudio con datos provistos por CHIRPS para la República de El Salvador, ocurre en 13°N - 15°N, 88°W - 90°W, con una resolución de 0.05° por 0.05°, desde enero de 2020 hasta diciembre 2020, generando como productos mapas de 720 x 350 pixeles.

3.4 PROCEDIMIENTO Y MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se escogieron conjuntos de datos de precipitación en lluvia utilizando CHIRPS debido a que compila imágenes satelitales con alta resolución espacial

(0.05°x0.05°) así como cobertura temporal de largo plazo (desde 1981 a la actualidad) y por adecuarse a la ubicación del estudio. Además, en el presente estudio se utilizará el idioma de programación R para generar doce mapas de precipitación acumulada mensual. Esto es debido a través de la redacción y manipulación de un código (Anexo 1), la generación de mapas es sencilla, más rápida que en un programa SIG y la visualización para análisis es más amena para La investigadora. Primeramente, se cargaron todas las librerías a utilizar. Se asignaron como variables el año y mes de interés. Se descargaron los datos mensuales CHIRPS en formato .tif¹ para descomprimirlos posteriormente. Se cargó el archivo .tif descomprimido, así como la región de trabajo, que en este caso es un archivo .shp de los límites departamentales de El Salvador. Se recortó el ráster máscara (CHIRPS) en base al área de interés (shapefile de El Salvador). Finalmente, se guardó el archivo como imagen .jpeg, añadiendo detalles como altura, longitud, colores de la paleta, definición del sistema coordenado, fuente de datos y autor del mapa.

3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

En el cuarto capítulo se encuentra una descripción y resumen del análisis de la precipitación acumulada mensual del año 2020 en El Salvador. Los mapas generados muestran isoyetas de lluvia, junto con una paleta de colores desde verde claro hasta negro, indicando valores inferiores a superiores, respectivamente. A grandes rasgos es posible mencionar que el mes que presentó máximos de precipitación acumulada es junio, alcanzando 900 mm de lluvia, seguido por octubre (800 mm) y septiembre (475 mm) (Gráfico 1). Estos meses pertenecen a la estación lluviosa del país. Por otra parte, también se puede mencionar que el mes que presentó mínimos de precipitación acumulada es enero, alcanzando de 0 a 1 mm de lluvia, seguido por febrero (0-1 mm), marzo y diciembre (0-2 mm), respectivamente (Gráfico 2). Estos meses pertenecen a la estación seca del país. El departamento que recibió la mayor precipitación acumulada mensual fue Chalatenango, seguido por Santa Ana y San Salvador, respectivamente. El

¹ Enlace para descarga de datos mensuales: https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/camer-carib_monthly/tifs/

departamento que recibió la menor precipitación acumulada mensual fue Usulután, seguido por San Miguel y La Unión, respectivamente.

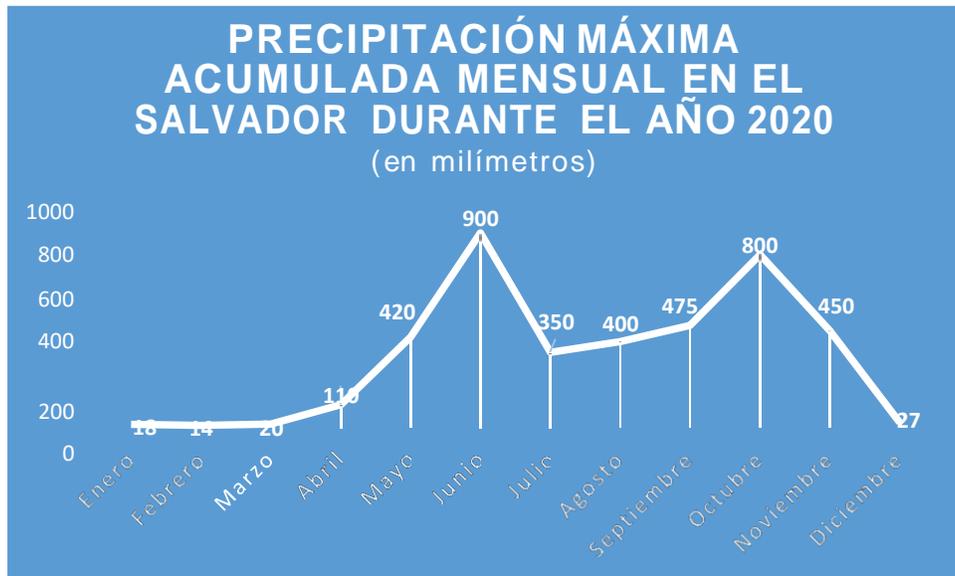


Gráfico 1: Precipitación máxima acumulada mensual en El Salvador durante el año 2020 (en milímetros).
Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.



Gráfico 2: Precipitación mínima acumulada mensual en El Salvador durante el año 2020 (en milímetros).
Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.

IV. RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA EN EL SALVADOR, ENERO DE 2020

El mes de enero es el tercer mes de la estación seca en El Salvador. Usualmente, este es el mes que presenta las condiciones más secas del año con precipitaciones diarias medias de 0 a 1 mm de lluvia (MARN, 2012). Para el año 2020, se registraron lluvias máximas acumuladas en la cadena montañosa, de aprox. 18 mm entre Chalatenango y Santa Ana, específicamente entre Citalá y Metapán. Por otra parte, se registraron lluvias mínimas acumuladas en zonas costeras de aprox. 0-1 mm, específicamente en San Francisco Menéndez (Ahuachapán), La Libertad (La Libertad), San Luis Talpa y San Luis La Herradura (La Paz), Concepción Batres, El Tránsito y Jucuarán (Usulután), San Miguel y Chirilagua (San Miguel), Intipuca, La Unión y Conchagua (La Unión) y San Francisco Gotera, Sociedad y Jocoro (Morazán) (Figura 20).

Precipitaciones CHIRPS del 01 del 2020 [mm]

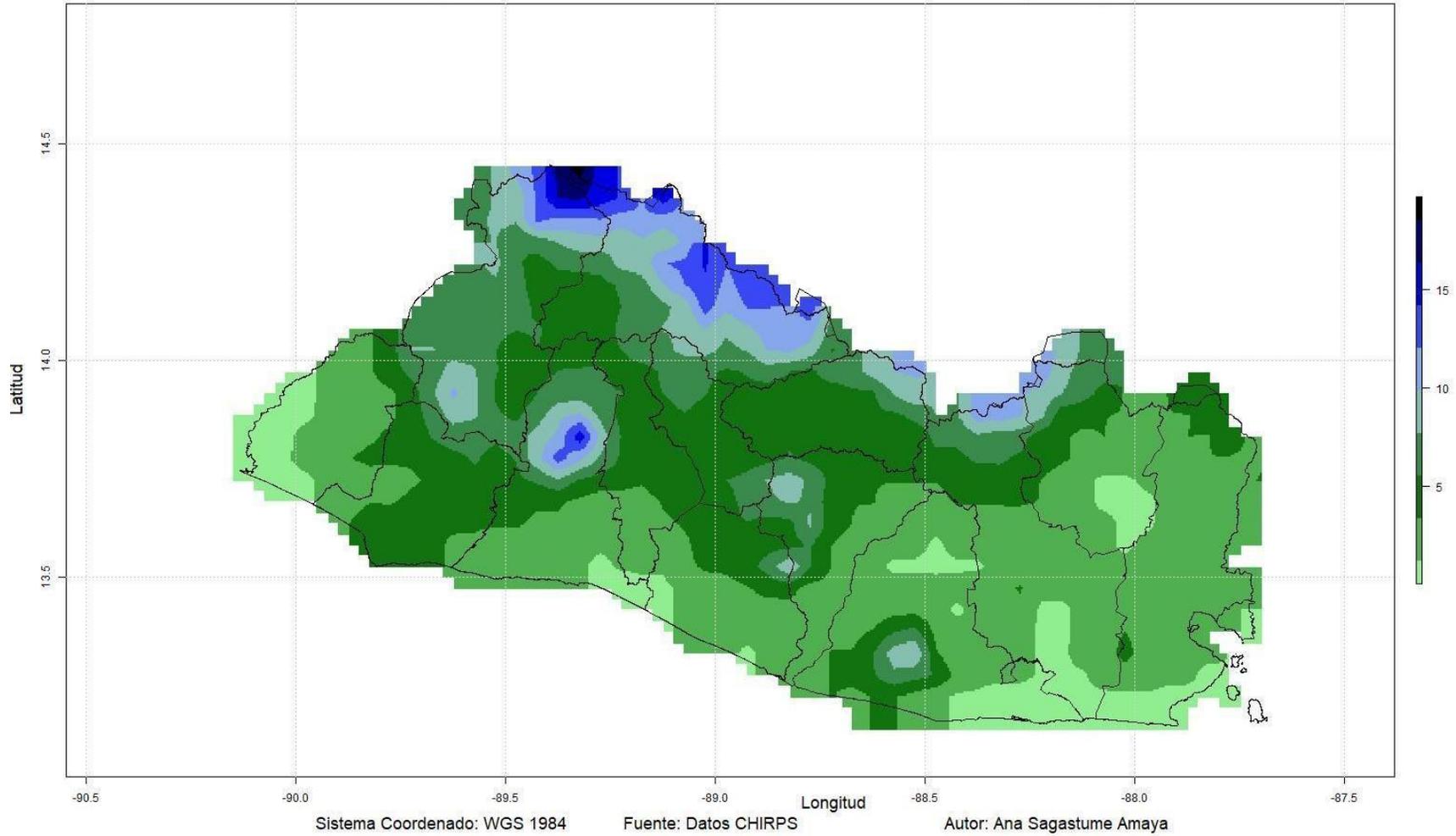


Figura 21: Precipitación acumulada en El Salvador (en milímetros), enero 2020. Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.

PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA EN EL SALVADOR, FEBRERO DE 2020

El mes de febrero es el cuarto mes de la estación seca en El Salvador. Usualmente, este es el segundo mes que presenta las condiciones más secas del año con precipitaciones diarias medias de 0 a 2 mm de lluvia (MARN, 2012). Para el año 2020, se registraron lluvias máximas acumuladas en la cadena volcánica central, de aprox. 14 mm en San Vicente, específicamente en áreas cercanas a Apastepeque. Por otra parte, se registraron lluvias mínimas acumuladas en la zona costera oriental de aprox. 0-1 mm, específicamente en Jucuarán (Usulután), San Miguel y Chirilagua (San Miguel), Intipuca, La Unión, Conchagua, San Alejo y Pasaquina (La Unión), frontera con Honduras (Figura 21).

Precipitaciones CHIRPS del 02 del 2020 [mm]

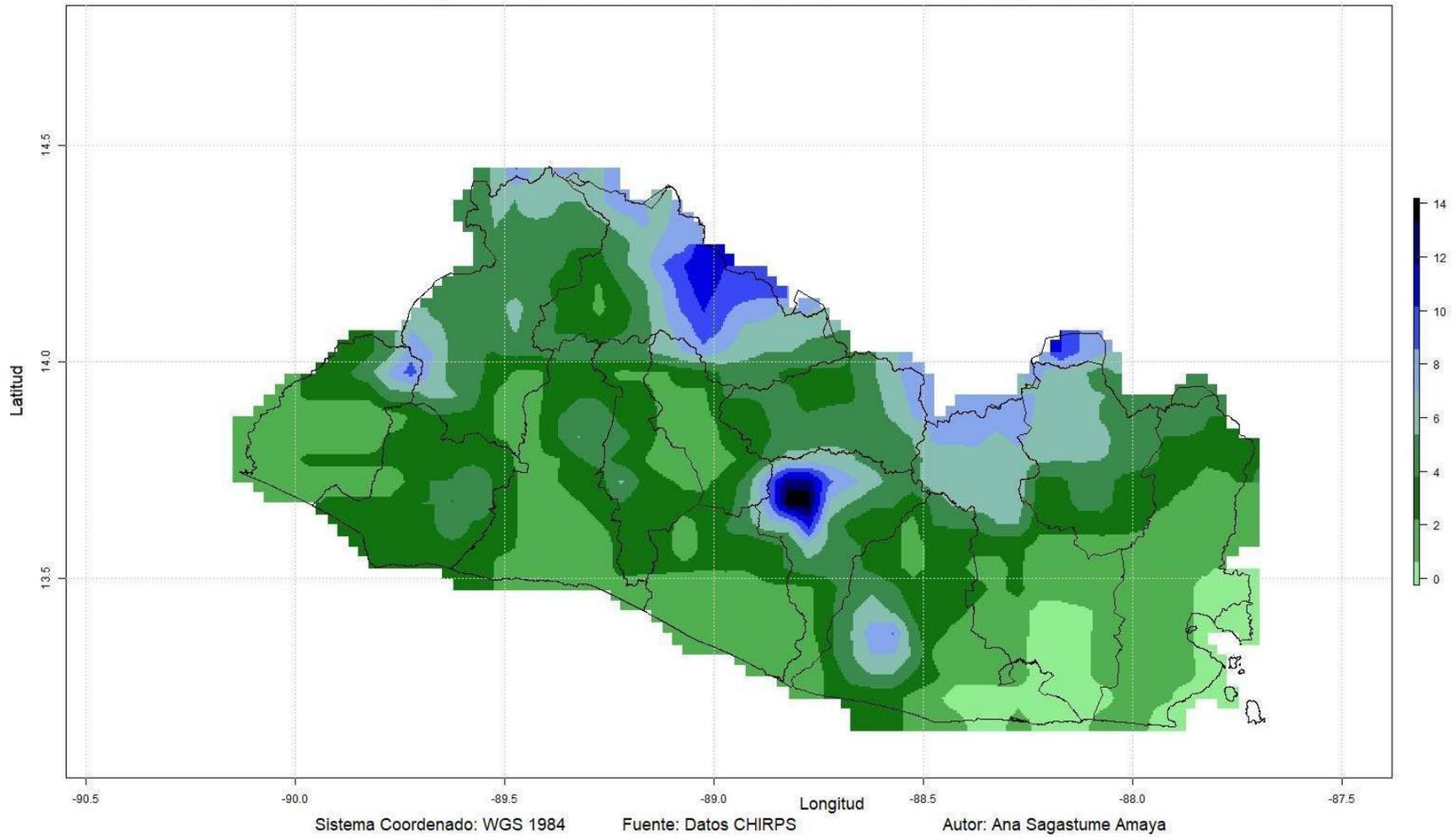


Figura 22: Precipitación acumulada en El Salvador (en milímetros), febrero 2020. Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.

PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA EN EL SALVADOR, MARZO DE 2020

El mes de marzo es el quinto mes de la estación seca en El Salvador. Usualmente, este mes presenta bajas probabilidades de lluvia, con precipitaciones diarias medias de 0 a 2 mm de lluvia (MARN, 2012). Para el año 2020, se registraron lluvias máximas acumuladas en la zona occidental-central, de aprox. 20 mm en Santa Ana y Texistepeque (Santa Ana), así como San Juan Opico (La Libertad). Por otra parte, se registraron lluvias mínimas acumuladas en la zona costera oriental de aprox. 0-2 mm, específicamente en Puerto El Triunfo, Usulután y Jucuarán (Usulután), Chirilagua (San Miguel) e Intipuca y La Unión (La Unión) (Figura 22).

Precipitaciones CHIRPS del 03 del 2020 [mm]

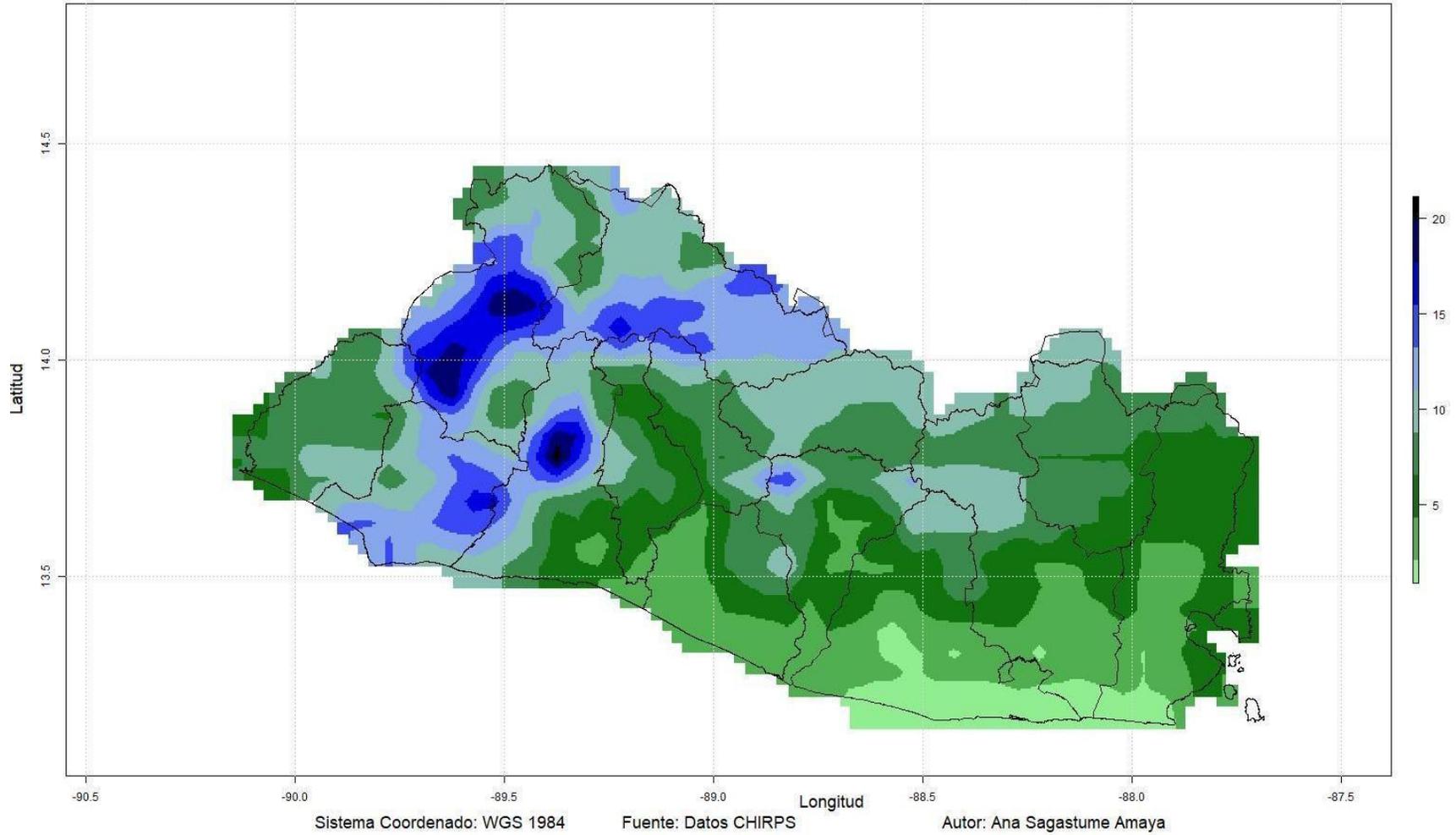


Figura 23: Precipitación acumulada en El Salvador (en milímetros), marzo 2020. Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.

PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA EN EL SALVADOR, ABRIL DE 2020

El mes de abril es el sexto mes de la estación seca en El Salvador y el único mes de transición seca a lluviosa. Usualmente, en este mes incrementan las probabilidades de lluvia, con precipitaciones diarias medias de 2 a 3 mm de lluvia (MARN, 2012). Para el año 2020, se registraron lluvias máximas acumuladas en la cadena montañosa norte, de aprox. 110 mm en Chalatenango y Santa Ana, específicamente en La Palma y Metapán. Por otra parte, se registraron lluvias mínimas acumuladas en zonas costeras de aprox. 5-10 mm, mayormente en La Unión, específicamente en Santa Rosa de Lima, El Sauce, Bolívar, San José, San Alejo, Pasaquina y La Unión (La Unión), aunque también en zonas aisladas en Concepción Batres (Usulután) y San Miguel (San Miguel) (Figura 23).

Precipitaciones CHIRPS del 04 del 2020 [mm]

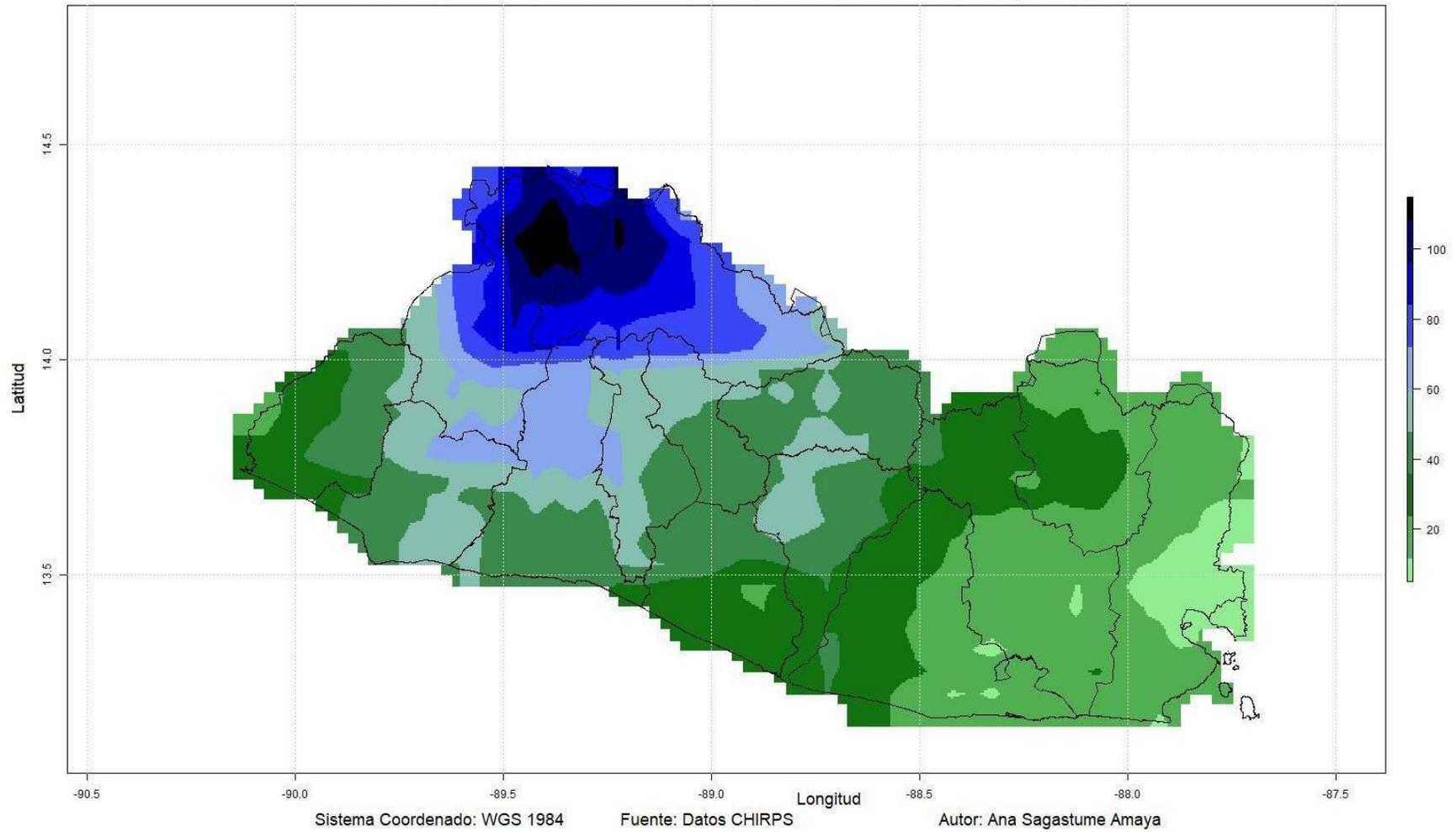


Figura 24: Precipitación acumulada en El Salvador (en milímetros), abril 2020. Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.

PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA EN EL SALVADOR, MAYO DE 2020

El mes de mayo es el primer mes de la estación lluviosa en El Salvador. Usualmente, este mes las lluvias son acompañadas de nubosidad, con precipitaciones diarias medias de 6 mm de lluvia (MARN, 2012). Para el año 2020, se registraron lluvias máximas acumuladas en la cadena volcánica central, de aprox. 420 mm en San Salvador, específicamente en zonas aledañas a Ayuxtepeque y Volcán de San Salvador. Además, se registraron lluvias acumuladas superiores a los 400 mm en múltiples puntos del país, incluyendo Suchitoto (Cuscatlán), San Ignacio (Chalatenango), Morazán y Cacaopera (Morazán) y Anamorós (La Unión). Los valores máximos de lluvia superaron el promedio climatológico debido a la presencia del temporal causado por la Tormenta Tropical Amanda en el Océano Pacífico. Por otra parte, se registraron lluvias mínimas acumuladas únicamente en Jiquilisco, Usulután, de aprox. 75 mm (Figura 24).

Precipitaciones CHIRPS del 05 del 2020 [mm]

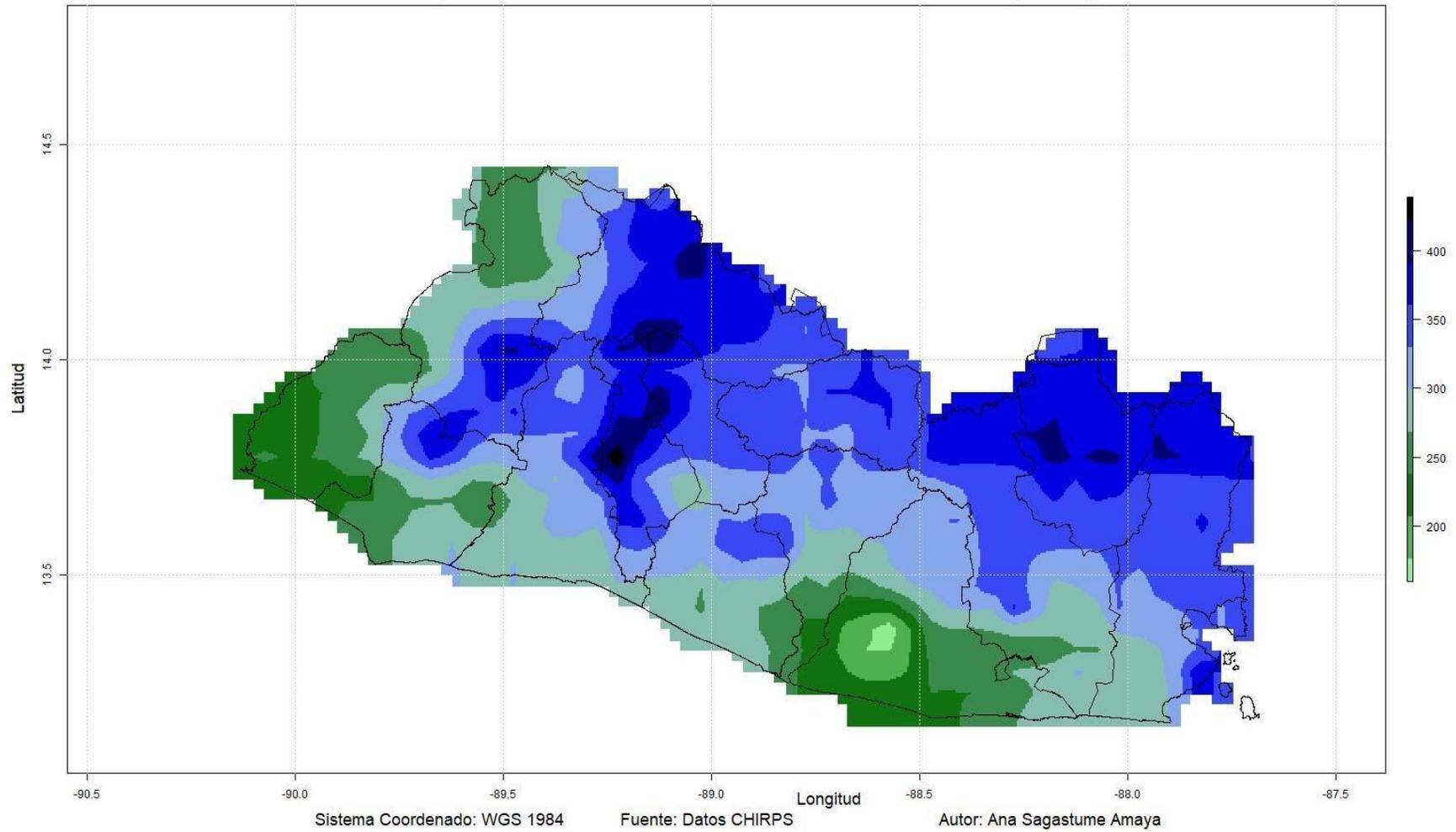


Figura 25: Precipitación acumulada en El Salvador (en milímetros), mayo 2020. Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.

PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA EN EL SALVADOR, JUNIO DE 2020

El mes de junio es el segundo mes de la estación lluviosa en El Salvador. Usualmente, este es uno de los meses más lluviosos, y debido al ambiente, se forman nubes de mayor espesor, con precipitaciones diarias medias de 8 mm de lluvia (MARN, 2012). Para el año 2020, se registraron lluvias máximas acumuladas en la frontera este con Honduras, de aprox. 900 mm en La Unión, específicamente en zonas aledañas a Pasaquina. Además, se registraron lluvias acumuladas superiores a los 600 mm en múltiples departamentos de la zona oriental del país, incluyendo Usulután, San Miguel, Morazán y La Unión. Los valores máximos de lluvia superaron el promedio climatológico debido a la presencia del temporal causado por la Tormenta Tropical Cristóbal, la cual se originó de los remanentes de Amanda en el Golfo de México. Por otra parte, se registraron lluvias mínimas acumuladas la cadena montañosa norte en los departamentos de Santa Ana, Chalatenango y Cabañas, así como también en Suchitoto (Cuscatlán), de aprox. 200 mm (Figura 25).

Precipitaciones CHIRPS del 06 del 2020 [mm]

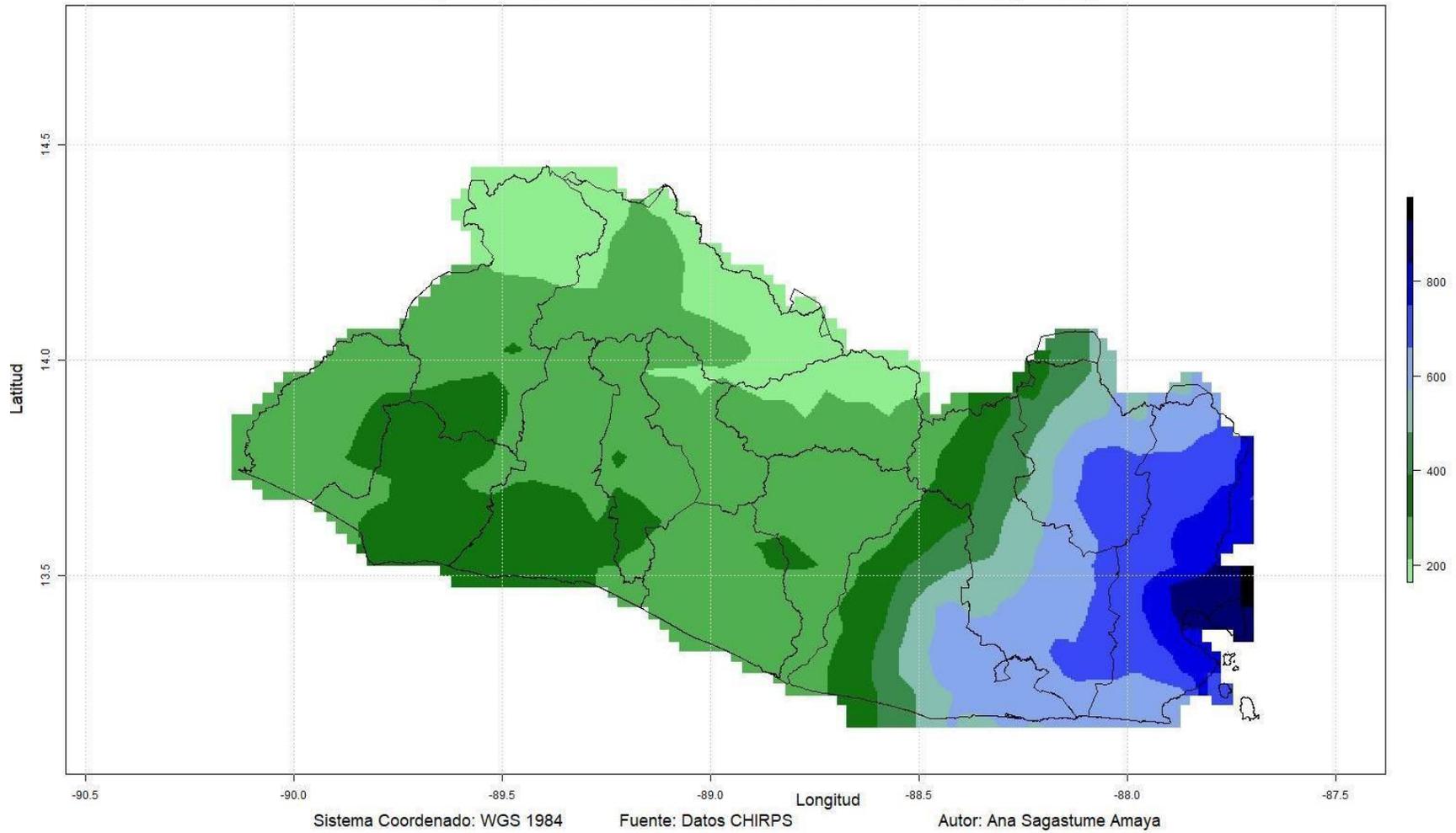


Figura 26: Precipitación acumulada en El Salvador (en milímetros), junio 2020. Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.

PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA EN EL SALVADOR, JULIO DE 2020

El mes de julio es el tercer mes de la estación lluviosa en El Salvador. Sin embargo, usualmente, en este mes existe disminución de lluvia, ocasionado por la canícula, las cuales son situaciones ocasionadas por el dominio de corrientes atmosféricas descendentes que restringe la formación de nubes productoras de lluvias y que a la vez comprimen el aire en contacto con el suelo, permitiendo el aumento de la temperatura ambiental (MARN, 2012). Por lo tanto, se espera que en julio y/o agosto se perciba un mínimo de lluvias acumuladas. En julio, las precipitaciones diarias medias son de 6-8 mm de lluvia (MARN, 2012). Para el año 2020, se registraron lluvias máximas acumuladas en puntos de la cadena montañosa, de aprox. 350 mm en San Salvador, Cuscatlán y Chalatenango, específicamente en zonas aledañas a El Paisnal, Suchitoto y El Paraíso, respectivamente. Además, se registraron lluvias acumuladas superiores a los 325 mm en los departamentos de la zona occidental, incluyendo Santa Ana, Ahuachapán y Sonsonate. Por otra parte, se registraron lluvias mínimas acumuladas la zona costera de La Paz, en los municipios de San Luis Talpa, San Pedro Masahuat y San Luis La Herradura, de aprox. 50 mm (Figura 26).

Precipitaciones CHIRPS del 07 del 2020 [mm]

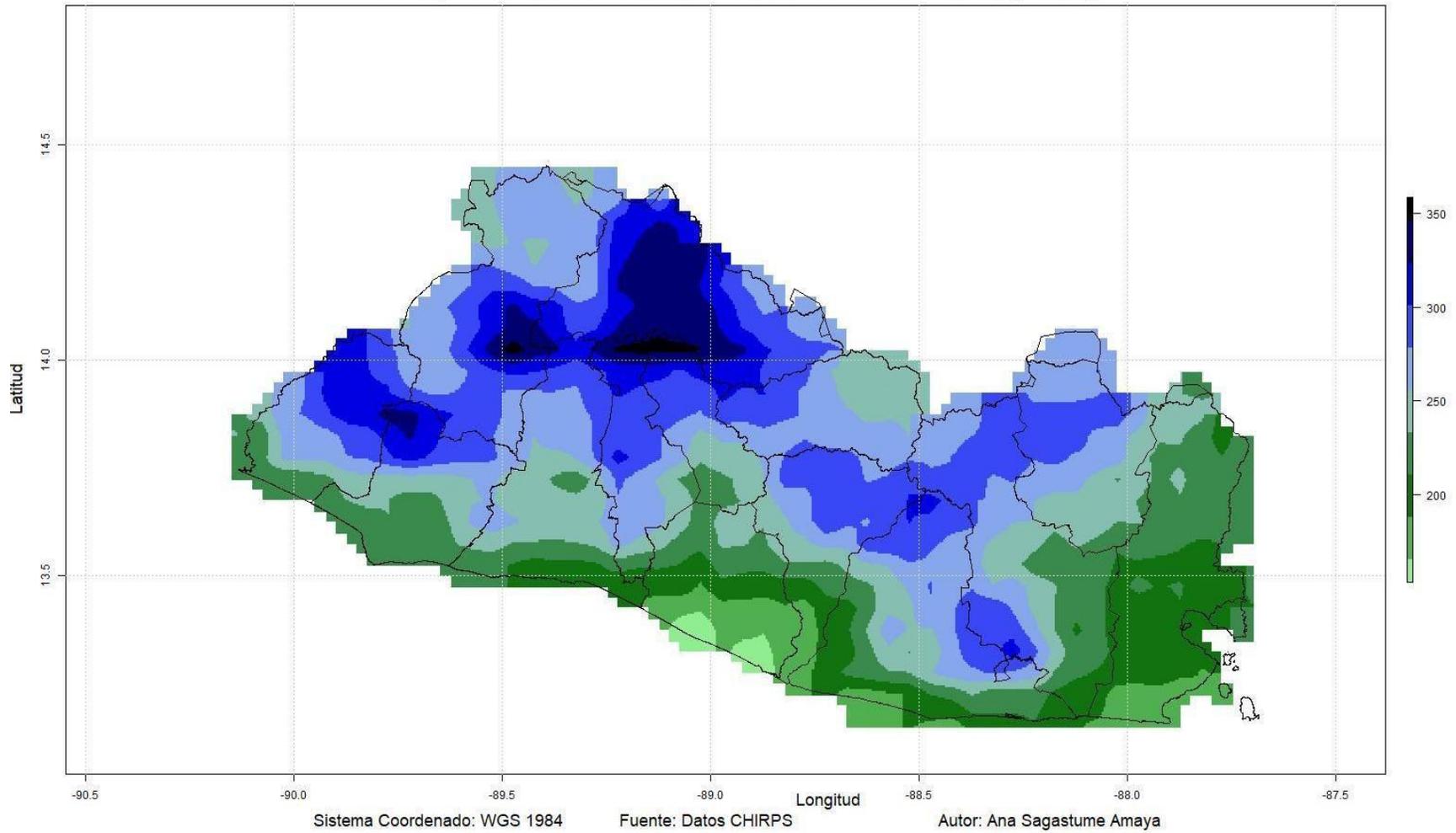


Figura 27: Precipitación acumulada en El Salvador (en milímetros), julio 2020. Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.

PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA EN EL SALVADOR, AGOSTO DE 2020

El mes de agosto es el cuarto mes de la estación lluviosa en El Salvador. Usualmente, este mes se asemeja mucho a julio. Las lluvias continúan concentrándose en horas nocturnas, dependiendo de ondas tropicales porque aún se manifiesta la canícula. En agosto, las precipitaciones diarias medias son de 8 mm de lluvia (MARN, 2012). Para el año 2020, se registraron lluvias máximas acumuladas únicamente en departamento de Usulután, de aprox. 400 mm, específicamente en zonas aledañas a Berlín, Ozatlán y Jiquilisco. Además, se registraron lluvias acumuladas superiores a los 350 mm en múltiples departamentos, incluyendo Ahuachapán, Sonsonate, La Libertad, San Salvador, La Paz, San Vicente, Usulután y San Miguel. Por otra parte, se registraron lluvias mínimas acumuladas únicamente en el departamento de Santa Ana, en los municipios de Metapán, San Antonio Pajonal, Santiago de la Frontera y Candelaria de la Frontera, de aprox. 200 mm (Figura 27).

Precipitaciones CHIRPS del 08 del 2020 [mm]

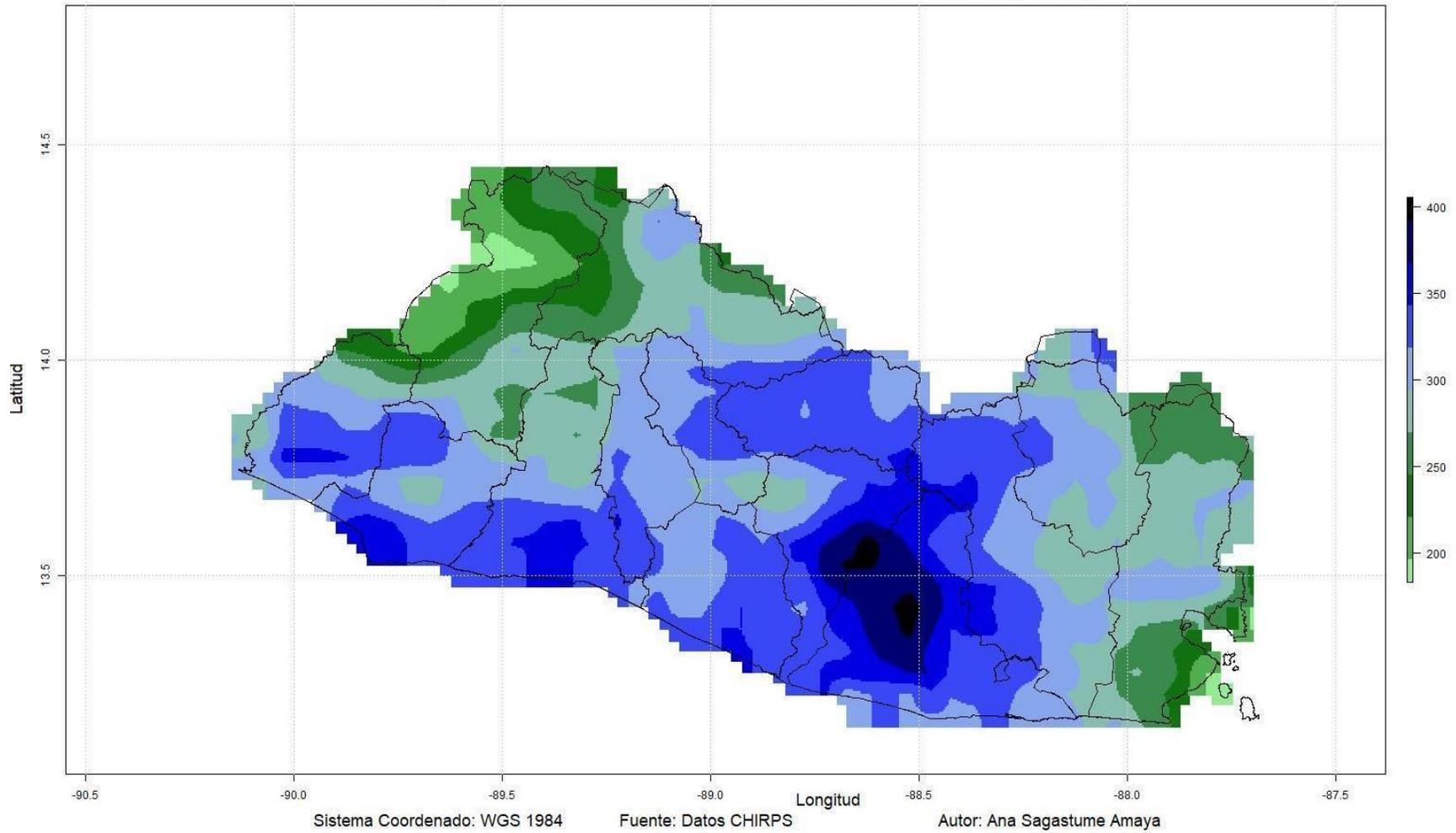


Figura 28: Precipitación acumulada en El Salvador (en milímetros), agosto 2020. Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.

PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA EN EL SALVADOR, SEPTIEMBRE DE 2020

El mes de septiembre es el quinto mes de la estación lluviosa en El Salvador. Usualmente, este es el mes que presenta máximos de lluvia, debido a que se activa la Zona de Convergencia Intertropical y a la influencia de ondas tropicales, con precipitaciones moderadas a fuertes a cualquier hora del día, además por la presencia de temporales, esta situación puede incrementar. En septiembre, las precipitaciones diarias medias son de 7-8 mm de lluvia (MARN, 2012). Para el año 2020, se registraron lluvias máximas acumuladas en la cadena montañosa norte, de aprox. 475 mm en Chalatenango, específicamente en zonas aledañas a San Fernando y La Palma. En municipio de Chalatenango (Chalatenango) presentó los segundos máximos, de 400 mm. Los valores máximos de lluvia durante este mes están asociados a la Tormenta Tropical Nana. Por otra parte, se registraron lluvias mínimas acumuladas en la zona costera de Ahuachapán y Sonsonate, específicamente en San Francisco Menéndez y Jujutla (Ahuachapán) y Acajutla y Sonsonate (Sonsonate), de aprox. 150 mm (Figura 28).

Precipitaciones CHIRPS del 09 del 2020 [mm]

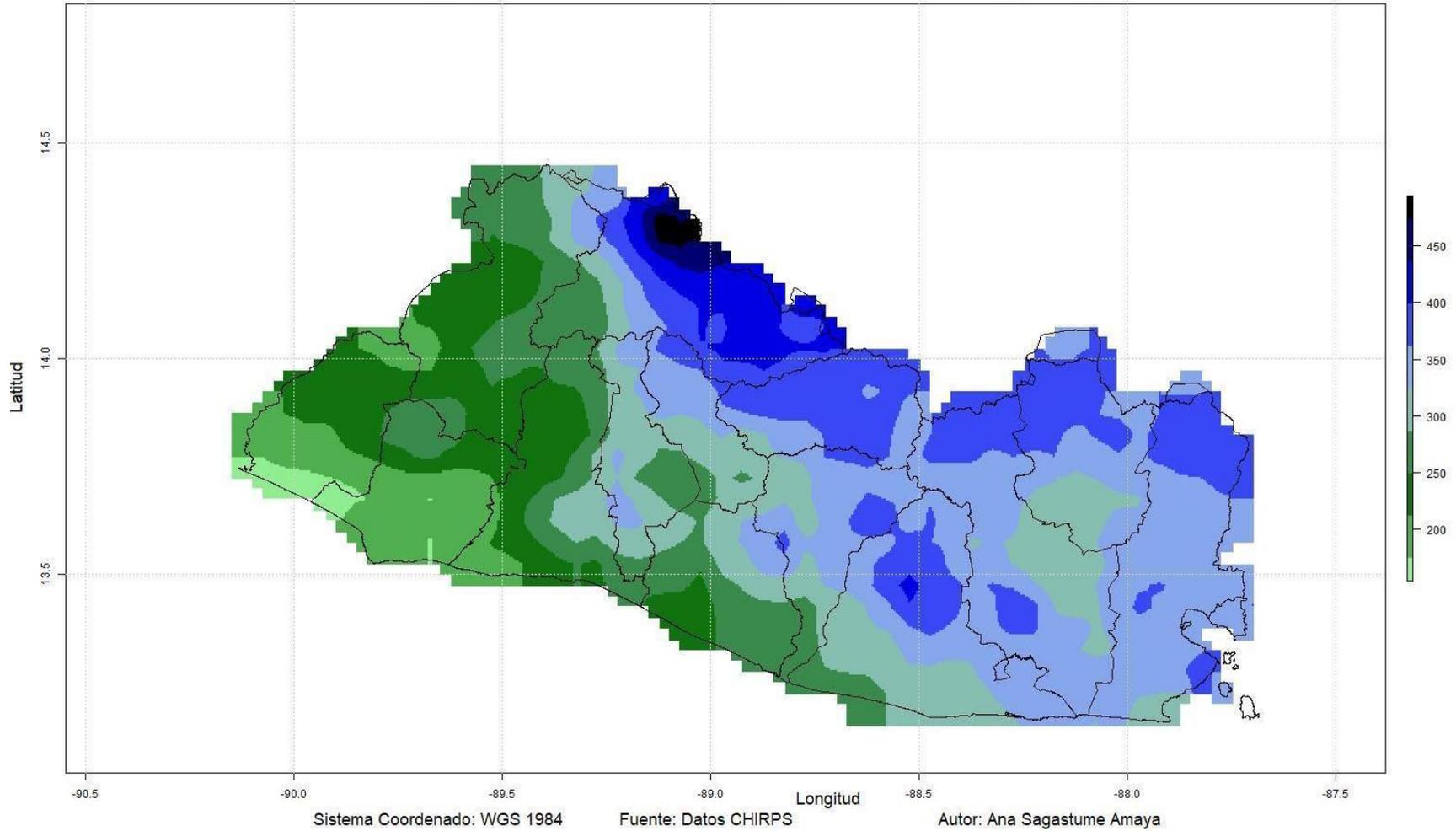


Figura 29: Precipitación acumulada en El Salvador (en milímetros), septiembre 2020. Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.

PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA EN EL SALVADOR, OCTUBRE DE 2020

El mes de octubre es el sexto y último mes de la estación lluviosa en El Salvador. Usualmente, este mes presenta una disminución promedio de aproximadamente 2 mm/día, siendo estas entre 4 y 6 mm por día (MARN, 2012). Para el año 2020, se registraron lluvias máximas acumuladas únicamente en La Unión, de aprox. 800 mm, específicamente en zonas aledañas a Pasaquina. Además, se registraron lluvias acumuladas superiores a los 750 mm en otros municipios de La Unión, incluyendo Intipuca, San Alejo, Conchagua y Santa Rosa de Lima, así como en Jocoro, Morazán. Los valores máximos de lluvia durante este mes están asociados a Huracán Gamma, Delta y Zeta. Por otra parte, se registraron lluvias mínimas acumuladas en los departamentos de Santa Ana y La Libertad, específicamente en Coatepeque (Santa Ana) y San Juan Opico, La Libertad y San Pablo Tacachico (La Libertad), de aprox. 250 mm (Figura 29).

Precipitaciones CHIRPS del 10 del 2020 [mm]

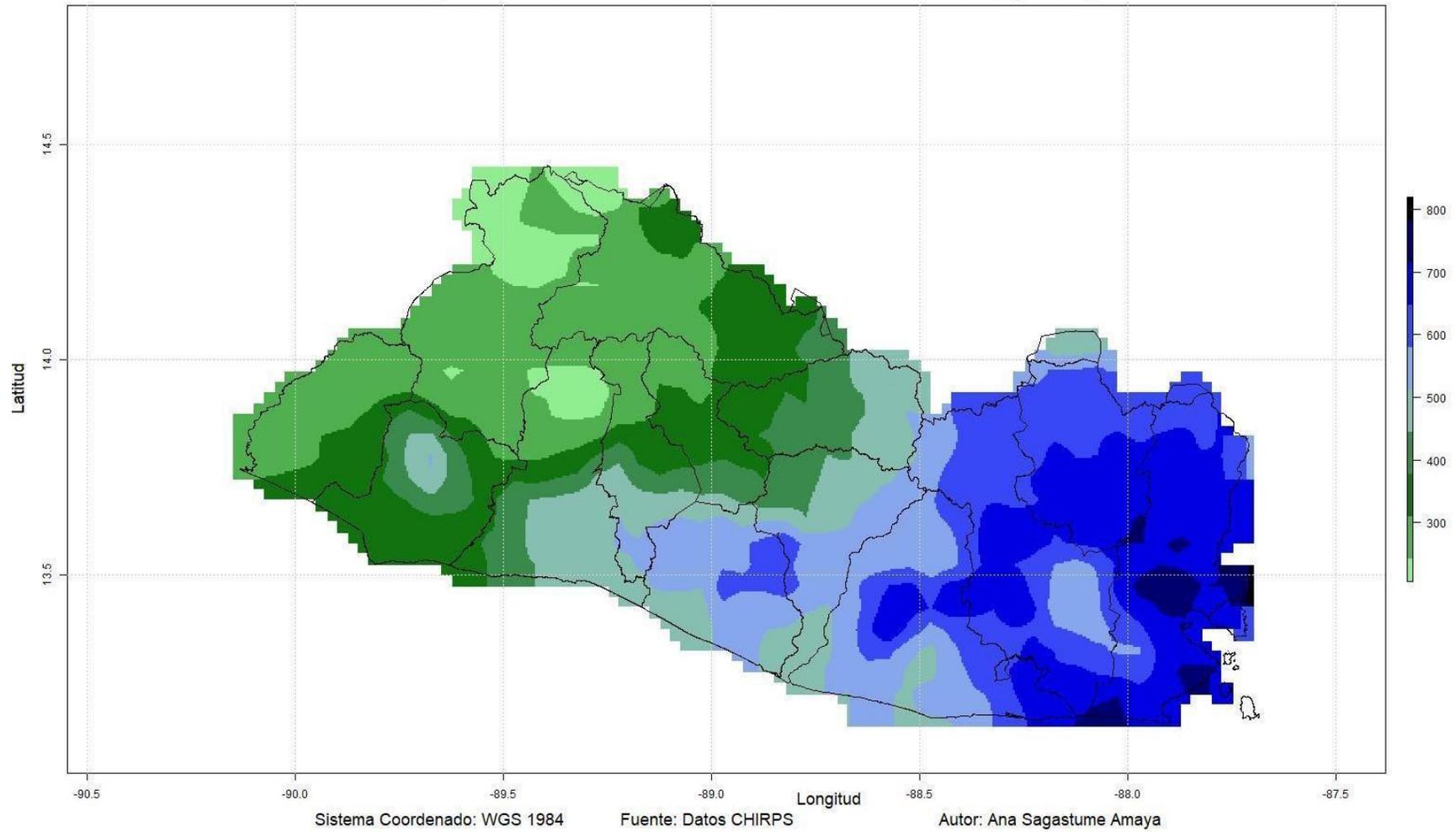


Figura 30: Precipitación acumulada en El Salvador (en milímetros), octubre 2020. Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.

PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA EN EL SALVADOR, NOVIEMBRE DE 2020

El mes de noviembre es el primer mes de la estación seca en El Salvador el único mes de transición lluviosa a seca. Usualmente, durante los primeros quince días, las lluvias son débiles a moderadas y predominan en la zona oriental del país, con precipitaciones diarias medias de 2-4 mm de lluvia (MARN, 2012). Para el año 2020, se registraron lluvias máximas acumuladas en la cordillera volcánica central, de aprox. 450 mm entre La Paz y San Vicente, específicamente en zonas aledañas a Zacatecoluca y Tecoluca, respectivamente. Además, se registraron lluvias acumuladas superiores a los 350 mm en múltiples departamentos, incluyendo Chalatenango, La Paz, San Vicente, San Miguel, Morazán y La Unión. Los valores máximos de lluvia durante este mes son asociados a los Huracanes ETA y IOTA que se movieron sobre Honduras, al norte de El Salvador. Por otra parte, se registraron lluvias mínimas acumuladas en puntos de la zona costera del país, principalmente en Ahuachapán, como San Francisco Menéndez, Concepción de Ataco, Guaymango, Tacuba y Ahuachapán; así como también en Usulután (Usulután), Teotepeque y Chiltiupan (La Libertad), de aprox. 150 mm (Figura 30).

Precipitaciones CHIRPS del 11 del 2020 [mm]

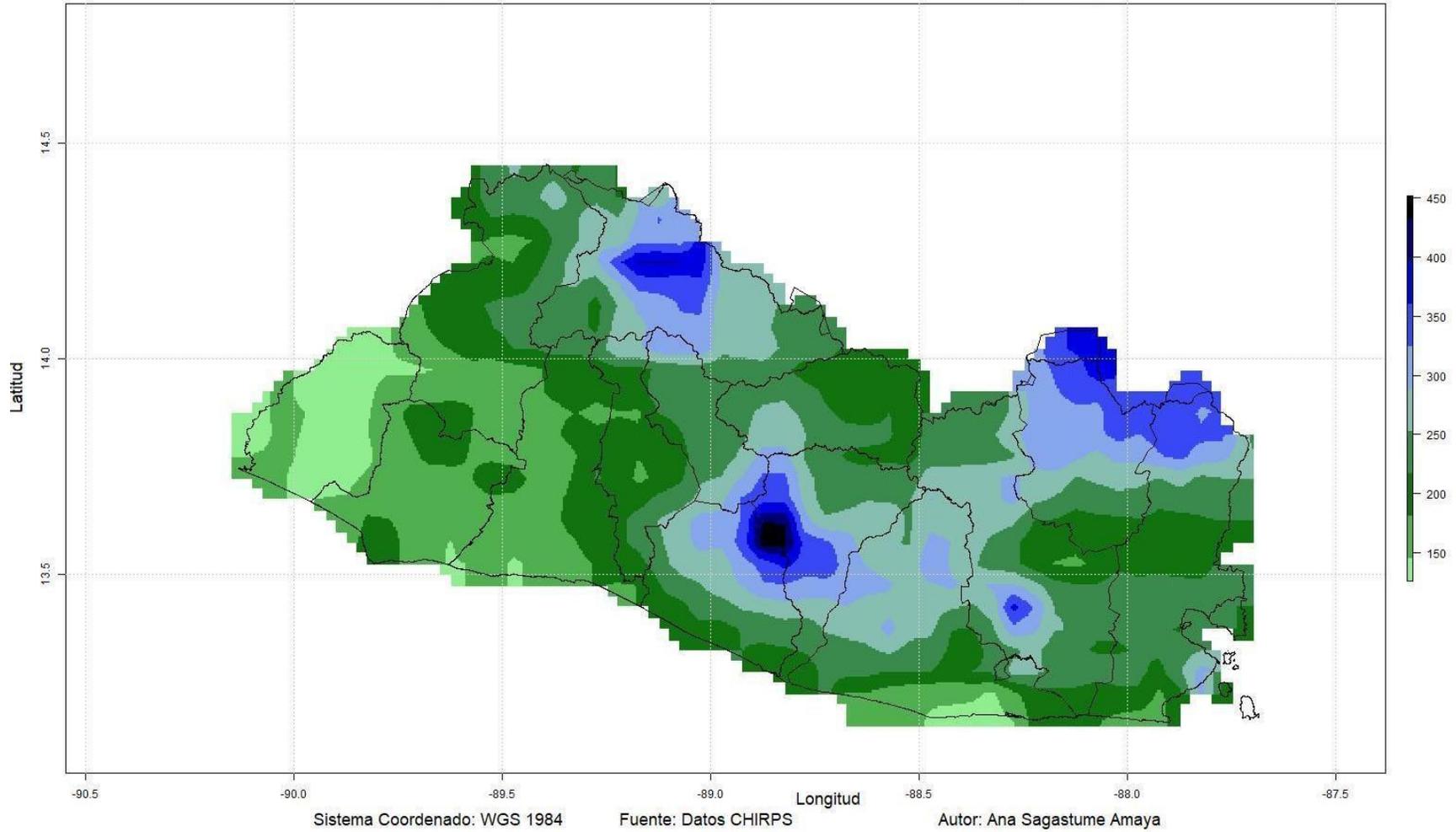


Figura 31: Precipitación acumulada en El Salvador (en milímetros), noviembre 2020. Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.

PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA EN EL SALVADOR, DICIEMBRE DE 2020

El mes de diciembre es el segundo mes de la estación seca en El Salvador. Usualmente, este mes presenta poca nubosidad y se registran precipitaciones débiles y aisladas, principalmente en la cadena montañosa del país. En diciembre, las precipitaciones diarias medias de 0-2 mm de lluvia (MARN, 2012). Para el año 2020, se registraron lluvias máximas acumuladas la cadena montañosa occidental, de aprox. 27 mm en Santa Ana, Ahuachapán y Chalatenango, específicamente en zonas aledañas a Chalchuapa (Santa Ana), Atiquizaya y El Refugio (Ahuachapán) y La Laguna, El Carrizal, Ojos de Agua y San Rafael (Chalatenango). Por otra parte, se registraron lluvias mínimas acumuladas en la zona oriental del país, específicamente en San Alejo, Intipuca, Pasaquina y Bolívar (La Unión), Comarán, Uluzapa y Chirilagua (San Miguel) y en Jucuarán (Usulután), de aprox. 0-2 mm (Figura 31).

Precipitaciones CHIRPS del 12 del 2020 [mm]

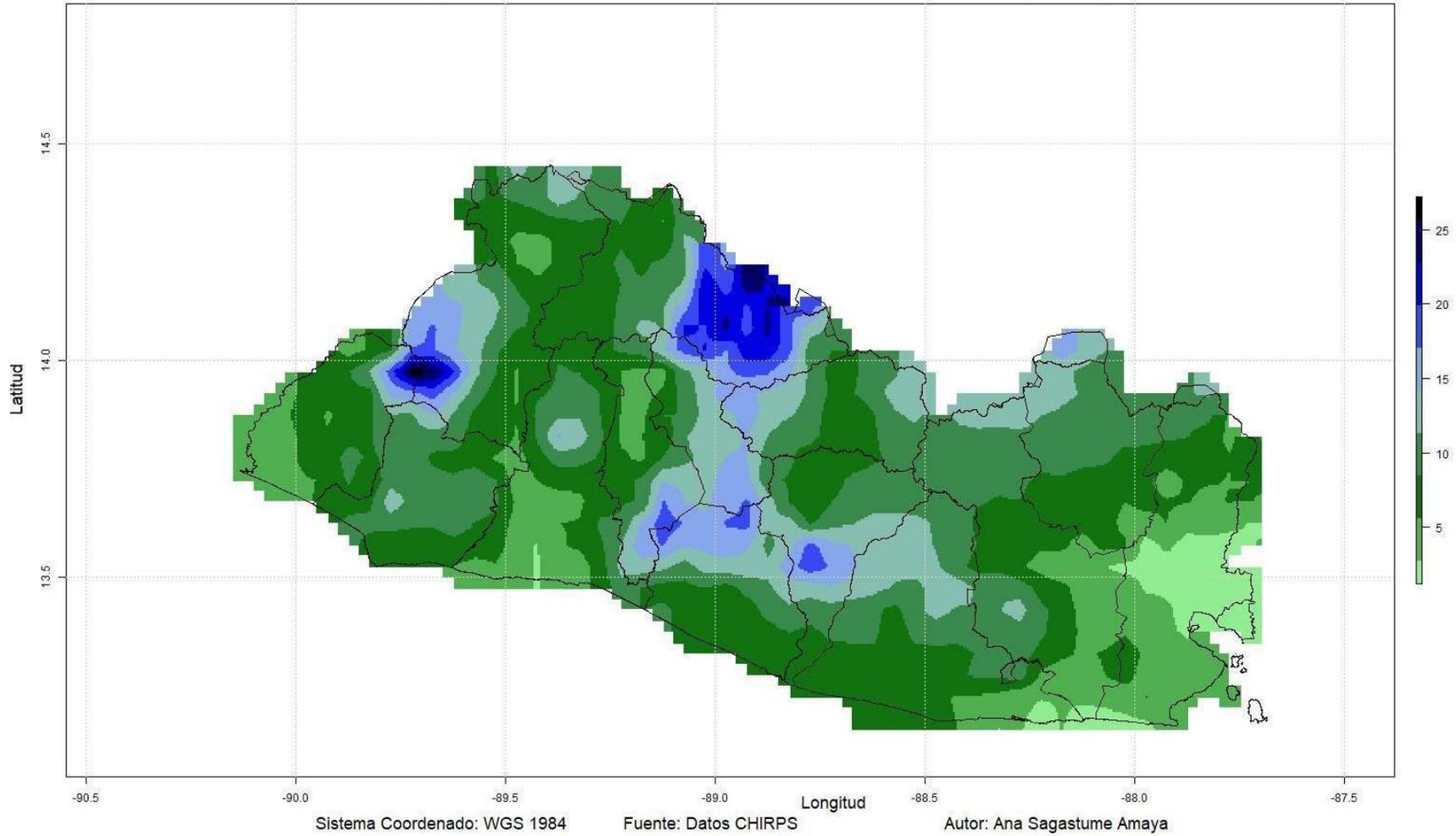


Figura 32: Precipitación acumulada en El Salvador (en milímetros), diciembre 2020. Fuente: Datos CHIRPS, elaboración propia.

4.2 DISCUSIÓN

La temporada de huracanes del Atlántico y Pacífico del año 2020 ocasionó estragos, tanto económicos, sociales y ambientales en la región Centroamericana. Los eventos que impactaron más intensamente a El Salvador fue la Tormenta tropical Amanda, Tormenta tropical Cristóbal, Tormenta tropical ETA y Huracán IOTA. Respecto a la tormenta tropical Amanda, que ocurrió el 30 y 31 de mayo del 2020, debido a que sus fechas, su influencia aún se vio reflejada en el mes de junio, el mes con mayores precipitaciones acumuladas (900 mm) de dicho año. Esta situación fue potenciada por la tormenta tropical Cristóbal, que ocurrió del 1 al 9 de junio de 2020. Los departamentos mayormente afectados fueron San Salvador, San Miguel y La Libertad, ya que más de 73,400 personas fueron afectadas (UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, 2020) por deslaves e inundaciones. Es importante recordar que precisamente, (MARN, 2017) señaló que la región volcánica central del país, que incluye San Salvador, San Miguel y La Libertad, es susceptible a deslizamientos debido a la acumulación de humedad en el suelo.

A finales del año 2020, la tormenta tropical ETA afectó grandemente a Nicaragua, Honduras y El Salvador. Ocurrió desde el 31 de octubre hasta el 13 de noviembre, influenciando así las precipitaciones acumuladas de dichos meses (800 mm y 450 mm, respectivamente). Los departamentos mayormente afectados fueron San Salvador, La Libertad y La Unión, ya que más de 1060 personas fueron afectadas (UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, 2020) por deslaves e inundaciones. Esta situación también fue potenciada por el Huracán IOTA, que ocurrió desde el 13 al 18 de noviembre, donde más de 300 personas de San Salvador, La Libertad, Santa Ana, San Vicente, Morazán y La Unión fueron albergadas (UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, 2020). (MARN, 2017) señaló que principalmente La Libertad, San Vicente y La Unión son muy altamente susceptibles a inundaciones.

4.3 CONCLUSIONES

En el año 2020, inició con condiciones neutrales, pero con temperaturas frías del agua del mar, desde que inició el trimestre junio-agosto se desarrolló la Niña. Asimismo, en dicho año, se registró la mayor temporada de huracanes del Atlántico, con hasta 30 eventos meteorológicos, de los cuales 13 fueron extremos y 6 muy extremos, aun superando a la temporada del 2005. Es importante recordar que los eventos meteorológicos extremos, potenciados por el cambio climático global, causan estragos en el territorio salvadoreño. Así como con huracán Stan, huracán Ida, tormenta tropical Agatha y depresión tropical 12E, la temporada de huracanes del 2020, específicamente la tormenta tropical Amanda, tormenta tropical Cristóbal, tormenta tropical ETA y huracán IOTA, quedará registrada en la historia como una que causó pérdidas económicas millonarias e incontables vidas humanas, así como daños a propiedades e infraestructura en toda la región. Sin embargo, ante ello, una herramienta muy valiosa para el monitoreo y la toma de decisiones son los datos e imágenes satelitales que, tras su análisis, pueden brindar información valiosa, relevante y rápida a las instituciones. CHIRPS de FEWS NET compila datos satelitales de lluvia del satélite 3B42 de la Misión de Medición de Lluvias Tropicales (TRMM). Dicha herramienta fue utilizada en esta investigación tras un procesamiento en programación con R.

Para el suelo salvadoreño, al estar expuesto a eventos meteorológicos extremos e intensos, es vulnerable a acumular un alto nivel de humedad, ocasionando así deslaves e inundaciones en las zonas más susceptibles del país. La investigadora concluye que, durante el año 2020, el mes que registró mayor precipitación acumulada fue junio, alcanzando 900 mm de lluvia y afectando principalmente a la zona central y oriental de El Salvador. Este incremento fue debido a la presencia del temporal causado por la Tormenta Tropical Amanda y Cristóbal. Por otra parte, el mes que registró menor precipitación acumulada fue febrero, alcanzando 0 mm en la región oriental del país. En este mes pertenece a la estación seca y no ocurrió ningún evento que influenciara la climatología del país. Por cuanto, La investigadora rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alternativa del estudio.

4.4 RECOMENDACIONES

4.4.1 Recomendaciones dirigidas a la Academia

1. Debido a la que se debe trabajar con finalidad de contribuir al bienestar de la población, La investigadora recomienda formar alianzas con instituciones gubernamentales nacionales, internacionales y regionales para desarrollar planes de alerta temprana a comunidades más susceptibles a inundaciones y deslaves.
2. La investigadora indica que, para que la población tenga una mayor comprensión de riesgos, se debe desarrollar una caracterización actualizada de la climatología de El Salvador, la cual sea redactada con lenguaje sencillo, interactivo y disponible para quien lo solicite.
3. En cuanto al monitoreo de eventos meteorológicos extremos, La investigadora recomienda realizar estudios para la automatización de alertas a tiempo real.

4.4.2 Recomendaciones dirigidas instituciones gubernamentales.

1. La investigadora recomienda a las instituciones gubernamentales facilitar los procesos para el acceso a la información, indicando los medios oficiales de solicitud, con datos actualizados y pertinentes.
2. La investigadora sugiere actualizar informes del sitio web de la Dirección del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente.
3. La investigadora enfatiza que, para disminuir las pérdidas humanas, económicas y ambientales, el apoyo e involucramiento en la difusión es necesario para dar conocer a la población sobre zonas de mayor susceptibilidad.

4.4.3 Recomendaciones dirigidas a los habitantes de El Salvador y la región centroamericana.

1. La investigadora recomienda obedecer y atender el llamado que las instituciones gubernamentales realizan ante eventos meteorológicos extremos, principalmente cuando se encuentran en una zona susceptible a deslizamientos e inundaciones.

2. La investigadora recomienda que familiares, amigos, iglesias y organizaciones civiles generen consciencia para desarrollar planes de emergencia en casa ante inundaciones y deslaves.
3. La investigadora recomienda a la población informar sobre afectaciones en su comunidad ante eventos extremos a las autoridades pertinentes por medio de los canales oficiales.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Avila, L. A., & Cangialosi, J. (2010). *Tropical Cyclone Report Hurricane Ida*. Miami: National Hurricane Center by National Oceanic and Atmospheric Administration of the United States of America.
- Berg, R. (2020). *Tropical Storm Amanda Report*. Miami: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); US National Weather Service. Obtenido de https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP022020_Amanda.pdf
- Berg, R. (2021). *Tropical Storm Cristobal Report*. Miami: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); US National Weather Service. Obtenido de https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL032020_Cristobal.pdf
- Beven II, J. L., & Landsea, C. W. (2020). *Tropical Storm Cristina Report*. Miami: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); US National Weather Service. Obtenido de https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP052020_Cristina.pdf
- Beven II, J., & Berg, R. (2021). *Hurricane Marco Report*. Miami: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); US National Weather Service. Obtenido de https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL142020_Marco.pdf
- Beven, J. L. (2011). *Tropical Cyclone Report Tropical Storm Agatha*. Miami: National Hurricane Center by National Oceanic and Atmospheric Administration of the United States of America.
- Beven, J. L. (13 de noviembre de 2020). *Post-Tropical Cyclone Eta Advisory Number 52*. Obtenido de Post-Tropical Cyclone ETA: <https://www.nhc.noaa.gov/archive/2020/al29/al292020.public.052.shtml?>
- Blake, E., Berg, R., & Hagen, A. (2021). *Hurricane Zeta Report*. Miami: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); US National Weather Service. Obtenido de https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL282020_Zeta.pdf

- Brown, D. P. (03 de noviembre de 2020). *Hurricane Eta Intermediate Advisory Number 12A*. Obtenido de Hurricane ETA: https://www.nhc.noaa.gov/archive/2020/al29/al292020.public_a.012.shtml
- Brown, D. P. (02 de noviembre de 2020). *Hurricane Eta Intermediate Advisory Number 8A*. Obtenido de Hurricane Eta: https://www.nhc.noaa.gov/archive/2020/al29/al292020.public_a.008.shtml
- Brown, D. P. (2020). *Hurricane Nana Report*. Miami: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); US National Weather Service. Obtenido de https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL162020_Nana.pdf
- Brown, D., Reinhart, & Berg, R. (01 de noviembre de 2020). *Tropical Storm Eta Intermediate Advisory Number 4A*. Obtenido de Tropical Storm ETA: https://www.nhc.noaa.gov/archive/2020/al29/al292020.public_a.004.shtml
- Cangialosi, J. P. (2020). *Tropical Depression One-E Report*. Miami: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); US National Weather Service. Obtenido de https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP012020_One-E.pdf
- Cangialosi, J. P., & Berg, R. (2021). *Hurricane Delta Report*. Miami: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); US National Weather Service. Obtenido de https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL262020_Delta.pdf
- Centro de Meteorología e Hidrología. (1993). *Almanaque Salvadoreño*. San Salvador: Dirección General de Recursos Naturales del Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador.
- Clevers, J. (2006). Introduction Remote Sensing. En L. o. Geo-Information, *Remote Sensing reader* (págs. 1-11). Wageningen: Wageningen University Press.
- Climate Hazards Center. (2021). *CHIRPS: Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations*. Obtenido de Climate Hazards Center University of California, Santa Barbara: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>

Climate Prediction Center. (2021). *Cold & Warm Episodes by Season*. Obtenido de National Weather Service Climate Prediction Center: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Climate Prediction Center. (21 de mayo de 2020). *NOAA 2020 Atlantic Hurricane Season Outlook*. Obtenido de NOAA PRESS RELEASE: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/outlooks/hurricane2020/May/hurricane.shtml>

De la O Reyes, S. E., Galdamez, N., Pichinte, D., Vanegas, W., & DOA-MARN. (06 - 09 de octubre de 2020). *Informe Especial No. 7, 8, 9 & 10: Huracán Delta, indirectamente mantiene una vaguada y lluvias sobre El Salvador*. Obtenido de Informes Especiales - Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales: <http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/informes+especiales/?evento=387>

FEWS NET. (2021). *About Us*. Obtenido de FEWS NET: <https://fews.net/about-us>

Flores, J., & Rosales, V. (1978). *Curso de Ecología*. San Salvador: Proyectos OMEGA Editores.

Funk, C., Michaelsen, J., & Marshall, M. (2012). Mapping recent decadal climate variations in precipitation and temperature across Eastern Africa and the Sahel. En B. Warlow, M. Anderson, & J. Verdin, *Remote sensing of drought—Innovative monitoring approaches* (pág. 25). CRC Press.

Funk, C., Peterson, P., & Landsfeld, M. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci Data 2, Nature*. doi: <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

Funk, C., Peterson, P., Landsfield, M., Pedreros, D., Verdin, J., Rowland, J., . . . Verdin, A. (2014). *A Quasi-Global Precipitation Time Series for Drought Monitoring*. Reston: U.S. Geological Survey.

Galdamez, N. (22 de agosto de 2020). *Informe Especial No. 4*. Obtenido de Informes Especiales - Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales:

<http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/informes+especiales/?evento=385>

Galdamez, N., Hernández, J., & DOA-MARN. (02 de septiembre de 2020). *Informe Especial No. 1 & 4: Depresión tropical Nana mantendrá influencia indirecta sobre El Salvador, con chubascos y tormentas*. Obtenido de Informes Especiales - Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales:

<http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/informes+especiales/?evento=386>

García, L., & Fernández, W. (1997). Distribución estacional e interanual de la lluvia en El Salvador. *Revista Geofísica*, 5-42.

González, R. (10 de noviembre de 2020). *Informe Especial No. 1-17: Tormenta Tropical Eta disminuye gradualmente su influencia sobre El Salvador*. Obtenido de Informes Especiales - Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales:

<http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/informes+especiales/?evento=389>

González, R., Soriano, L., & DOA-MARN. (23 - 26 de octubre de 2020). *Informe Especial No. 1 & 4: Tormenta Tropical Zeta se aleja de la región y disminuye su influencia sobre El Salvador*. Obtenido de Informes Especiales - Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales:

<http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/informes+especiales/?evento=388>

Google Earth Engine Data Catalog. (2015). *TRMM 3B42: 3-Hourly Precipitation Estimates*. Obtenido de Google Earth Engine Data Catalog: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/TRMM_3B42#description

Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana de España. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

- Hernández, J., & DOA-MARN. (27 de agosto de 2020). *Informe Especial No. 9: Continuarán lluvias y tormentas, moderadas a ocasionalmente fuertes, sobre El Salvador*. Obtenido de Informes Especiales - Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales: <http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/informes+especiales/?evento=385>
- Hong, Y., Guoqiang, T., Yingzhao, M., Qi, H., Zhongying, H., Ziyue, Z., . . . Xiaolin, G. (2018). Remote Sensing Precipitation: Sensors, Retrievals, Validations, and Applications. *Springer: Ecohydrology - Observation and Measurement*.
- ICPAC. (2020). *Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station Data - (CHIRPS)*. Obtenido de IGAD Climate Prediction and Applications Centre: <https://www.icpac.net/data-center/chirps/>
- Kimberlain, T. (29 de mayo de 2010). *Tropical Depression One-E Special Advisory No.1*. Obtenido de National Hurricane Center by National Oceanic and Atmospheric Administration of the United States of America: <https://www.nhc.noaa.gov/archive/2010/ep01/ep012010.public.001.shtml?>
- Kimberlain, T. B. (2012). *Tropical Cyclone Report Tropical Depression Twelve-E*. Miami: National Hurricane Center by National Oceanic and Atmospheric Administration of the United States of America.
- Latto, A. S. (2021). *Hurricane Gamma Report*. Miami: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); US National Weather Service. Obtenido de https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL252020_Gamma.pdf
- MARN. (2012). *Caracterización de condiciones meteorológicas*. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de <http://rcc.marn.gob.sv/handle/123456789/228>
- MARN. (2017). *Informe Nacional de Riesgos y Vulnerabilidades*. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales El Salvador.
- MARN. (2018). *Catálogo: Mapa Nacional de Riesgo Ambiental*. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- MARN. (2019). *Plan nacional de adaptación al cambio climático*. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente El Salvador.
- National Hurricane Center. (2011). *2011 Eastern Pacific Annual Summary*. Obtenido de 2011 Eastern Pacific Hurricane Season: https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/summary_epac_2011.pdf
- Pasch, R. J., & Roberts, D. P. (2006). *Tropical Cyclone Report Hurricane Stan*. Miami: National Hurricane Center by National Oceanic and Atmospheric Administration of the United States of America.
- Pasch, R., Berg, R., Roberts, D., & Papin, P. (2021). *Hurricane Laura Report*. Miami: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); US National Weather Service.
- Pichinte, D., & DOA-MARN. (03 de octubre de 2020). *Informe Especial No. 4*. Obtenido de Informes Especiales - Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales: <http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/informes+especiales/?evento=387>
- Soldano, Á. (marzo de 2009). *Inundaciones: ¿Qué es Susceptibilidad?* Obtenido de Síntesis temática realizada para el Foro Virtual de la RIMD creado para la Capacitación en Teledetección Aplicada a la Reducción del Riesgo por Inundaciones.: <http://www.rimd.org/advf/documentos/4921a360071e58.79575639.pdf>
- Stewart, S. R. (2021). *Hurricane Iota Report*. Miami: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); US National Weather Service. Obtenido de https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL312020_lota.pdf
- UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. (2020). *El Salvador - Panorama de Impacto: Tormenta tropical Amanda y tormenta tropical Cristóbal*. San Salvador: OCHA.

UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. (2020). *El Salvador: Emergencia Huracán IOTA - Informe de Situación No. 01*. San Salvador: OCHA.

UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. (2020). *El Salvador: Emergencia Tormenta Tropical ETA - Informe de situación No. 01*. San Salvador: OCHA.

UNICEF. (junio de 2020). *Humanitarian Situation Report No. 1*. Obtenido de Tropical depression/storm Amanda: Impact in El Salvador: <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/UNICEF%20El%20Salvador%20Humanitarian%20Situation%20Report%20No.%201%20%28Tropical%20Storm%20Amanda%29%20-%2031%20May-10%20June%202020.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Código para la generación de mapas de precipitación acumulada mensual en El Salvador. Cortesía del Centro de Clima y Agrometeorología, Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales, MARN.

```
rm(list = ls()); gc(reset = TRUE)
setwd('C:/chrips')
# -----
# Made by:      Ana Sagastume Amaya.
# Created in:   Date: 03-2021.
# Modified in:  04-2021
# -----
# -----
#descarga de tiff mensuales de datos chirps
#https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/camer-carib_monthly/tifs/

#Cargamos las librerias a utilizar

library(R.utils)
library(raster)
library(leaflet)
library(sf)

#Asignamos el año y mes de interes

año='2020'
mes='01'

#Descargamos el archivo CHIRPS
download.file(
  url = paste("https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/camer-
carib_monthly/tifs/chirps-v2.0.",año,".",mes,".tif.gz",sep = ""), mode =
"wb",
  destfile = paste("datos/mensual/",mes,"_",año,".tif.gz"))

#Descomprimos el archivo descargado anteriormente
R.utils::gunzip(paste("datos/mensual/",mes,"_",año,".tif.gz"), remove =
FALSE)
```

```

#Cargamos el tif descomprimido
prec <- raster(paste("datos/mensual/",mes,"_",año,".tif"))

#Cargamos la region de trabajo
dep <- shapefile("shape/LIM_DEPARTAMENTAL.shp")

#Se corta el raster en base al area de interes
corte.precipitacion <- raster::crop(prec, extent(dep))
precip.mask <- mask(x = corte.precipitacion, mask = dep)
plot(precip.mask)

rast<- raster("datos/sua.tif")
pre_men<- resample(precip.mask,rast)

writeRaster(precip.mask, paste("datos/corte/SAL_",mes,"_",año,".tif"),
format = "GTiff")

#Paleta de colores
# https://www.cdmon.com/es/tabla-colores
#pa <- c("#F0F8FF",
"#00CED1", "#0000CD", "#000080", "#191970", "#FF0000", "#B22222", "#BA55D3", "#
C
71585", "#800080", "#696969")

#guardamos el mapa en una imagen jpeg
jpeg(paste("mapas/precipitacion_",mes,"_",año,".jpeg"),width = 1550,
height = 950)
plot(pre_men,col = colorRampPalette(c('light green', 'dark green','light
blue', 'blue','black'))(10),main= paste("Precipitaciones CHIRPS
del",mes," del ",año,"[mm]"),
      cex.main=3,#Tamaño del titulo
      xlab=""
      Longitud
      Sistema Coordinado: WGS 1984 Fuente: Datos CHIRPS
Autor: Ana Sagastume Amaya", # Texto en el eje X
      ylab="Latitud", # Texto en el eje Y
      cex.lab=1.5); grid()
plot(dep, add=TRUE)
dev.off()

```