



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ALUNO: CRISTINA CHAVES-HIDALGO**

**EVENTOS PLUVIALES EXTREMOS EN LA CUENCA DEL RÍO  
TEMPISQUE, COSTA RICA, 2005 A 2020: RIESGOS E  
IMPACTOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
NOME DO ORIENTADOR:  
DR. RAFAEL RODRIGUES DE FRANCA**

**BRASILIA  
2024**

## DEDICATORIA

A mi hija, por impulsarme a ser mejor cada día.

A mis padres y hermano, por ser un constante ejemplo.

A mi esposo, por compartir su experiencia conmigo.

A mis amigos, profesores y colegas, por creer en mi 😊

A todos, gracias por tanto apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Ha sido un proceso reflexivo, a veces un poco solitario, pero sintiendo el apoyo y cariño de muchas personas desde muchos lugares. La distancia no ha sido obstáculo para sentir tantas energías positivas acompañándome en este proceso.

A mi hija, a mi esposo y a mi familia por todo el apoyo a la distancia, por el sacrificio y esfuerzo que representó para todos el tiempo separados físicamente, pero conectados virtualmente. Gracias Diana por ser un motor para avanzar y ser el ejemplo de que los sueños se pueden cumplir si uno lucha por ellos.

Agradezco a mi tutor, Rafael Rodrigues de Franca por su apoyo y consejos, por ser parte de este enorme proceso, por todo el conocimiento y experiencia compartidos conmigo.

A Angelica García y su familia, por recibirme y orientarme durante mi llegada en Brasil, por ser una voz amiga y consejera y guiarme en su país.

Al personal de la UnB y al personal del Postgrado en Geografía por todo el apoyo administrativo brindado durante este proceso.

A los profesores y colegas que creyeron en mis capacidades y que no se cansaron de apoyarme en todo momento. A las Geochicas, al CAP, a mi tribu, gracias por todo el cariño y crecimiento, gracias por las visitas, las videollamadas, por cuidarnos y amarnos.

Al Instituto Meteorológico Nacional y la Comisión Nacional de Emergencias por la amplia disponibilidad de datos concedidos para esta investigación.

Finalmente, agradezco al Gobierno de Costa Rica por el permiso laboral concedido para realizar mis estudios de maestría, y al Gobierno Federal de Brasil y a la Organización de Estudios Americanos por el financiamiento de este programa de estudios y por la beca otorgada.

## RESUMEN

Los eventos pluviales extremos son episodios lluviosos de gran intensidad que pueden tener un fuerte impacto ambiental y social. Los mismos son estudiados desde diferentes perspectivas para comprender la vulnerabilidad de las comunidades más expuestas.

En este estudio, se analizaron los eventos pluviales extremos que afectaron la cuenca del río Tempisque desde el 2005 hasta el 2020, a través de los análisis climatológicos de datos de precipitación de cuatro estaciones meteorológicas, pertenecientes al Instituto Meteorológico Nacional.

Para el examen de los eventos pluviales extremos se realizó un tratamiento estadístico de los datos, así como el análisis espacial de los mismos, determinando el comportamiento de la precipitación en la cuenca y el impacto de los ciclones tropicales en algunas comunidades de cuenca.

Los datos obtenidos a través de esta investigación suponen un importante aporte para mejorar la gestión del riesgo en la cuenca del Río Tempisque, lo que abre las puertas a futuros trabajos sobre el impacto de los fenómenos pluviales extremos en Costa Rica.

Palabras clave: análisis rítmico, climatología, eventos pluviales extremos, precipitación, riesgo, impactos, desastres naturales, vulnerabilidad

## **ABSTRACT**

Extreme rainfall events are highly intense rainy episodes that can have a strong environmental and social impact. They are studied from different perspectives to understand the vulnerability of the most exposed communities.

In this study, the extreme rainfall events that affected the Tempisque River basin were analyzed from 2005 to 2020, through climatological analyzes of precipitation data from four meteorological stations, belonging to the National Meteorological Institute.

To examine extreme rainfall events, a statistical treatment of the data was carried out, as well as their spatial analysis, determining the behavior of precipitation in the basin and the impact of tropical cyclones in some basin communities.

The data obtained through this research represent an important contribution to improving risk management in the Tempisque River basin, which opens the doors to future work on the impact of extreme rainfall phenomena in Costa Rica.

Key words: rhythmic analysis, climatology, extreme pluvial events, precipitation, hazard, impacts, natural disaster, vulnerability

## **RESUMO ESTENDIDO EM PORTUGUÊS**

### **Eventos Pluviais Extremos na Bacia do Rio Tempisque, Costa Rica (2005-2020): Riscos e Impactos**

#### **Introdução e Objetivo do Estudo**

Este estudo concentra-se na análise de eventos pluviais extremos ocorridos na bacia do rio Tempisque, Costa Rica, durante o período de 2005 a 2020. São investigados os padrões de precipitação, os fatores climáticos que influenciam sua variabilidade e os impactos socioeconômicos e ambientais gerados. O principal objetivo da pesquisa é avaliar como esses eventos têm mudado ao longo do tempo e sua relação com fenômenos atmosféricos globais, como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e os ciclones tropicais, a fim de propor estratégias de mitigação e gestão de riscos.

#### **Descrição da Bacia do Rio Tempisque**

A bacia do rio Tempisque é uma das mais importantes da Costa Rica, com uma extensão de 3.405 km<sup>2</sup>, localizada na região de Guanacaste. Apresenta uma geografia diversificada, com uma bacia alta coberta por florestas, uma bacia média com atividade agrícola e uma bacia baixa caracterizada por planícies suscetíveis a inundações. Seu clima é predominantemente tropical seco, com uma marcada sazonalidade entre períodos de chuvas e secas, o que a torna uma área vulnerável a eventos climáticos extremos.

#### **Metodologia**

O estudo baseia-se na análise de dados climáticos obtidos em quatro estações meteorológicas do Instituto Meteorológico Nacional (IMN) da Costa Rica. Foram aplicados métodos estatísticos e análises espaciais para avaliar a tendência da precipitação e sua relação com eventos hidrometeorológicos extremos. Além disso, foram analisados registros históricos de ciclones tropicais e seus impactos na bacia.

## **Resultados e Descobertas**

A análise mostrou um aumento na frequência e intensidade dos eventos pluviais extremos nos últimos 15 anos. Entre os fenômenos mais significativos que afetaram a região estão os ciclones tropicais Alma (2008), Ida (2009), Otto (2016), Nate (2017) e os furacões Eta e Iota (2020). Esses eventos provocaram inundações severas, danos em infraestruturas, perdas humanas e impactos em atividades econômicas, como a agricultura e o turismo.

Foi identificado que os anos com maiores volumes acumulados de precipitação estão fortemente influenciados por fenômenos de teleconexão climática, como El Niño e La Niña, que alteram a distribuição das chuvas na região. Além disso, a pesquisa revela que a combinação da topografia plana da bacia baixa com as modificações no uso do solo tem exacerbado a vulnerabilidade das comunidades locais a inundações recorrentes.

## **Impactos Sociais e Ambientais**

As inundações resultantes de eventos pluviais extremos causaram perdas econômicas significativas, afetando residências, estradas e sistemas de produção agrícola. Em particular, as plantações de arroz, cana-de-açúcar e melão sofreram danos recorrentes, impactando a segurança alimentar e a economia da região. No aspecto social, o estudo documenta o deslocamento de famílias e o aumento de doenças transmitidas pela água em áreas afetadas.

Do ponto de vista ambiental, observou-se um desgaste nos ecossistemas da bacia, com impactos em áreas úmidas e reservas naturais, como o Parque Nacional Palo Verde. A erosão do solo e a sedimentação dos rios alteraram os padrões de drenagem, aumentando o risco de transbordamentos.

## **Conclusões e Recomendações**

Os resultados evidenciam que a bacia do rio Tempisque enfrenta uma crescente vulnerabilidade a eventos climáticos extremos. Recomenda-se a implementação de estratégias de mitigação, como a restauração de áreas úmidas, o fortalecimento dos sistemas de alerta precoce e o planejamento urbano baseado em estudos de risco. Além

disso, sugere-se aprimorar a coleta de dados climáticos e promover a educação ambiental para preparar as comunidades para futuras ameaças.

Este estudo representa uma base para futuras pesquisas sobre o impacto das mudanças climáticas na Costa Rica e a necessidade de políticas públicas voltadas para a gestão do risco hídrico.

Palavras-chave: análise rítmica, climatologia, eventos extremos de chuva, precipitação, risco, impactos, desastres naturais, vulnerabilidade

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Mapa de ubicación de Costa Rica.....                                                              | 5  |
| Figura 2. Mapa de provincias y cantones de Costa Rica. ....                                                 | 8  |
| Figura 3. Mapa de división cantonal y regiones de planificación socioeconómica de Costa Rica.....           | 10 |
| Figura 4. Elementos estructurales de Costa Rica .....                                                       | 12 |
| Figura 5. Mapa de cuencas hidrográficas de Costa Rica .....                                                 | 16 |
| Figura 6. Mapa de regiones climáticas de Costa Rica .....                                                   | 18 |
| Figura 7. Áreas silvestres protegidas de Costa Rica, 2023.....                                              | 19 |
| Figura 8. Mapa de áreas de conservación de Costa Rica y oficinas regionales y subregionales del SINAC ..... | 20 |
| Figura 9. Demanda laboral por establecimientos según actividad económica, Costa Rica, 2023 .....            | 23 |
| Figura 10. Tasa de desempleo por sexo, Costa Rica, 2005-2020 .....                                          | 23 |
| Figura 11. PIB nominal per cápita en dólares para Costa Rica, 2005-2020.....                                | 24 |
| Figura 12. Distribución altitudinal de la cuenca del río Tempisque .....                                    | 26 |
| Figura 13. Geología de la cuenca del río Tempisque.....                                                     | 27 |
| Figura 14. Geología estructural de la cuenca del río Tempisque .....                                        | 28 |
| Figura 15. Mapa de acuíferos de la cuenca del río Tempisque.....                                            | 29 |
| Figura 16. Tipos de suelos de la cuenca del río Tempisque .....                                             | 31 |
| Figura 17. Zonas de vida de la cuenca del río Tempisque.....                                                | 36 |
| Figura 18. Áreas silvestres protegidas dentro de la cuenca del río Tempisque .....                          | 37 |
| Figura 19. Condiciones atípicas de la atmósfera en el Océano Pacífico, fenómeno de El Niño.....             | 43 |
| Figura 20. Anomalía de precipitaciones, Costa Rica, mayo 2015 .....                                         | 44 |
| Figura 21. Condiciones atípicas de la atmósfera en el Océano Pacífico, fenómeno de La Niña.....             | 45 |

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 22. Diagrama de Wheeler-Hendon para localizar la oscilación de Madden-Julian según las 8 fases de la MJO. .... | 46 |
| Figura 23. Patrones asociados a la fase positiva de la Oscilación Multidecadal del Atlántico. ....                    | 47 |
| Figura 24. Corriente de chorro polar y subtropical. ....                                                              | 48 |
| Figura 25. Fases positivas y negativas de la Oscilación Artica. ....                                                  | 49 |
| Figura 26. ZCIT en julio y (rojo) y enero (azul). ....                                                                | 50 |
| Figura 27. Regiones de formación de ciclones tropicales. ....                                                         | 52 |
| Figura 28. Esquema de investigación ....                                                                              | 53 |
| Figura 29. Visualización de datos de la estación meteorológica 74051. ....                                            | 56 |
| Figura 30. Visualización de datos de la estación meteorológica 74053. ....                                            | 57 |
| Figura 31. Ubicación de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio .                                 | 57 |
| Figura 32. Precipitación mensual por año. Estación 74008, 2005-2020 ....                                              | 62 |
| Figura 33. Precipitación mensual por año. Estación 74037, 2005-2020 ....                                              | 63 |
| Figura 34. Precipitación mensual por año. Estación 74051, 2005-2020 ....                                              | 64 |
| Figura 35. Precipitación mensual por año. Estación 74053, 2005-2020 ....                                              | 66 |
| Figura 36. Climograma de la precipitación en la cuenca del río Tempisque, 2005-2020<br>.....                          | 67 |
| Figura 37. Precipitación promedio anual, cuenca del río Tempisque, 2005-2020 .....                                    | 69 |
| Figura 38. Variabilidad interanual de la precipitación, cuenca del río Tempisque, 2005-<br>2020 .....                 | 70 |
| Figura 39. Ciclones tropicales desarrollados en la Cuenca Atlántica, 2005-2020 .....                                  | 71 |
| Figura 40. Clasificación de los ciclones tropicales registrados en Costa Rica, 2005-2020<br>.....                     | 72 |
| Figura 41. Clasificación de los ciclones tropicales que afectaron la cuenca del río<br>Tempisque, 2005-2020 .....     | 79 |
| Figura 42. Eventos asociados a ciclones tropicales, cuenca del río Tempisque, 2005-<br>2020 .....                     | 80 |
| Figura 43. Fallecimientos asociados a ciclones tropicales, cuenca del río Tempisque,<br>2005-2020 .....               | 81 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 44. Influencia típica de El Niño en el Pacífico y Atlántico durante la temporada de huracanes. ....                                                                                                                                                                                                                                                        | 83 |
| Figura 45. Influencia típica de La Niña en el Pacífico y Atlántico durante la temporada de huracanes. ....                                                                                                                                                                                                                                                        | 84 |
| Figura 46. Condiciones climáticas que favorecen la temporada de huracanes.....                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 85 |
| Figura 47. Mapa de precipitación asociada a los huracanes Stan y Wilma, Costa Rica, 2005 .....                                                                                                                                                                                                                                                                    | 86 |
| Figura 48. Tormenta tropical Noel (TT) y circulaciones atmosféricas asociadas: una extensa vaguada con su eje en color azul y baja presión atmosférica (B) sobre el país. ....                                                                                                                                                                                    | 87 |
| Figura 49. Análisis meteorológico a nivel de la superficie del mar del 27 de mayo 2008 a las 9 a.m. hora local. La baja presión atmosférica que dio origen a la Tormenta Tropical Alma está identificada por la letra L. La Zona de Convergencia Intertropical se simboliza por medio de la línea doble color rojo que está sobre el Pacífico costarricense. .... | 88 |
| Figura 50. Líneas de corriente generadas por el modelo GFS para en el nivel de superficie (d), 850mb (c), 500 mb (b) y 250 mb (a) para el jueves 4 de septiembre, 6:00 am, Huracán Hanna, 2008.....                                                                                                                                                               | 89 |
| Figura 51. Tormenta tropical Ida, América Central, 5 de noviembre de 2009. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 89 |
| Figura 52. Fuerte actividad convectiva asociada a la Tormenta Tropical Nicole, Costa Rica, 28-29 setiembre 2010. ....                                                                                                                                                                                                                                             | 90 |
| Figura 53. Huracán Thomas, América Central, 3 de noviembre 2010 .....                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 90 |
| Figura 54. Tormenta tropical Isaac antes de intensificarse a huracán, América Central, 24 de agosto de 2012. GOES 16 .....                                                                                                                                                                                                                                        | 91 |
| Figura 55. Tormenta tropical Sandy, América Central, 24 de octubre de 2012. GOES 16 .....                                                                                                                                                                                                                                                                         | 91 |
| Figura 56. imagen satelital del ciclón tropical Nate, América Central, 4 de octubre. ....                                                                                                                                                                                                                                                                         | 92 |
| Figura 57. Ciclón tropical Amanda-Cristóbal, América Central, 31 de mayo y 2 de junio de 2020. GOES 16 .....                                                                                                                                                                                                                                                      | 93 |
| Figura 58. Eventos pluviales extremos y exposición a enfermedades. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 97 |
| Figura 59. Área de amenazas de inundación, cuenca del río Tempisque.....                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 99 |

|                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 60. Representación esquemática de las interacciones en la cuenca del río Tempisque. .... | 101 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Puntos extremos según latitud y longitud de Costa Rica .....                                                | 6  |
| Tabla 2. Organización político-administrativa de Costa Rica .....                                                    | 7  |
| Tabla 3. Regiones socioeconómicas de Costa Rica .....                                                                | 10 |
| Tabla 4. Esquema geomorfológico de Costa Rica .....                                                                  | 13 |
| Tabla 5. Relieve de Costa Rica .....                                                                                 | 13 |
| Tabla 6. Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica .....                                                             | 20 |
| Tabla 7. Porcentaje de población de 5 años o más por nivel de instrucción, Costa Rica, 2023 .....                    | 22 |
| Tabla 8. Distribución territorial de la región Pacífico Norte.....                                                   | 25 |
| Tabla 9. Dimensiones geográficas de la cuenca.....                                                                   | 30 |
| Tabla 10. Características de la región geográfico-climática Pacífico Norte.....                                      | 32 |
| Tabla 11. Resumen de variables climáticas, cuenca del río Tempisque .....                                            | 33 |
| Tabla 12. Zonas de vida de la cuenca del río Tempisque .....                                                         | 34 |
| Tabla 13. Proyección histórica de la población de la Región Pacífico Norte .....                                     | 38 |
| Tabla 14. Centros educativos Dirección Regional Santa Cruz.....                                                      | 39 |
| Tabla 15. Clasificación de los ciclones tropicales según escala de Saffir-Simpson .....                              | 52 |
| Tabla 16. Listado de estaciones meteorológicas en la cuenca del río Tempisque.....                                   | 55 |
| Tabla 17. Resumen de variables estadísticas de precipitación anual. Estación 74008, 2005-2020 .....                  | 62 |
| Tabla 18. Resumen de variables estadísticas de precipitación anual. Estación 74037, 2005-2020 .....                  | 63 |
| Tabla 19. Resumen de variables estadísticas de precipitación anual. Estación 74051, 2005-2020 .....                  | 65 |
| Tabla 20. Resumen de variables estadísticas de precipitación anual. Estación 74053, 2005-2020 .....                  | 66 |
| Tabla 21. Años padrón habituales y extremos, cuenca del río Tempisque, 2005-2020                                     | 68 |
| Tabla 22. Principales impactos de los eventos pluviales extremos por ciclones tropicales, Costa Rica, 2005-2020..... | 73 |

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 23. Tendencia, eventos extremos y teleconexiones, cuenca del río Tempisque,<br>2005-2020 ..... | 94 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C: grados Celsius

AMO: Oscilación Multidecadal del Atlántico (por sus siglas en inglés)

BCCR: Banco Central de Costa Rica

CFIA: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos

CNE: Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias

CVC: Corriente en Chorro Centroamericana

EBAIS: Equipos Básicos de Atención Integral de Salud

EM-DAT: Emergency Events Database

ENOS: El Niño Oscilación Sur

ha: Hectáreas

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos

k/h: kilómetros por hora

M.A.: Millones de años

MEP: Ministerio de Educación Pública

MIDEPLAN: Ministerio de Planificación

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

mm: milímetros

m.s.n.m.: metros sobre nivel del mar

SINAC: Sistema Nacional de Áreas de Conservación

OA: Oscilación Artica

OACI: Organización Internacional de Aviación Civil

OMM: Organización Meteorológica Mundial

ZCIT: Zona de Convergencia Intertropical

## ÍNDICE

|                                                   |      |
|---------------------------------------------------|------|
| Dedicatoria .....                                 | ii   |
| Agradecimientos .....                             | iii  |
| Resumen.....                                      | iv   |
| Abstract.....                                     | v    |
| Resumo estendido em português .....               | vi   |
| Índice de figuras.....                            | ix   |
| Lista de tablas .....                             | xiii |
| Lista de abreviaturas e siglas.....               | xv   |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                             | 1    |
| 1.1 Problema de investigación .....               | 3    |
| 1.2 Hipotesis .....                               | 3    |
| 1.3 Objetivo general.....                         | 3    |
| 1.4 Objetivos específicos .....                   | 4    |
| 2. DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO.....           | 5    |
| 2.1 Caracterización general del país.....         | 5    |
| 2.1.1 Aspectos territoriales .....                | 6    |
| 2.1.1.1 División territorial administrativa ..... | 6    |
| 2.1.1.2 División unidades socioeconómicas .....   | 9    |
| 2.1.2 Aspectos geofísicos y ambientales .....     | 11   |
| 2.1.2.1 Relieve y geología .....                  | 11   |
| 2.1.2.2 Hidrografía.....                          | 15   |
| 2.1.2.3 Clima .....                               | 16   |

|         |                                                                    |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.2.1 | Áreas protegidas.....                                              | 19 |
| 2.1.3   | Aspectos socioeconómicos.....                                      | 22 |
| 2.1.3.1 | Aspectos demográficos .....                                        | 22 |
| 2.1.3.2 | Aspectos económicos.....                                           | 24 |
| 2.2     | Caracterización del área de estudio: cuenca del río Tempisque..... | 25 |
| 2.2.1   | Aspectos geofísicos y ambientales .....                            | 25 |
| 2.2.1.1 | Relieve y geología .....                                           | 25 |
| 2.2.1.2 | Hidrografía.....                                                   | 29 |
| 2.2.1.3 | Suelo .....                                                        | 30 |
| 2.2.1.4 | Clima .....                                                        | 31 |
| 2.2.1.5 | Zonas de vida .....                                                | 33 |
| 2.2.1.1 | Áreas protegidas.....                                              | 36 |
| 2.2.2   | Aspectos socioeconómicos.....                                      | 37 |
| 2.2.2.1 | Actividades socioproductivas.....                                  | 38 |
| 2.2.2.2 | Infraestructura .....                                              | 38 |
| 3.      | REVISIÓN DE LITERATURA.....                                        | 40 |
| 3.1     | Eventos pluviales extremos .....                                   | 40 |
| 3.2     | Teleconexiones atmosféricas.....                                   | 42 |
| 3.2.1   | Fenómeno El Niño - Oscilación del Sur .....                        | 42 |
| 3.2.2   | Oscilación Madden-Julian (MJO).....                                | 45 |
| 3.2.3   | Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO) .....                  | 46 |
| 3.2.4   | Corriente en Chorro Centroamericana (CVC).....                     | 47 |
| 3.2.5   | Oscilación ártica (OA).....                                        | 49 |
| 3.2.6   | Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).....                     | 49 |
| 3.3     | Ciclones tropicales .....                                          | 51 |

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4. MÉTODOS .....                                                                       | 53  |
| 4.1 Obtención de datos meteorológicos.....                                             | 54  |
| 4.2 Definición de años padrón habituales y extremos.....                               | 58  |
| 4.3 Estudio de variabilidad de tendencia .....                                         | 59  |
| 4.4 Análisis de teleconexiones atmosféricas .....                                      | 60  |
| 4.5 Análisis de eventos pluviales extremos .....                                       | 60  |
| 5. RESULTADOS.....                                                                     | 61  |
| 5.1 Caracterización de los datos meteorológicos seleccionados .....                    | 61  |
| 5.2 Años padrón habituales y extremos.....                                             | 67  |
| 5.3 Variabilidad de tendencia.....                                                     | 69  |
| 5.4 Teleconexiones atmosféricas.....                                                   | 70  |
| 5.5 Análisis de eventos pluviales extremos .....                                       | 71  |
| 5.5.1 Eventos pluviales extremos: eventos asociados e impacto .....                    | 72  |
| 6. DISCUSIÓN .....                                                                     | 82  |
| 6.1 Influencia del ENOS en los ciclones tropicales .....                               | 82  |
| 6.2 Relación entre tendencia de precipitación, eventos extremos y teleconexiones<br>85 |     |
| 6.3 Impacto de los eventos pluviales extremos.....                                     | 95  |
| 6.4 Inundaciones en la cuenca del río Tempisque.....                                   | 98  |
| 6.4.1 Distribución espacial de las inundaciones .....                                  | 98  |
| 6.4.2 Relación entre uso del suelo y vulnerabilidad a eventos extremos.....            | 99  |
| 6.4.3 Impacto espacial de los ciclones tropicales .....                                | 100 |
| 6.5 Estrategias de mitigación .....                                                    | 100 |
| 7. CONCLUSIONES .....                                                                  | 104 |
| 8. RECOMENDACIONES .....                                                               | 108 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| REFERENCIAS..... | 109 |
|------------------|-----|

## 1. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica en los últimos 15 años se ha observado un crecimiento exponencial en la afectación directa por eventos pluviales extremos; siendo los más significativos los ciclones tropicales Alma (2008), Ida (2009), Tomas (2010), Patricia (2015), Otto (2016), Nate (2017), Eta e Iota (2020), los cuales tuvieron consecuencias sociales, económicas, y biofísicas, afectando los patrones naturales de escorrentía e infiltración, causando grandes pérdidas humanas y económicas, desplazamiento de la población, daño en infraestructura y afectación de actividades productivas.

Las inundaciones son consideradas como uno de los peligros más mortales relacionados con el clima, la mayoría por ahogamiento o por deslizamientos. Los ciclones tropicales son los fenómenos naturales que más daño causan en Costa Rica, ya sea por inundaciones severas, marejadas, deslizamientos o cabezas de agua (*flash floods*). Si bien los ciclones tropicales se forman en el océano Atlántico, su mayor afectación se da en el Pacífico del país (Guanacaste, Puntarenas y San José), esto debido a la circulación de los vientos y al desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), lo cual lleva al aumento de la precipitación, la distribución de las lluvias y la intensidad del viento, lo que aunado a la topografía del país, las características de los suelos y al incremento de la población en las zonas costeras, genera un mayor riesgo ante amenazas hidrometeorológicas.

Actualmente, el pronóstico asociado a eventos hidrometeorológicos extremos, se focaliza en variables meteorológicas, como viento, precipitación y saturación de cuencas, así como posibles trayectorias, sin embargo, en los últimos años se han desarrollado nuevos enfoques, los cuales proponen la realización de predicción meteorológica basada en impactos, donde se analizan variables meteorológicas, geológicas y edafológicas, para generar mapas de posibles impactos, los cuales son más fáciles de comprender para la población y pueden ser aprovechados mejor por las autoridades locales y de emergencia.

Escenarios futuros indican que con el aumento de la temperatura del océano Atlántico, habrá un aumento en la intensidad de ciclones tropicales, por lo que es fundamental espacializar y comparar estos fenómenos, generando datos que permitan mejorar la capacidad del IMN para liderar el pronóstico y el manejo del impacto generado por los ciclones tropicales.

Durante esta investigación se identificarán y caracterizarán los principales ciclones tropicales que han afectado la cuenca del río Tempisque en los últimos 15 años, se identificarán los impactos para cada evento hidrometeorológico, se determinarán las áreas históricamente impactadas, se determinará el riesgo ante eventos hidrometeorológicos extremos en estas áreas, y se realizará una comparación entre las variables meteorológicas y los impactos generados por los eventos, lo que permitirá clasificar el tipo de amenaza y sus consecuencias.

Esta investigación apunta a ser novedosa, ya que no se han realizado estudios con un abordaje similar, además, incluye fenómenos muy recientes como los huracanes Eta e Iota, y se cuenta con datos confiables, así como imágenes satelitales y modelos actualizados, al mismo tiempo se dispone de cartografía oficial a limitada resolución.

## **Justificación**

La cuenca del río Tempisque es la segunda más grande del país 3.405 km<sup>2</sup> cuyas aguas drenan en la planicie Guanacasteca, junto con río Bebedero cubre un área de 5.455 km<sup>2</sup>, lo que representa el 11% del territorio nacional. Se extiende por 138 km de los cuales 36 son navegables. Recibe aportes de los bosques adyacentes. Forma parte del distrito de riego de Moravia, un importante proyecto agrícola. El área que drena es comparativamente pobre en precipitación. (Flores Silva, 2001)

La cuenca del río Tempisque históricamente ha presentado inundaciones que “han sido un problema común en la zona, incluso desde la época colonial, debido a lo llano del terreno y a que los ríos se desbordan durante el periodo lluvioso” (Mendez, 2022), por otra parte, “el cambio climático antropogénico ha potenciado el daño generado por las crecidas del río Tempisque mediante episodios prolongados de abundantes precipitaciones que dejan su huella en las comunidades más vulnerables” (Mendez, 2022), incrementándose la incidencia de los ciclones tropicales sobre el país los cuales generan eventos extremos de lluvia que han tenido consecuencias económicas y sociales significativas, afectando las comunidades inmersas en la cuenca.

## **1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

- ¿El comportamiento de las lluvias en la cuenca del río Tempisque se ha modificado?
- ¿Cuáles son las causas de inundaciones en la cuenca?
- ¿Cuáles son los principales riesgos e impactos asociados a las inundaciones en la cuenca del río Tempisque?

## **1.2 HIPOTESIS**

El comportamiento de la precipitación en la cuenca del río Tempisque ha experimentado cambios significativos que se desvían del patrón climático histórico de la región, lo que indica una creciente vulnerabilidad del país ante los impactos del cambio climático.

## **1.3 OBJETIVO GENERAL**

Analizar los cambios en el comportamiento de la precipitación en la cuenca del río Tempisque y su relación con los patrones climáticos históricos de la región, con el fin de evaluar la intensificación de la vulnerabilidad del país ante eventos hidrometeorológicos extremos como los ciclones tropicales.

## **1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar el área de estudio desde perspectivas geofísicas, biológicas y socioeconómicas.
- Analizar la variabilidad y tendencias de la precipitación en la cuenca del río Tempisque con relación a eventos hidrometeorológicos extremos como los ciclones tropicales, identificando los patrones de precipitación anuales habituales y extremos relacionando la configuración atmosférica responsable de los mismos.
- Investigar los principales riesgos e impactos socioambientales asociados a las inundaciones en la cuenca del río Tempisque.

## 2. DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1 Caracterización general del país

Costa Rica es un país del istmo centroamericano, que se ubica entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, cuenta con una posición privilegiada interoceánica, entre el Océano Pacífico y el Mar Caribe, e intercontinental, entre Norte y Sur América, lo que convierte al país en un puente biológico y cultural.

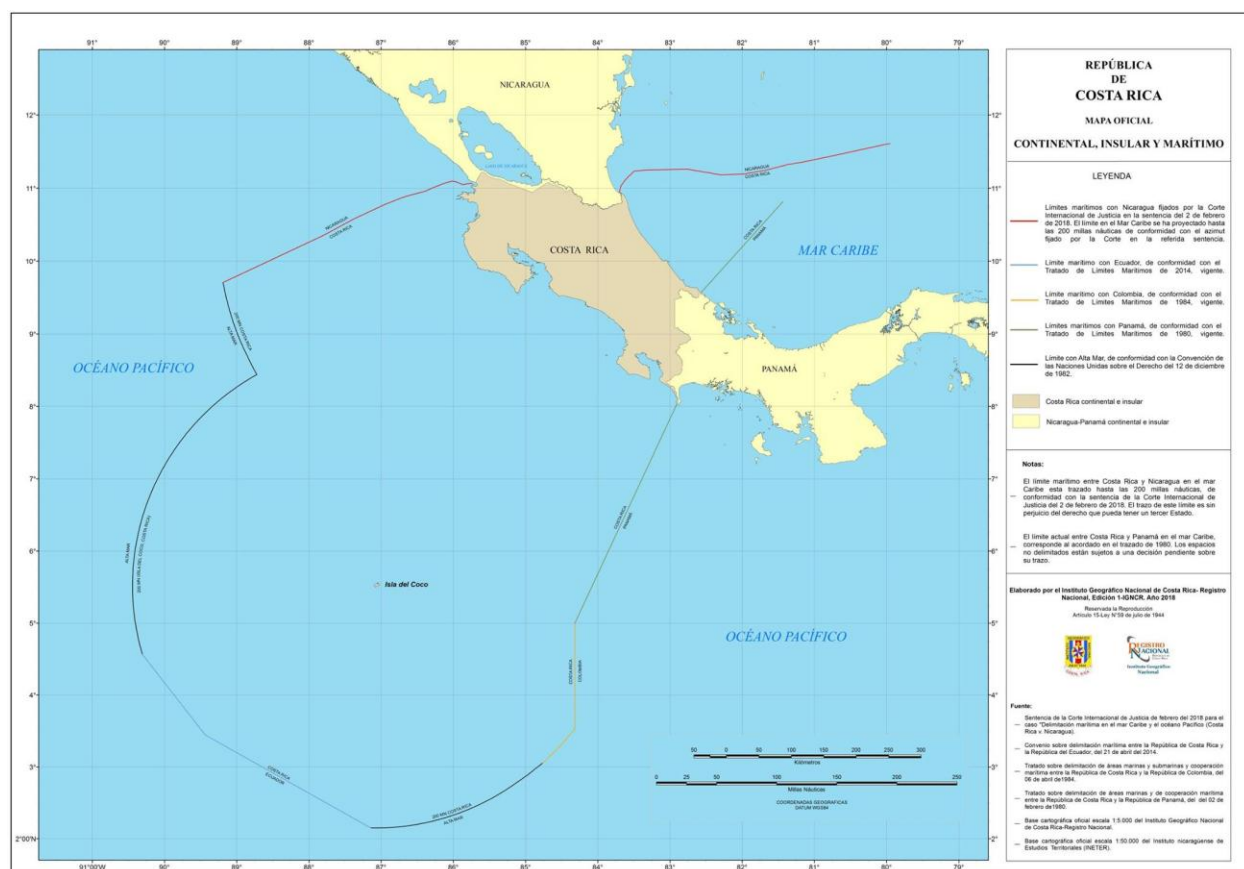


Figura 1. Mapa de ubicación de Costa Rica.

Tomado de: Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto, 2018

Costa Rica tiene una superficie de 51.100 km<sup>2</sup> de territorio continental, 500.000 km<sup>2</sup> de territorio marítimo y 343,9 km<sup>2</sup> de territorio insular. El ancho máximo del país oscila entre 57 y 540 km. (Vargas, 2006)

Tabla 1. Puntos extremos según latitud y longitud de Costa Rica

|       | Latitud   | Longitud  | Puntos extremos                    |
|-------|-----------|-----------|------------------------------------|
| Norte | 11 13'12" |           | Confluencia río Sapoá en Nicaragua |
| Sur   | 08 02'26" |           | Punta Burica                       |
|       | 05 30'06" |           | Cabo Dampier Isla del Coco         |
| Este  |           | 82 33'48" | Boca del río Sixaola               |
| Oeste |           | 85 57'57" | Cabo Santa Elena                   |
|       |           | 87 06'13" | Islote Dos Amigos Isla del Coco    |

Adaptado de: (Vargas, 2006)

De acuerdo con el artículo 5 de la Constitución Política de Costa Rica, los límites del territorio nacional son al norte con la República de Nicaragua (tratado de límites Cañas - Jerez de 1858), al sur con la República de Panamá (Tratado de límites Echandi Montero - Fernández Jaén de 1941), al este con el Mar Caribe y al oeste con el Océano Pacífico (Gobierno de Costa Rica, 2015).

## 2.1.1 Aspectos territoriales

### 2.1.1.1 División territorial administrativa

La Constitución Política dispone una división administrativa del país en cuatro ordenes: territorio nacional, provincias, cantones y distritos (Gobierno de Costa Rica, 2015). Según la Ley 4366, la administración pública del territorio de Costa Rica recae en el Comisión Nacional de División Territorial Administrativa.

Cada provincia es una división administrativa de primer orden, que facilita el registro de los habitantes y cuenta con representación en la Asamblea Legislativa a través de los diputados, quienes son designados por elección popular en las elecciones nacionales (Fernández, 2019).

Tabla 2. Organización político-administrativa de Costa Rica

| Número | Provincia  | Cantones | Distritos | Extensión (km <sup>2</sup> ) |
|--------|------------|----------|-----------|------------------------------|
| 1      | San José   | 20       | 123       | 4.959,64                     |
| 2      | Alajuela   | 16       | 116       | 9.753,23                     |
| 3      | Cartago    | 8        | 51        | 3.124,67                     |
| 4      | Heredia    | 10       | 47        | 2.656,27                     |
| 5      | Guanacaste | 11       | 61        | 10.140,71                    |
| 6      | Puntarenas | 13       | 60        | 11.276,97                    |
| 7      | Limón      | 6        | 30        | 9.188,52                     |
| Total  |            | 84       | 488       | 51.100                       |

Adaptado de: (Vargas, 2006)

Los cantones son divisiones administrativas de segundo orden, equivalentes a ayuntamientos. El artículo 169 de la Constitución Política establece que “la administración de los intereses y servicios locales en cada cantón estará a cargo del Gobierno Municipal, formado de un cuerpo deliberante, integrado por regidores municipales de elección popular, y de un funcionario ejecutivo que designará la ley” (Gobierno de Costa Rica, 2015).

Los distritos son divisiones administrativas de tercer orden, claramente delimitadas y que cuentan con un Concejo de Distrito designado por elección popular en las elecciones municipales que se celebran cada cuatro años.

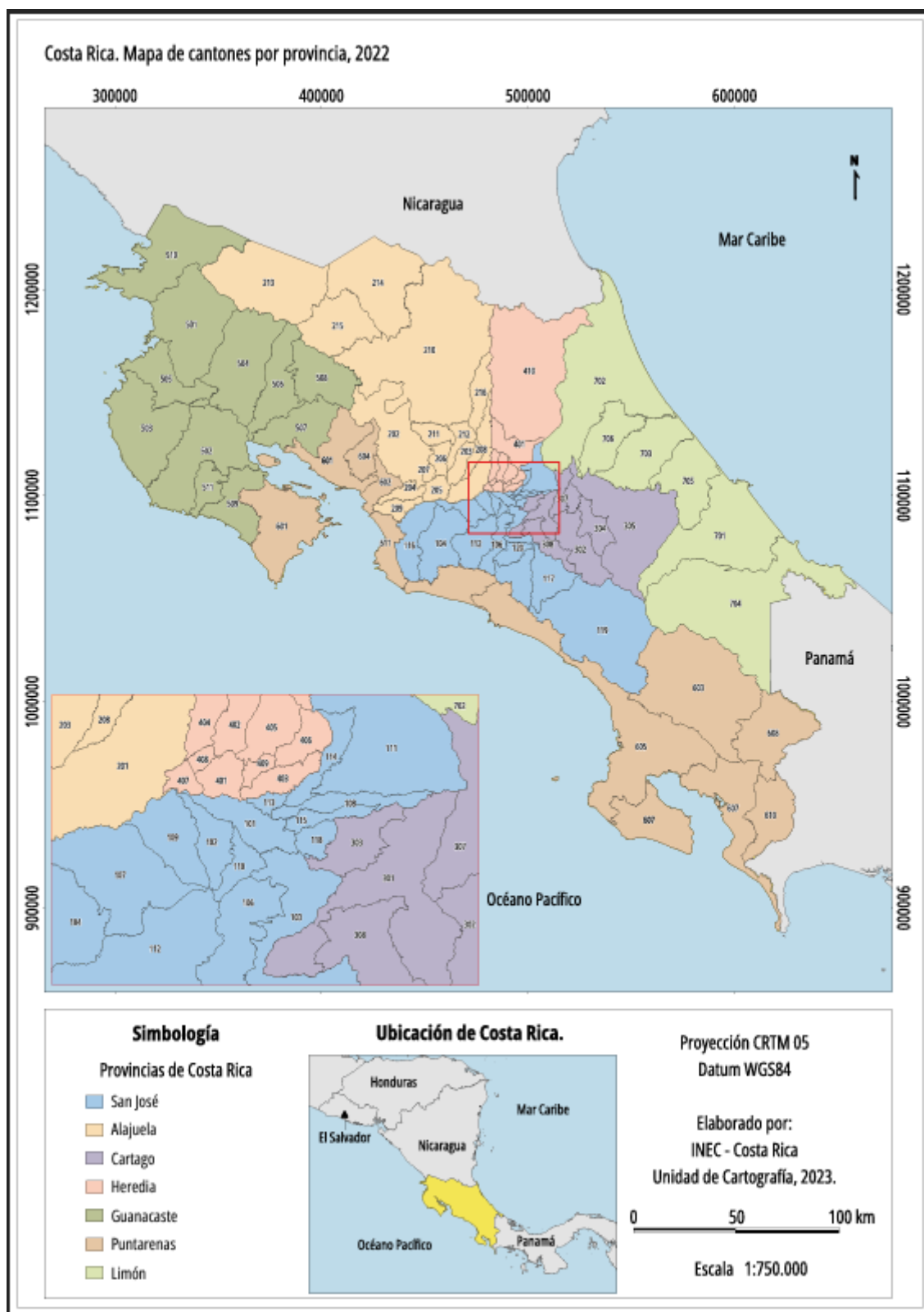


Figura 2. Mapa de provincias y cantones de Costa Rica.

Tomado de: INEC, 2023

#### **2.1.1.2 División unidades socioeconómicas**

A través de la Ley 5525 en 1979, se estableció para efectos de planificación, administración, investigación y desarrollo, la regionalización del territorio costarricense en seis regiones socioeconómicas. “Una región es el producto de un conjunto de relaciones sociales, históricas, económicas y administrativas que adquieren características particulares en un determinado espacio geográfico” (Alvarado R. , 2003), siendo las regiones el resultado del desarrollo, las relaciones y los procesos históricos de grupos sociales sobre un territorio determinado.

En 1985, se reestructuran las regiones en cinco: Central, Chorotega, Pacífico Central, Brunca, Huetar Atlántica y Huetar Norte (Gobierno de Costa Rica, 1985), las mismas son administradas por el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN).

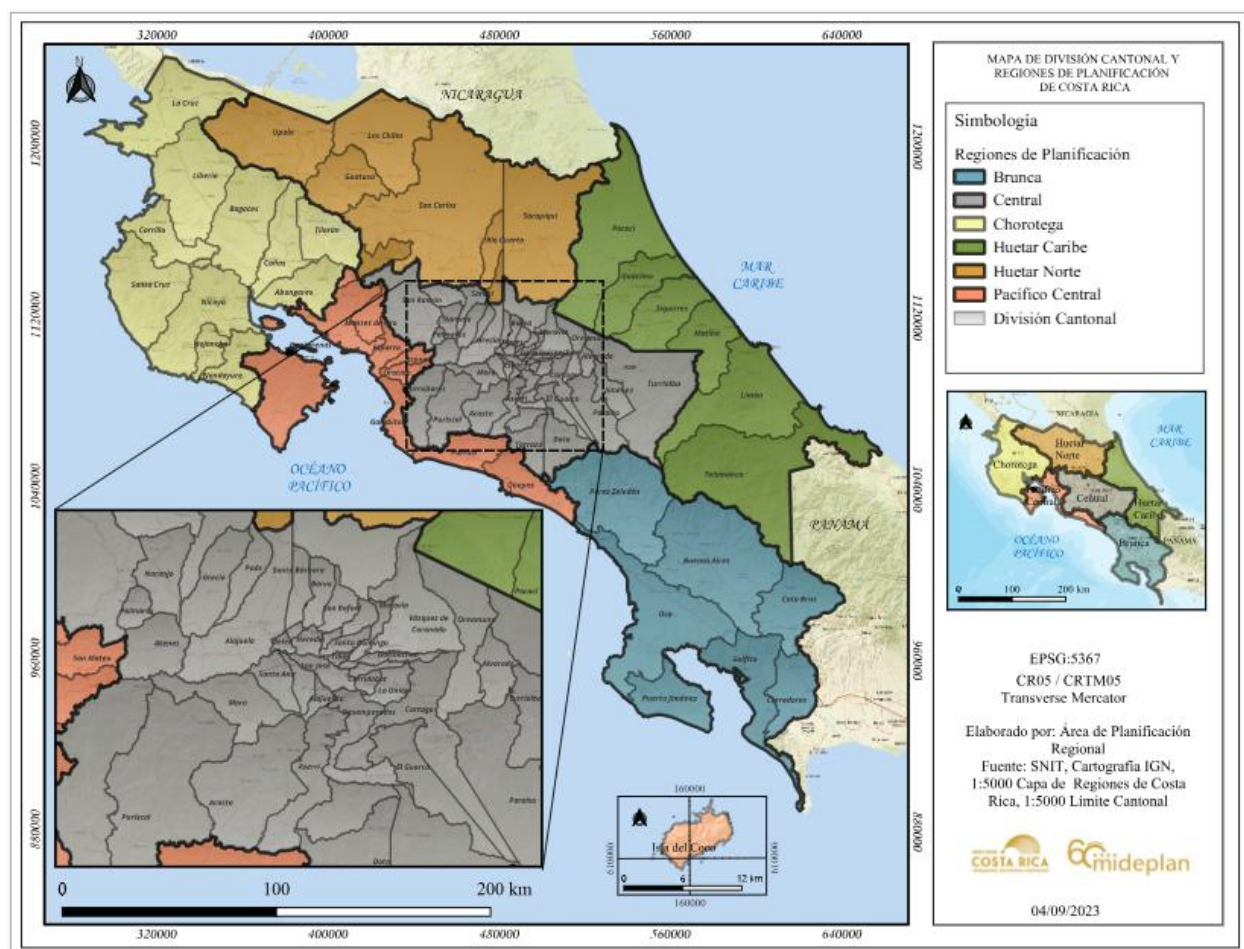


Figura 3. Mapa de división cantonal y regiones de planificación socioeconómica de Costa Rica

Tomado de MIDEPLAN, 2023

En la Tabla 3 se muestran algunas características de las regiones socioeconómicas de Costa Rica.

Tabla 3. Regiones socioeconómicas de Costa Rica

| Región    | Relieve                                                                                                                                                                                      | Clima                                                               | Tipo de suelo                             | Actividades productivas                                                           | Principales ciudades                       | Población | Extensión territorial (km <sup>2</sup> ) |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------|------------------------------------------|
| Central   | Valle Central.<br>Montañas al sur del Valle Central.<br>Zona de los Santos con parte de la Cordillera de Talamanca.<br>Valle de Orosí y Turrialba.<br>Parte oriental de la Sierra de Tilarán | Temperatura promedio: 20°C                                          | -Inceptisoles<br>-Ultisoles<br>-Entisoles | -Cultivo de café, papa, hortalizas<br>-Ganadería de leche<br>-Industria terciaria | San José<br>Alajuela<br>Cartago<br>Heredia | 2.446.028 | 8.528,40                                 |
|           |                                                                                                                                                                                              | Precipitación oscila entre 1.500-3.000mm                            |                                           |                                                                                   |                                            |           |                                          |
|           |                                                                                                                                                                                              | Período seco: noviembre a abril<br>Período lluvioso: mayo-noviembre |                                           |                                                                                   |                                            |           |                                          |
| Chorotega | Faldas occidentales de la Cordillera de Guanacaste.                                                                                                                                          | Cordillera<br>Clima templado                                        | -Inceptisoles<br>-Entisoles               | -Ganadería de carne.                                                              | Liberia<br>Cañas                           | 264.238   | 10.140,71                                |

|                  |                                                                                                                            |                                                                                                                                            |                                                                    |                                                                                              |                                                          |         |          |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------|----------|
|                  | Llanuras del Río Tempisque y sector oriental del Golfo de Nicoya.<br>Región montañosa de Nicoya.<br>Costas y área insular. | Lluvias abundantes<br>Llanuras<br>Temperatura promedio: 35°C<br>Península<br>Clima de influencia marina<br>Precipitación: 1.200mm          | -Vertisoles                                                        | -Cultivo de arroz, frijoles, maíz y caña.<br>-Turismo                                        | Nicoya<br>Santa Cruz<br>Tilarán                          |         |          |
| Pacífico Central | Franja angosta de tierra a lo largo del Océano Pacífico.<br>Reborde montañoso y planicie en el sector oceánico             | Pacífico Norte: semiárido<br>Pacífico Sur: hiperhúmedo                                                                                     | Inceptisoles<br>Ultisoles<br>Entisoles                             | Ganadería de carne<br>Cultivo de frutales<br>Turismo                                         | Puntarenas<br>Esparza<br>Aguirre<br>Orotina              | 201.352 | 2.835,63 |
| Brunca           | Cordillera de Talamanca<br>Valle del General<br>Fila Costeña<br>Planicie Costera                                           | La altitud influye sobre el clima, desde el pie de monte hasta el páramo.<br>Los vientos húmedos del Pacífico provocan abundantes lluvias. | Inceptisoles<br>Ultisoles<br>Histosoles<br>Entisoles<br>Mollisoles | Agricultura intensiva de banano, palma africana, granos, café y caña de azúcar.<br>Ganadería | Pérez Zeledón<br>Buenos Aires<br>Coto Brus<br>Corredores | 299.366 | 9.528,44 |
| Huetar Atlántica | Parte de Cordillera de Talamanca y Cordillera Volcánica Central.<br>Llanura desde el nivel del mar hacia el oeste y sur.   | Clima caliente y húmedo.<br>Abundante precipitación aportada por alisios.                                                                  | Ultisoles<br>Inceptisoles<br>Entisoles                             | Agricultura intensiva de banano, caña de azúcar, arroz, palma africana.                      | Limón<br>Guácimo<br>Pococí                               | 339.295 | 9.188,52 |
| Huetar Norte     | Planicie dilatada y extensa, suavemente ondulada.<br>Llanura de los Guatusos.<br>Llanura de San Carlos                     | Precipitación: 2.500-5.000mm<br>Temperaturas altas en las bajuras y frescas en las faldas de las cordilleras                               | Inceptisoles<br>Histosoles<br>Entisoles<br>Utiholes                | Ganadería<br>Agricultura intensiva de pastos y hortalizas                                    | San Carlos<br>Sarapiquí<br>Upala                         | 259.900 | 9.803,37 |

Adaptado de: (Alvarado R. , 2003) y (Flores Silva, 2001)

## 2.1.2 Aspectos geofísicos y ambientales

### 2.1.2.1 Relieve y geología

Geológicamente Costa Rica pertenece a América Central ístmica un territorio en transformación continua producto de la acción conjunta de las placas Cocos y Caribe, lo cual ocasiona una intensa actividad sísmica y volcánica, que origino la formación de tres estructuras bien definidas: al norte extensas montañas de altitud media que coexisten con llanuras sedimentarias, al centro la “Depresión de Nicaragua” y finalmente el “Orógeno Sur Centroamericano” formado por tres arcos -montañoso, donde se localizan las tierras más antiguas; magmático compuesto por los sistemas montañosos centrales

de Costa Rica y Panamá; y el retroarco, formado por áreas de sedimentación de la región Atlántica-. (González, 1998)

De acuerdo con (González, 1998), la historia geológica de Costa Rica data de hace unos 200 M.A., su formación corresponde al Orógeno Sur Centroamericano. Estructuralmente esta área ha sido clasificada en tres unidades paralelas:

- Arco externo: se caracterizó por la formación de dorsales que más tarde dibujaron arcos de islas cóncavos, se encuentran las rocas más antiguas del área que afloran en las penínsulas de Nicoya, Herradura Osa y Burica;
- Arco interno: permitió el levantamiento del territorio nacional, incluye las cordilleras de Guanacaste, Volcánica Central, y de Talamanca;
- Cuenca del Caribe: se dio la formación de cuencas de sedimentación marina, se distinguen las cuencas de Limón y San Carlos.

En la Figura 4 se muestra en color verde el Arco Externo, también llamado Arco Pacífico, en rojo el Arco Interno, también llamado arco volcánico, y en blanco las cuencas de sedimentación de Limón, San Carlos, Tempisque y Térraba.

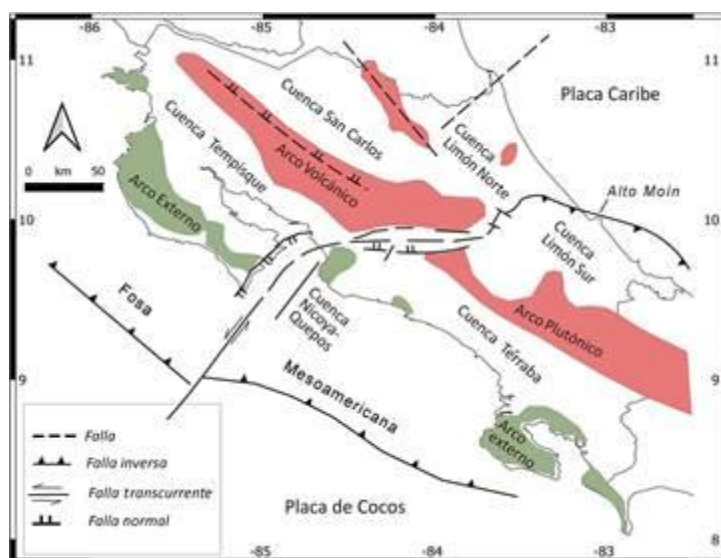


Figura 4. Elementos estructurales de Costa Rica

Tomado de: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0256-70242021000200001](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0256-70242021000200001)

Costa Rica es un territorio geológicamente joven ya que la mayoría de sus materiales son del Cuaternario, especialmente los depósitos aluviales y materiales volcánicos como coladas de lava, cenizas e ignimbritas, los cuales han moldeado el territorio nacional (Flores Silva, 2001). La siguiente tabla describe los principales fenómenos geológicos y las formas de relieve que se originaron en cada edad geológica.

Tabla 4. Esquema geomorfológico de Costa Rica

| Edad        | Eventos geológicos más significativos                                                                                                                                                                           | Formas de relieve                                                                                                                |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cuaternario | Predominio de fenómenos de erosión y sedimentación: depósitos aluviales.<br>Intensificación de procesos de pedogénesis.<br>Vulcanismo actual.                                                                   | Formación de valles, llanuras, terrazas fluviales y marinas, y de conos aluviales piemontanos.<br>Acción de glaciares de altura. |
| Terciario   | Fase orogénica con eventos tectónicos ligados a la Fosa de Nicaragua.<br>Vulcanismo intrusivo y extrusivo.<br>Solevantamiento tectónico del fondo submarino, surgimiento del territorio de Costa Rica y Panamá. | Formación del Valle Central y sierras volcánicas actuales: Guanacaste, Central y Talamanca (Arco Interno).                       |
| Secundario  | Ciclos de sedimentación continental y marina basal y pelágica.<br>Territorio de Costa Rica y Panamá estaba ocupado por canal marino que conectaba el Caribe con el Pacífico.                                    | Formación de penínsulas de Santa Elena, Nicoya y Osa, y las islas del Golfo de Nicoya (Arco Externo).                            |
| Primario    | Formación de islotes emergentes de origen oceánico.                                                                                                                                                             | Áreas de rocas más antiguas del país, especialmente en la Península de Santa Elena.                                              |

Adaptado de: (Flores Silva, 2001)

El relieve de Costa Rica está compuesto por cordilleras, valles y costas, a continuación, se describen los principales accidentes geográficos.

Tabla 5. Relieve de Costa Rica

| Relieve     | Estructuras             | Características                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cordilleras | Volcánica de Guanacaste | Fila de conos volcánicos.<br>Rumbo NW-SE.<br>Volcanes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Orosi 1.487 msnm</li> <li>• Cacao 1.659 msnm</li> <li>• Rincón de la Vieja 1.806 msnm</li> <li>• Miravalles 2.028 msnm</li> <li>• Santa María 1.926 msnm</li> <li>• Tenorio 1.916 msnm</li> <li>• Arenal 1.638 msnm</li> </ul> Separa las planicies del Pacífico y el Caribe. |
|             | Tilarán                 | Elevaciones alrededor de 1.500 msnm.<br>Cerro: Aguacate, Abangares, San Antonio, Tilarán.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|          |                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | Volcánica Central | Fila de conos volcánicos con pasos que favorecen el intercambio de viento y el aporte de humedad desde el Caribe.<br>Volcanes:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Poás: 2.722 msnm</li> <li>• Barva:</li> <li>• Irazú:</li> <li>• Turrialba:</li> </ul>                                                                                                                                                                                                      |
|          | Talamanca         | Formado por rocas sedimentarias marinas y vulcanitas del terciario.<br>Rumbo NW-SE.<br>Elevaciones entre 2.400-3.819 msnm<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Cerro de la Muerte: 3.491 msnm</li> <li>• Kámuk: 3.554 msnm</li> <li>• Chirripó: 3.819 msnm</li> </ul> Separa los Valles del Sur del Caribe.                                                                                                                                                    |
|          | Fila Costera      | Cordón secundario que corre paralelo a la cordillera de Talamanca muy cerca de la costa.<br>Elevaciones entre 770-1707 msnm.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Valles   | Central           | Rumbo: EW-NS.<br>Extensión 50 por 20km.<br>Se divide en varias subcuencas.<br>Se encuentran las ciudades más importantes del país.<br>Elevaciones entre 800-1.400 msnm.<br>Ríos:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiribi</li> <li>• Grande de Tárcoles</li> <li>• Grande de Orosi</li> <li>• Pejibaye</li> <li>• Reventazón</li> </ul>                                                                                                                     |
|          | Del General       | Rumbo: SE-NW.<br>Extensión: 110 por 25 km.<br>Ríos:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande de Térraba</li> <li>• Coto Brus</li> <li>• Pirris</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Llanuras | Caribe            | Cuenca sinclinal del Eoceno.<br>Desciende de la Cordillera Volcánica Central hacia el Mar Caribe.<br>Secciones:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Guatusos</li> <li>• San Carlos</li> <li>• Caribe Norte</li> <li>• Caribe Sur</li> </ul> Ríos drenan hacia el Río San Juan o hacia el Mar Caribe.<br>Ríos:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• San Carlos</li> <li>• Sarapiquí</li> <li>• Estrella</li> <li>• Telire</li> <li>• Sixaola</li> </ul> |

|  |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Pacífico | <p>Planicie que se extiende entre el océano Pacífico y las cordilleras.</p> <p>Secciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempisque</li> <li>• Parrita</li> <li>• Sierpe</li> </ul> <p>Ríos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempisque</li> <li>• Parrita</li> <li>• Grande de Térraba</li> <li>• Sierpe</li> </ul> |
|--|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Adaptado de: (Flores Silva, 2001)

### 2.1.2.2 Hidrografía

A diferencia de los países andinos, los ríos de Costa Rica son de origen pluvial, es decir, dependen del aporte de la precipitación líquida, por lo que están influenciados directamente por clima, mostrando variaciones significativas en función de la estacionalidad, a esto se le conoce como régimen. Se pueden identificar dos regímenes: simple pluvial que es regular con caudales abundantes y constantes; e irregular con insuficiencia de aguas durante la estación seca y llenas temporales durante la estación lluviosa (Flores Silva, 2001).

El país está conformado por 100 cuencas hidrográficas, pero debido a que drenan territorios muy pequeños, se reducen a 34 cuencas hidrográficas, que son de vital importancia para planificación del uso del agua y del suelo (Flores Silva, 2001). Las cuencas más estudiadas son: río Grande de Térraba debido a que concentra el 60% de la población del país, río Reventazón donde se desarrollan importantes proyectos hidroeléctricos y cuenta con su propia legislación, y río Tempisque que cuenta con el distrito de riego más extenso del país y abarca más de 40.000 hectáreas dedicadas a cultivos intensivos como caña de azúcar, arroz y melón (Instituto Meteorológico Nacional, 2011).

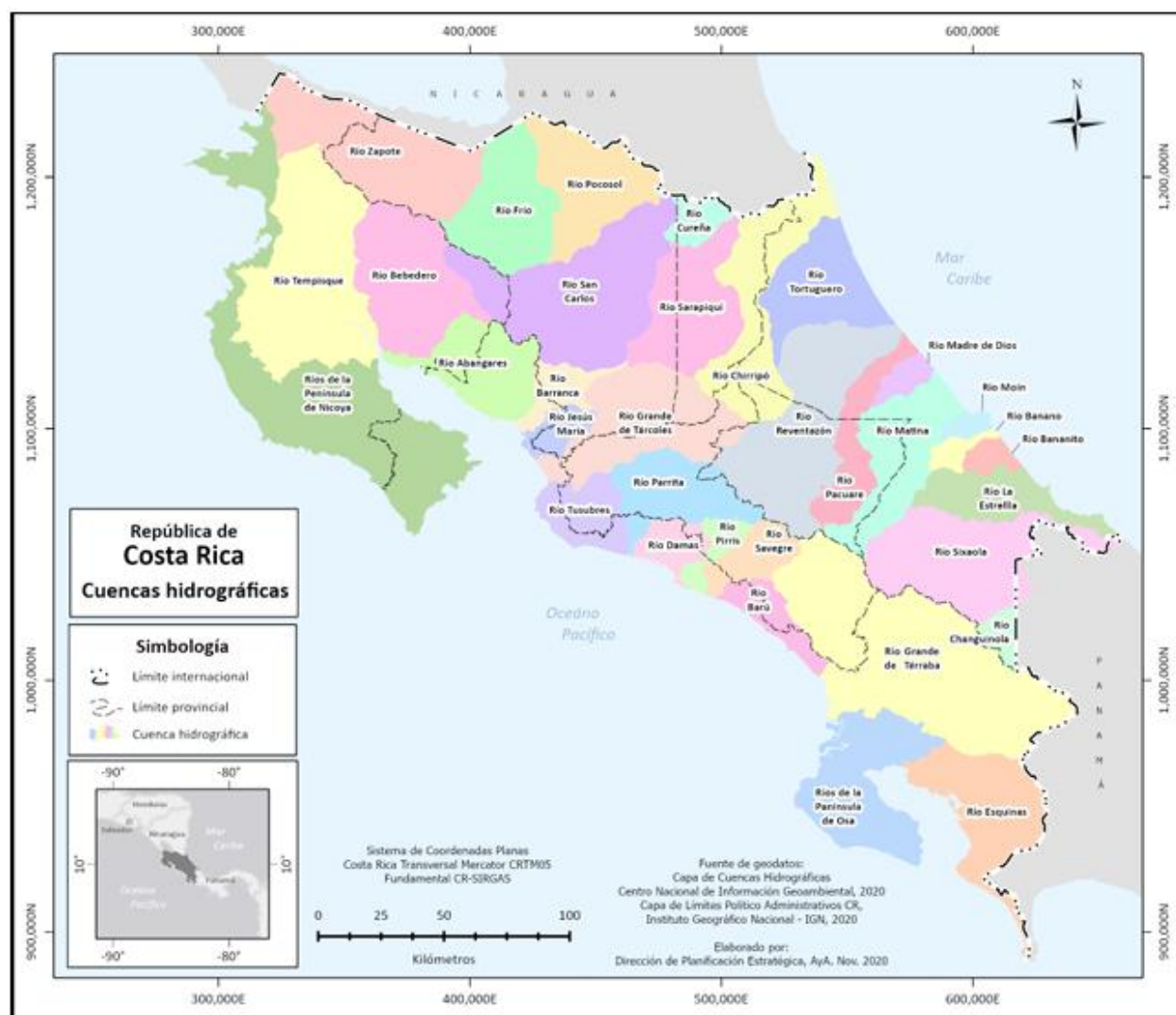


Figura 5. Mapa de cuencas hidrográficas de Costa Rica

Tomado de: AyA, 2020

### 2.1.2.3 Clima

La clasificación climática de Costa Rica se basa en el trabajo desarrollado por Coen (1967), en el cual se determinan 13 tipos de clima, de los cuales nueve son aplicables al país. Para definir estos climas se utilizaron tres aspectos (Solano & Villalobos, Aspectos fisiograficos aplicados a un bosquejo de regionalización geografico climático de Costa Rica, 2001):

- Provincias térmicas: se basa en la temperatura media anual.
  - Microtermal: temperatura inferior a 10 °C, elevación media superior a los 2.000 msnm.

- Mesotermal: temperatura entre 10 y 22 °C, elevación entre 800 y 2.000 msnm.
  - Megatermal: temperatura superior a los 22 °C, elevación de 800 msnm.
- b. Provincias pluviométricas:
- Regiones moderadamente lluviosas: precipitación entre 1.000 y 2.000 mm.
  - Regiones lluviosas: precipitación entre 2.000 y 4.000 mm.
  - Regiones excesivamente lluviosas: precipitación superior a 4.000 mm.
- c. Régimen de lluvia anual:
- I. Excesivo en lluvias del Caribe: presenta precipitación anual excede los 4.000 mm.
  - II. Excesivo en lluvias del Pacífico: similar al del Caribe, presenta disminución de las lluvias entre febrero y abril.
  - III. Lluvioso o Caribe: se encuentra en alturas inferiores a los 600 msnm, presenta disminución de las lluvias entre marzo y abril.
  - IV. Lluvioso con influencia monzónica: lluvias bien distribuidas a lo largo del año, presenta disminución entre enero y abril.
  - V. De sequía: se encuentra desde el nivel del mar hasta los 800 msnm.
  - VI. Faltas de la cordillera de cara al Caribe: se encuentra desde los 600 hasta los 1.600 msnm, presenta una distribución uniforme de las lluvias a lo largo del año.
  - VII. Faldas de la cordillera de cara al Pacífico: presenta temperaturas moderadas y periodos secos entre enero y marzo.
  - VIII. Meseta Central: presenta temperaturas frescas y lluvias moderadas.
  - IX. De altura lluvioso y seco: se encuentra en alturas superiores a los 1.600 msnm, la temperatura es un factor importante.

Adicional a los aspectos supra mencionados, se utilizaron las zonas de vida de Holdridge (1979) para distinguir los tipos de vegetación en función de su franja altitudinal.

La topografía de Costa Rica es muy variada ya que cuenta con valles, llanuras y un eje montañoso que divide al país en tres regiones fisiográficas, norte, central y sur, las cuales

sumadas al sistema de vientos predominantes (alisios), permiten la clasificación del país en siete regiones climáticas con dos estaciones bien definidas, seca y húmeda (Solano & Villalobos, Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica, s.f.):

- Región Tropical del Pacífico:
  - Región Pacífico Norte
  - Región Pacífico Central
  - Región Pacífico Sur
- Región Central Intermontana:
  - Montañosa Sur
  - Región Valle Central
- Región Tropical Húmeda del Caribe:
  - Región Norte
  - Región Atlántica



Figura 6. Mapa de regiones climáticas de Costa Rica

Tomado de: IMN, 2022

### 2.1.2.1 Áreas protegidas

Costa Rica cuenta con 151 áreas silvestres protegidas (INEC, 2023), las cuales son administradas por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) a través del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) y protegen el 25% del territorio nacional en nueve categorías de manejo que representan 13.017 km<sup>2</sup> a nivel terrestre y 14.830 km<sup>2</sup> marinos (Chacón, 2019).

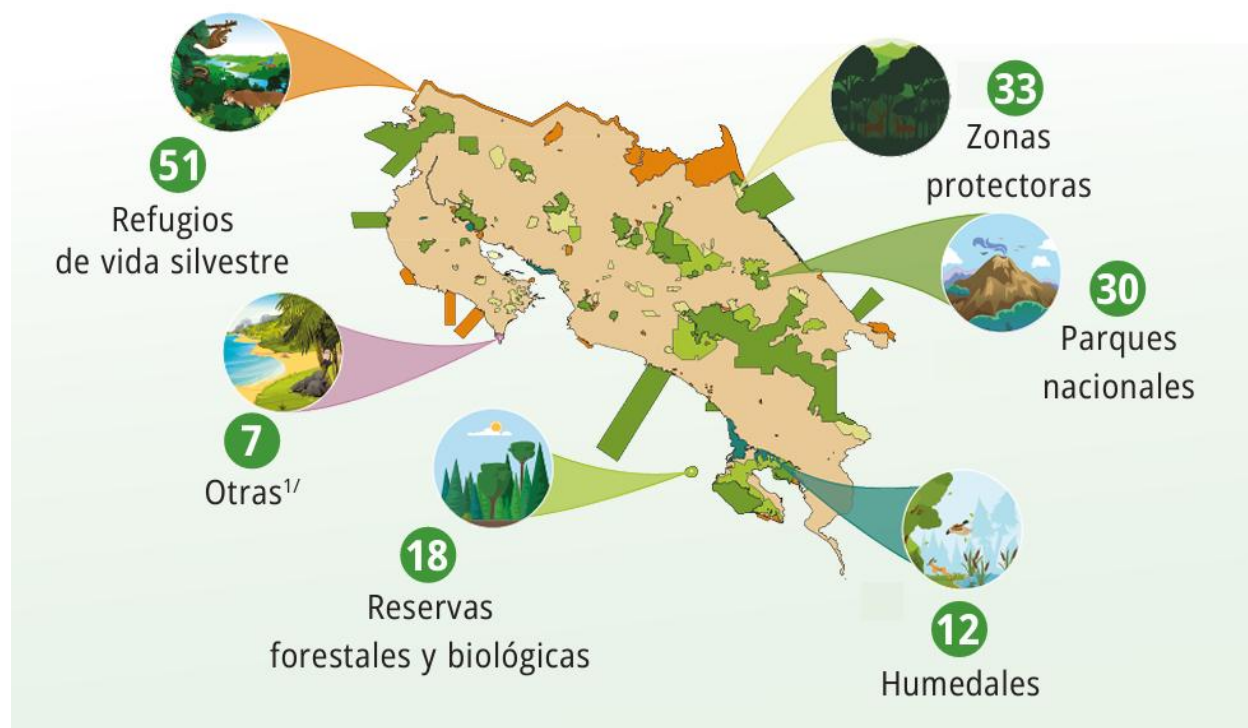
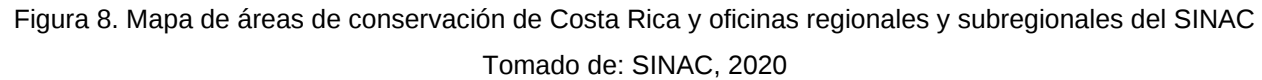


Figura 7. Áreas silvestres protegidas de Costa Rica, 2023

Tomado de: INEC, 2023

Estas áreas protegidas están definidas por la Ley de Biodiversidad de 1998 y son espacios geográficos designados con una categoría de manejo en virtud de su importancia natural, cultural y/o socioeconómica, para cumplir con determinados objetivos de conservación y de gestión.



|                             |                                                                                                                                                              |                                                       |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                             | Bosque tropical seco<br>Bosque pluvial montano bajo<br>Generación energía hidroeléctrica<br>Producción de energía eólica y geotérmica                        | Parque Nacional Volcán Miravalles                     |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Volcán Tenorio                        |
|                             |                                                                                                                                                              | Reserva Biológica Lomas de Barbudal                   |
|                             |                                                                                                                                                              | Refugio Nacional de Vida Silvestre Cipanci            |
|                             |                                                                                                                                                              | Reserva Forestal Taboga                               |
| Central (ACC)               | Volcanes<br>Recurso hídrico<br>Paramo<br>Bosque nuboso<br>Patrimonio arqueológico                                                                            | Monumento Nacional Guayabo                            |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Braulio Carrillo                      |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional La Cangreja                           |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Los Quetzales                         |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Tapantí                               |
|                             |                                                                                                                                                              | Macizo de la Muerte                                   |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Volcán Irazú                          |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Volcán Poás                           |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Volcán Turrialba                      |
| Guanacaste (ACG)            | Ecosistemas marino-costeros<br>Bosque tropical seco<br>Bosque tropical lluvioso<br>Bosque tropical nuboso                                                    | Reserva Biológica Alberto Brenes                      |
|                             |                                                                                                                                                              | Reserva Forestal Grecia                               |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Rincón de la Vieja                    |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional San Rosa                              |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Guanacaste                            |
|                             |                                                                                                                                                              | Refugio de Vida Silvestre Junquillal                  |
| La Amistad Caribe (ACLAC)   | Territorios indígenas<br>Arrecifes coralinos<br>Bosque tropical lluvioso                                                                                     | Refugio de Vida Silvestre Corredor Fronterizo         |
|                             |                                                                                                                                                              | Refugio de Vida Silvestre Iguanita                    |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Internacional La Amistad                       |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Barbilla                              |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Cahuita                               |
|                             |                                                                                                                                                              | Reserva Biológica Hitoy Cerere                        |
|                             |                                                                                                                                                              | Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo |
| La Amistad Pacífico (ACLAP) | Territorios indígenas<br>Lagos de origen glaciar<br>Sabanas de altura<br>Paramos subalpinos<br>Bosque nuboso<br>Robledales<br>Humedales de altura (turberas) | Reserva Forestal Pacuare-Matina                       |
|                             |                                                                                                                                                              | Reserva Forestal Pacuare                              |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Internacional La Amistad                       |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Chirripo                              |
| Marina Cocos (ACMC)         | Arrecifes coralinos<br>Bosque lluvioso                                                                                                                       | Reserva Biológica Pájaro Campana                      |
|                             |                                                                                                                                                              | Reserva Forestal Los Santos                           |
| Osa (ACOSA)                 | Patrimonio arqueológico<br>Bosque tropical húmedo<br>Bosque tropical muy húmedo<br>Bosque lluvioso                                                           | Parque Nacional Isla del Coco                         |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Corcovado                             |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Marino Ballena                        |
|                             |                                                                                                                                                              | Parque Nacional Piedras Blancas                       |

|                    |                                                                                   |                                                                                                                                            |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | Arrecifes coralinos<br>Humedales                                                  | Reserva Biológica Isla del Caño                                                                                                            |
|                    |                                                                                   | Reserva forestal Golfo Dulce                                                                                                               |
|                    |                                                                                   | Refugio de vida silvestre<br>Pejeperro                                                                                                     |
| Tempisque          | Bosques secos<br>Bosque húmedo<br>Tacotales<br>Pastizales<br>Lagunas<br>Manglares | Parque Nacional Marino Las<br>Baulas<br>Parque Nacional Barra Honda<br>Parque Nacional Diría<br>Refugio de Vida Silvestre Playa<br>Conchal |
| Tortuguero (ACOTo) | Bosque húmedo tropical<br>Canales<br>Manglares<br>Playas para desove de tortugas  | Parque Nacional Tortuguero<br>Refugio de Vida Silvestre Barra<br>del Colorado                                                              |

Adaptado de: SINAC, 2024

## 2.1.3 Aspectos socioeconómicos

### 2.1.3.1 Aspectos demográficos

De acuerdo con datos del (INEC, 2023), la población total de Costa Rica al 2023 era de 5.262.237 habitantes, con un total de 2.648.531 hombres y 2.613.705 mujeres. La tasa bruta de natalidad es de 9,54 por cada mil habitantes, mientras que la tasa de mortalidad es de 5,55 por cada mil habitantes.

Tabla 7. Porcentaje de población de 5 años o más por nivel de instrucción, Costa Rica, 2023

| Población |         | Nivel de escolaridad (%) |          |            |         |                     |          |
|-----------|---------|--------------------------|----------|------------|---------|---------------------|----------|
|           |         | Sin<br>escolarización    | Primaria | Secundaria | Técnica | Educación superior  |          |
|           |         |                          |          |            |         | Pregrado<br>y grado | Posgrado |
| Urbana    | Hombres | 47                       | 46       | 47         | 45      | 43                  | 47       |
|           | Mujeres | 53                       | 54       | 53         | 55      | 57                  | 53       |
| Rural     | Hombres | 53                       | 50       | 50         | 49      | 43                  | 51       |
|           | Mujeres | 49                       | 49       | 49         | 51      | 57                  | 50       |

Adaptado de: INEC, 2023



Figura 9. Demanda laboral por establecimientos según actividad económica, Costa Rica, 2023

Adaptado de: INEC, 2023

La tasa de desempleo de acuerdo con (INEC, 2023) es de 8,0% para hombres y 12,1% para mujeres, mientras que la tasa de ocupación es de 63,9% para hombres y 38,4% para mujeres. En la Figura 10 se observa el comportamiento anual de la tasa de desempleo del periodo de estudio.

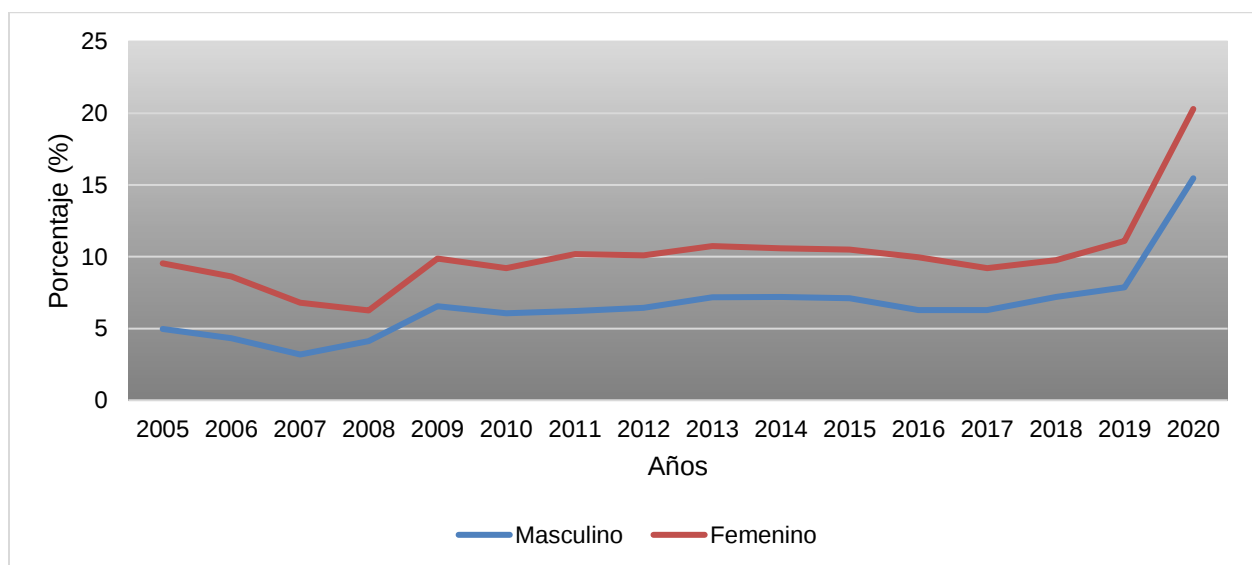


Figura 10. Tasa de desempleo por sexo, Costa Rica, 2005-2020

Adaptado de: INEC, 2023

### 2.1.3.2 Aspectos económicos

Costa Rica posee una economía estable y una inflación moderada que el actual Gobierno ha logrado reducir. Para el 2022, la producción costarricense creció un 4,3%, concentrado en la productividad de las zonas francas, evidenciando que son el principal motor de la económica del país. (Programa Estado de la Nación, 2023). Durante el 2024 la economía costarricense creció un 5,1% gracias al aporte de los sectores de manufactura y las actividades científicas, técnicas y administrativas. (Córdoba & Robalino, 2023)

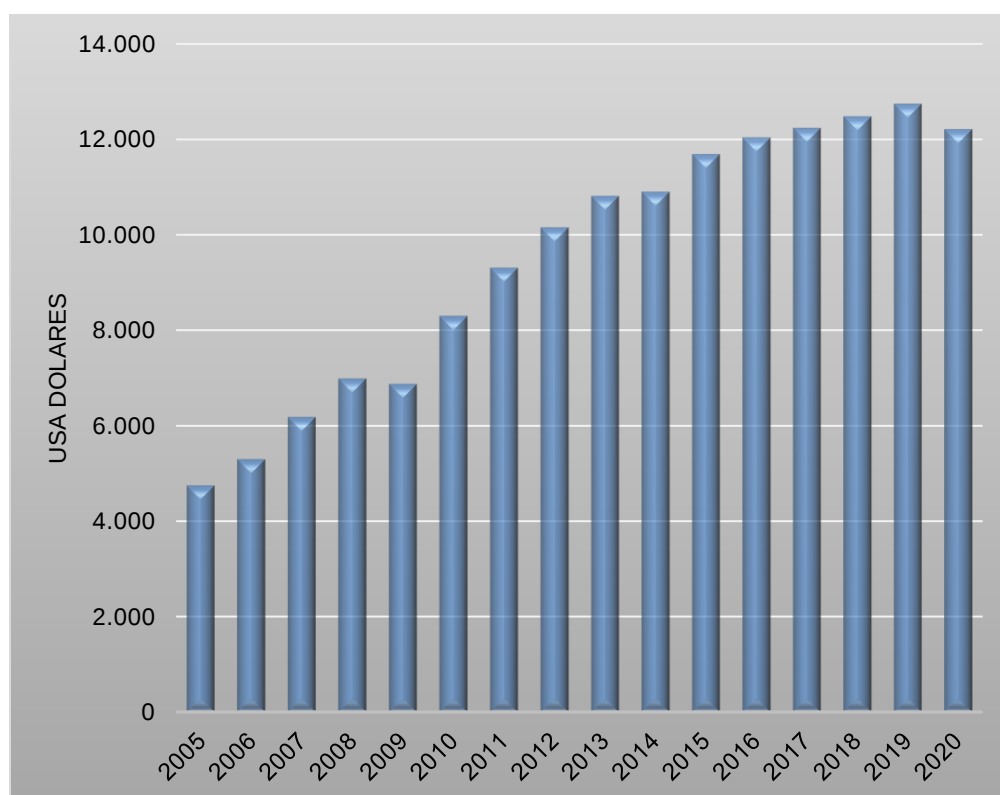


Figura 11. PIB nominal per cápita en dólares para Costa Rica, 2005-2020

Adaptado de: Estado de la Nación, 2023, con datos del BCCR

## 2.2 Caracterización del área de estudio: cuenca del río Tempisque

La cuenca del río Tempisque se encuentra en la provincia de Guanacaste y forma parte de la región socioeconómica Chorotega. Desde hace muchos años, esta cuenca ha sufrido muchas transformaciones biofísicas, productivas y sociales.

### 2.2.1 Aspectos geofísicos y ambientales

“El río Tempisque es el cuerpo de agua superficial más grande e importante de la Provincia de Guanacaste en Costa Rica” (Mendez, 2022), pertenece a la vertiente del océano Pacífico y recorre gran parte del territorio.

Esta cuenca “está dividida en tres secciones: la parte superior cubierta de bosques localizada en la cordillera volcánica de Guanacaste; la parte media con terrenos ondulados dedicados a la agricultura y localizados en la meseta de Santa Rosa, entre Liberia y Cañas, y la parte inferior compuesta de llanuras y marismas sujeta a inundaciones en muchas áreas, conocida como la Bajura del Tempisque” (Asamblea Legislativa, 2016).

Tabla 8. Distribución territorial de la región Pacífico Norte

| Cuenca    | Cantón     | Área (km <sup>2</sup> ) | Perímetro (km) |
|-----------|------------|-------------------------|----------------|
| Tempisque | La Cruz    | 63,32                   | 65,96          |
|           | Upala      | 0,18                    | 15,09          |
|           | Liberia    | 1.337,65                | 192,09         |
|           | Bagaces    | 381,03                  | 184,65         |
|           | Cañas      | 4,53                    | 15,92          |
|           | Carrillo   | 509,08                  | 18,70          |
|           | Santa Cruz | 650,84                  | 144,92         |

Adaptado de: Instituto Meteorológico Nacional, 2011

#### 2.2.1.1 Relieve y geología

En la cuenca del río Tempisque la altitud máxima se alcanza en las estribaciones del Volcán Rincón de la Vieja con elevaciones entre los 844 y 1.900 msnm, la cuenca media se sitúa entre 211 y 844 msnm, mientras que la cuenca baja que representa el 90%, se sitúa entre 0 y 211 msnm (Instituto Meteorológico Nacional, 2011).

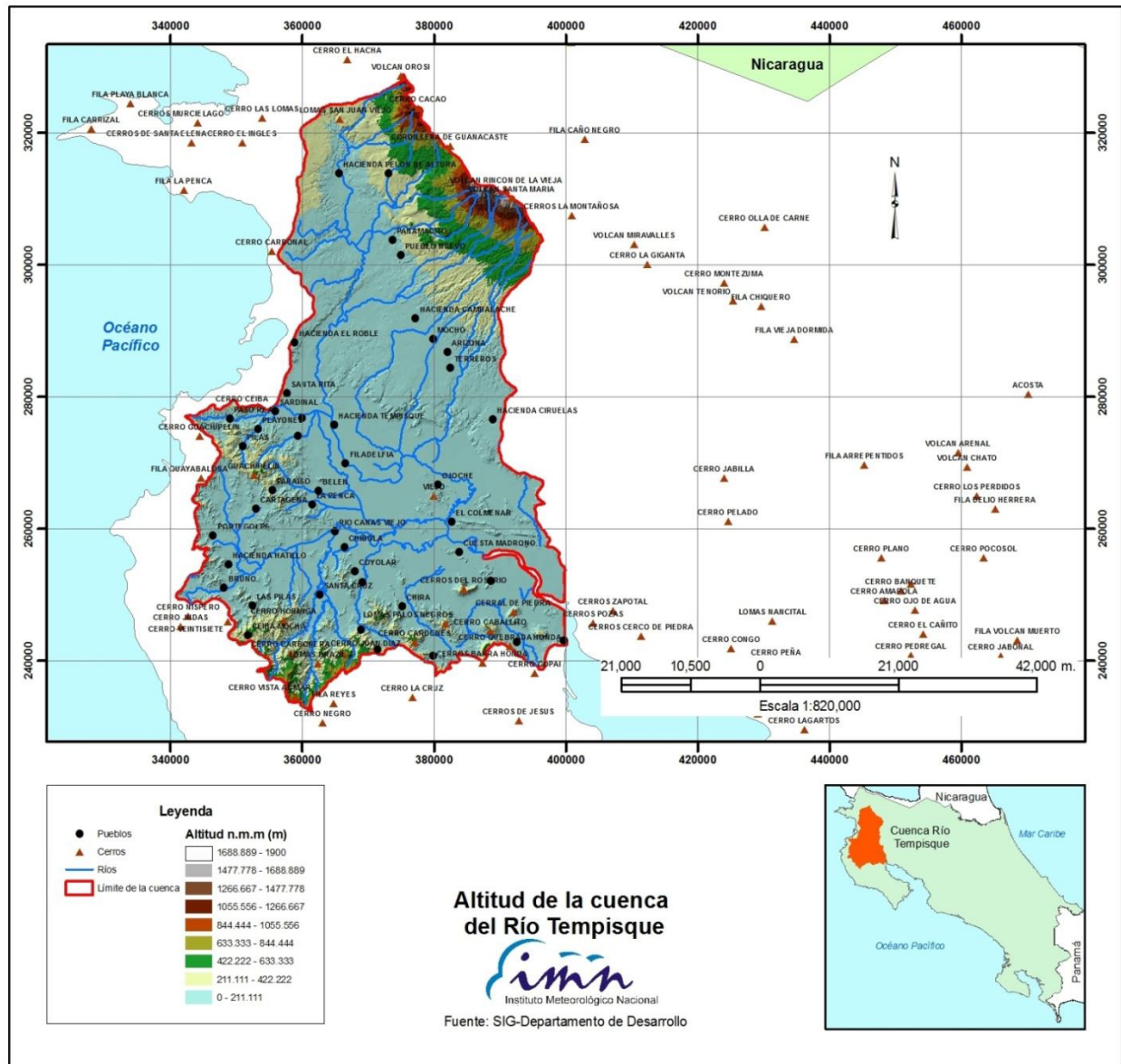


Figura 12. Distribución altitudinal de la cuenca del río Tempisque

Tomado de: (Instituto Meteorológico Nacional, 2011)

El origen geológico de esta cuenca es volcánico del Plio-Pleistoceno y Mioceno hacia el norte, con predominancia de rocas volcánicas y piroclásticas, mientras que el sector medio está formado por rocas sedimentarias continentales, de transición y marino someros del Holoceno con ígneas submarinas, intrusivas y sedimentarias profundas del Cretácico, plataforma (Paleoceno) y marino someras (Plio-Pleistoceno) (Instituto Meteorológico Nacional, 2011).

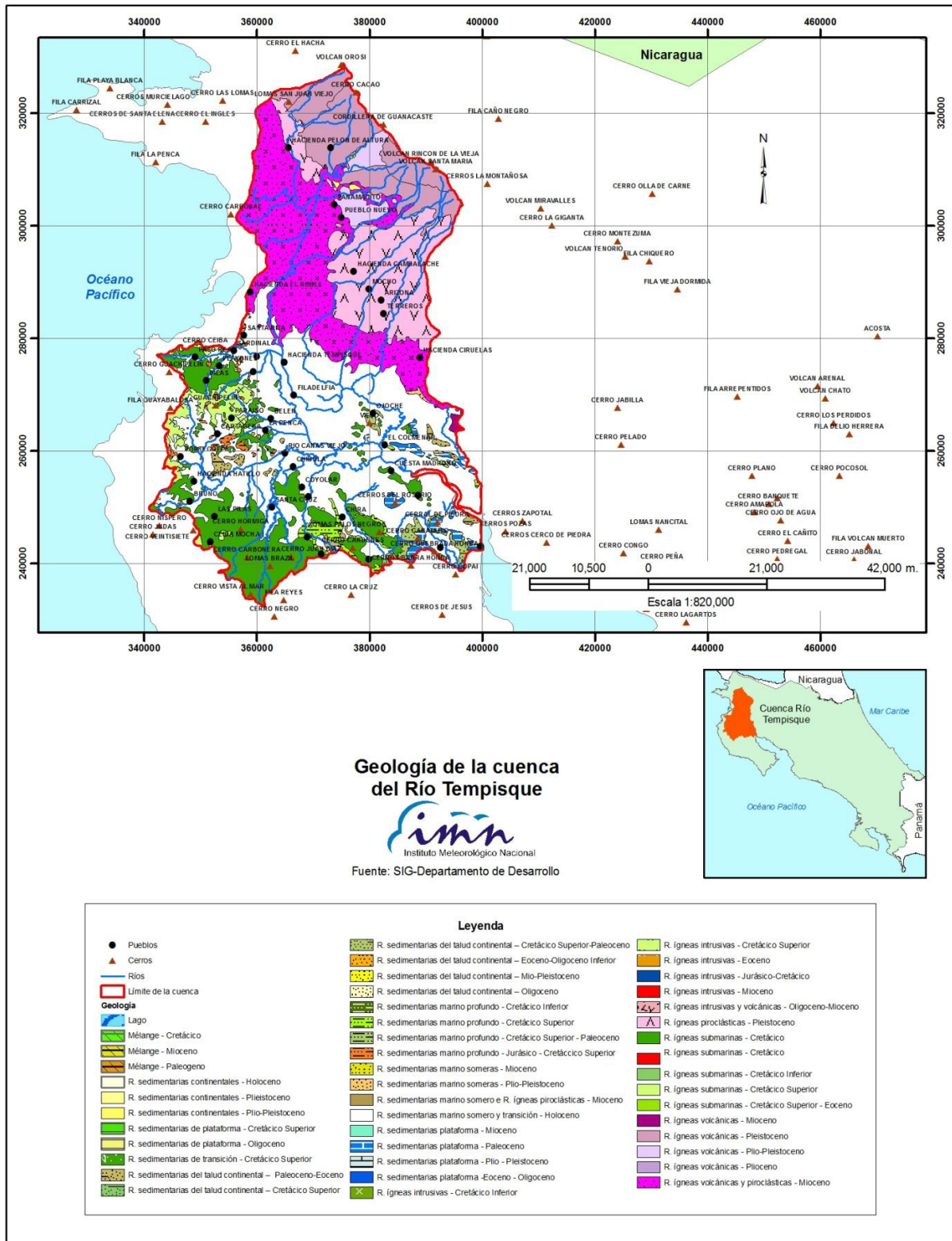


Figura 13. Geología de la cuenca del río Tempisque

Tomado de: (Instituto Meteorológico Nacional, 2011)

En el sector norte, la cuenca muestra un colapso estructural, así como fallas con rumbo NW-SE y NE-SW, además de un eje de depresión tectónica con rumbo NW-SE. En el sector sur y suroeste presenta fallas y pliegues NW-SE y NE-SW (Instituto Meteorológico Nacional, 2011).

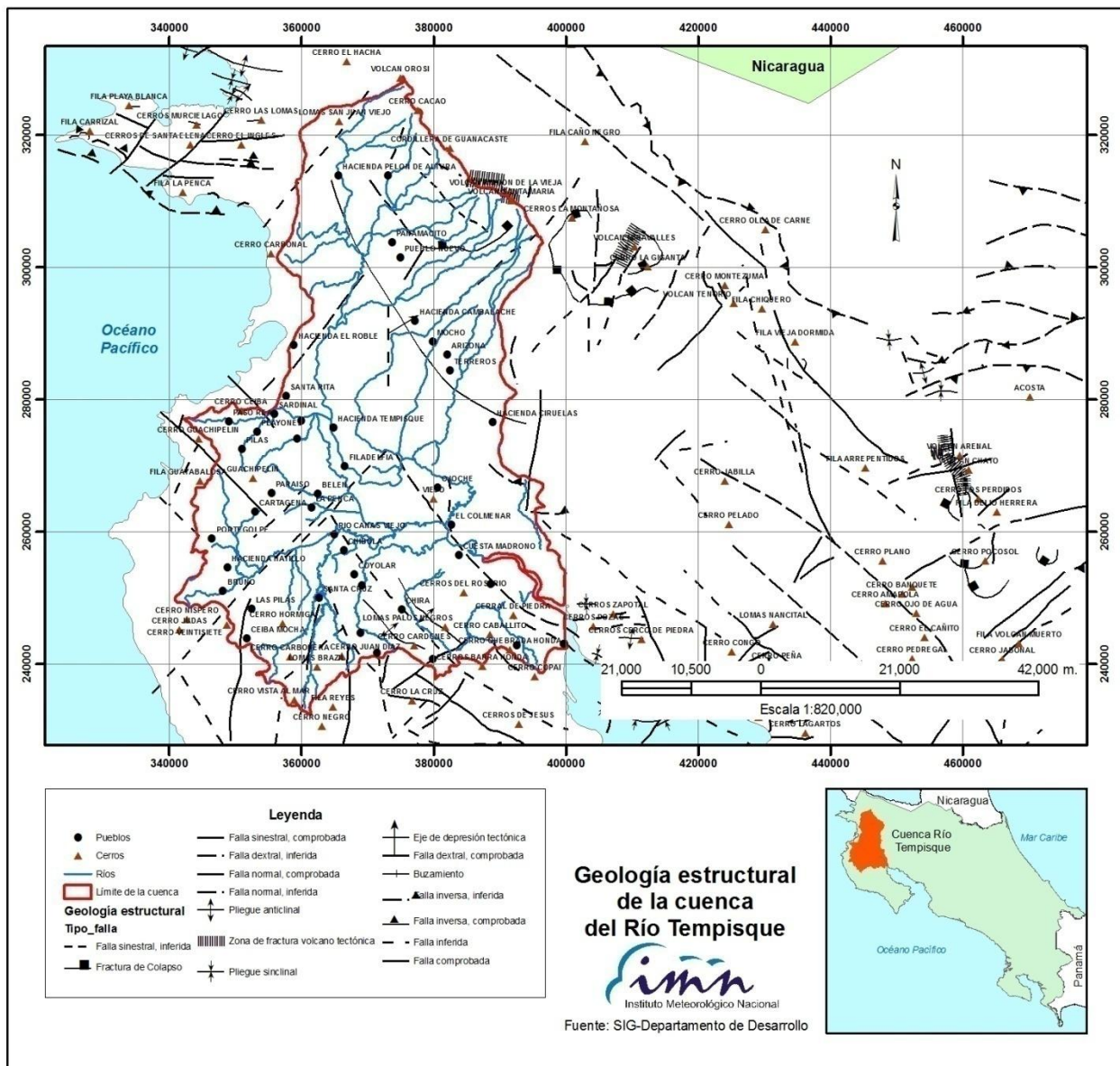


Figura 14. Geología estructural de la cuenca del río Tempisque

Tomado de: (Instituto Meteorológico Nacional, 2011)

### 2.2.1.2 Hidrografía

El río Tempisque tiene un área de 3.354,83km<sup>2</sup> lo que representa el 6,56% de la superficie nacional, está formada por la confluencia de los ríos Tempisquito y Ahogados, sus principales afluentes son los ríos Bebedero, Salto, Piedras, Colorado y Bolsón (Instituto Meteorológico Nacional, 2011), la mayor parte de los afluentes se encuentran en el lado derecho de la cuenca, en la parte alta de la misma.

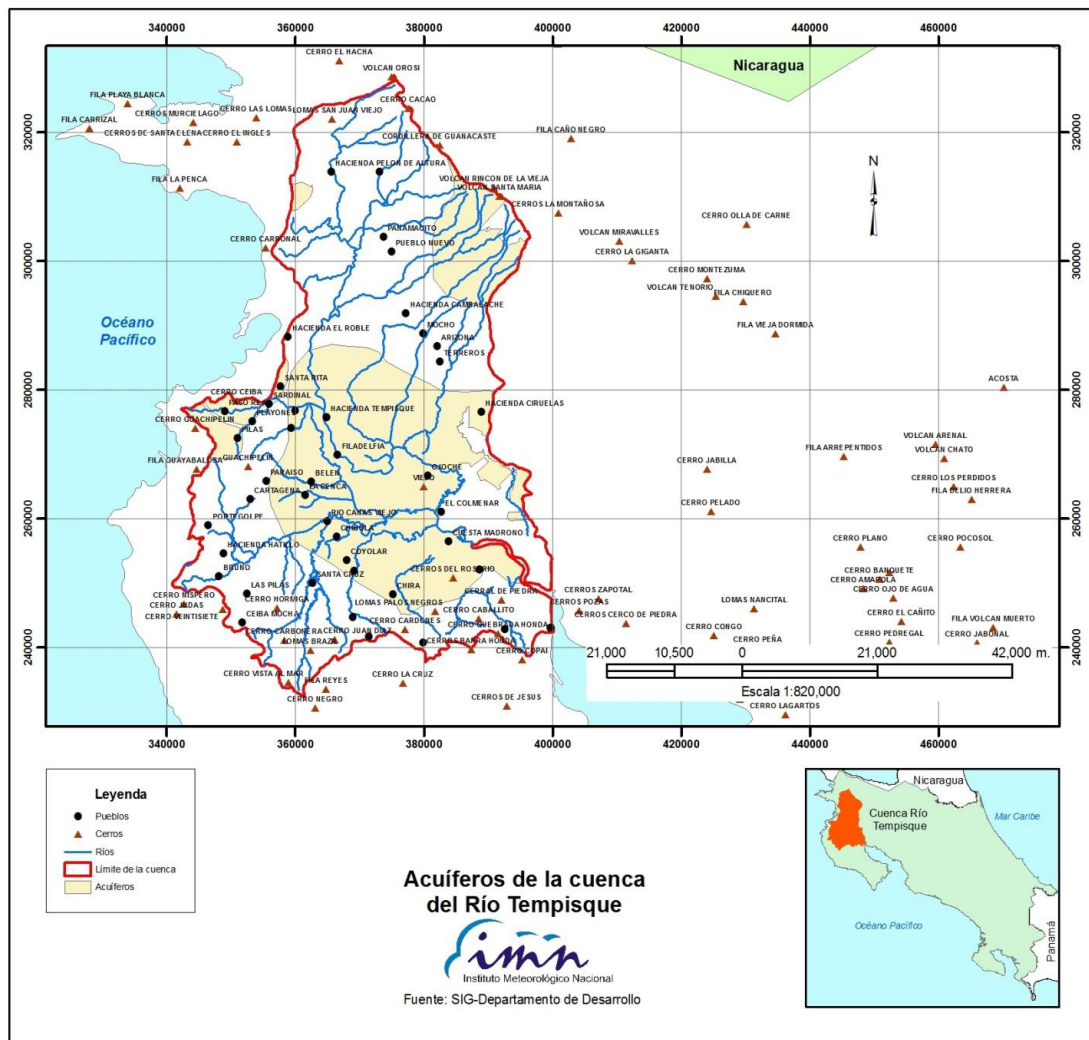


Figura 15. Mapa de acuíferos de la cuenca del río Tempisque

Tomado de: (Instituto Meteorológico Nacional, 2011)

“Dentro de la cuenca se encuentra el acuífero Tempisque (caudal promedio 20-100 L/s, espesor 30 m) y parte de los acuíferos Brasilito (caudal promedio 0,5 L/s, espesor 10 m)

y El Coco (caudal promedio 1-5 l/s, espesor 20 m)” (Instituto Meteorológico Nacional, 2011).

Tabla 9. Dimensiones geográficas de la cuenca

|                              | Cuenca del Río Tempisque |
|------------------------------|--------------------------|
| Área                         | 3.382,07 km <sup>2</sup> |
| Perímetro                    | 365,41 km                |
| Índice de compacidad         | 1,76                     |
| Factor de forma              | 0,56                     |
| Altitud máxima               | 1.900 msnm               |
| Altitud mínima               | 0,00 msnm                |
| Altitud media                | 169,40 msnm              |
| Longitud del cauce           | 142,19 km                |
| Pendiente media del cauce    | 3,87%                    |
| Pendiente media de la cuenca | 10,29%                   |

Adaptado de: (Instituto Meteorológico Nacional, 2011)

### 2.2.1.3 Suelo

Esta cuenca está compuesta por una gran variedad de suelos, destacan los alfisoles, Inceptisoles, vertisoles, entisoles y molisoles (Instituto Meteorológico Nacional, 2011).

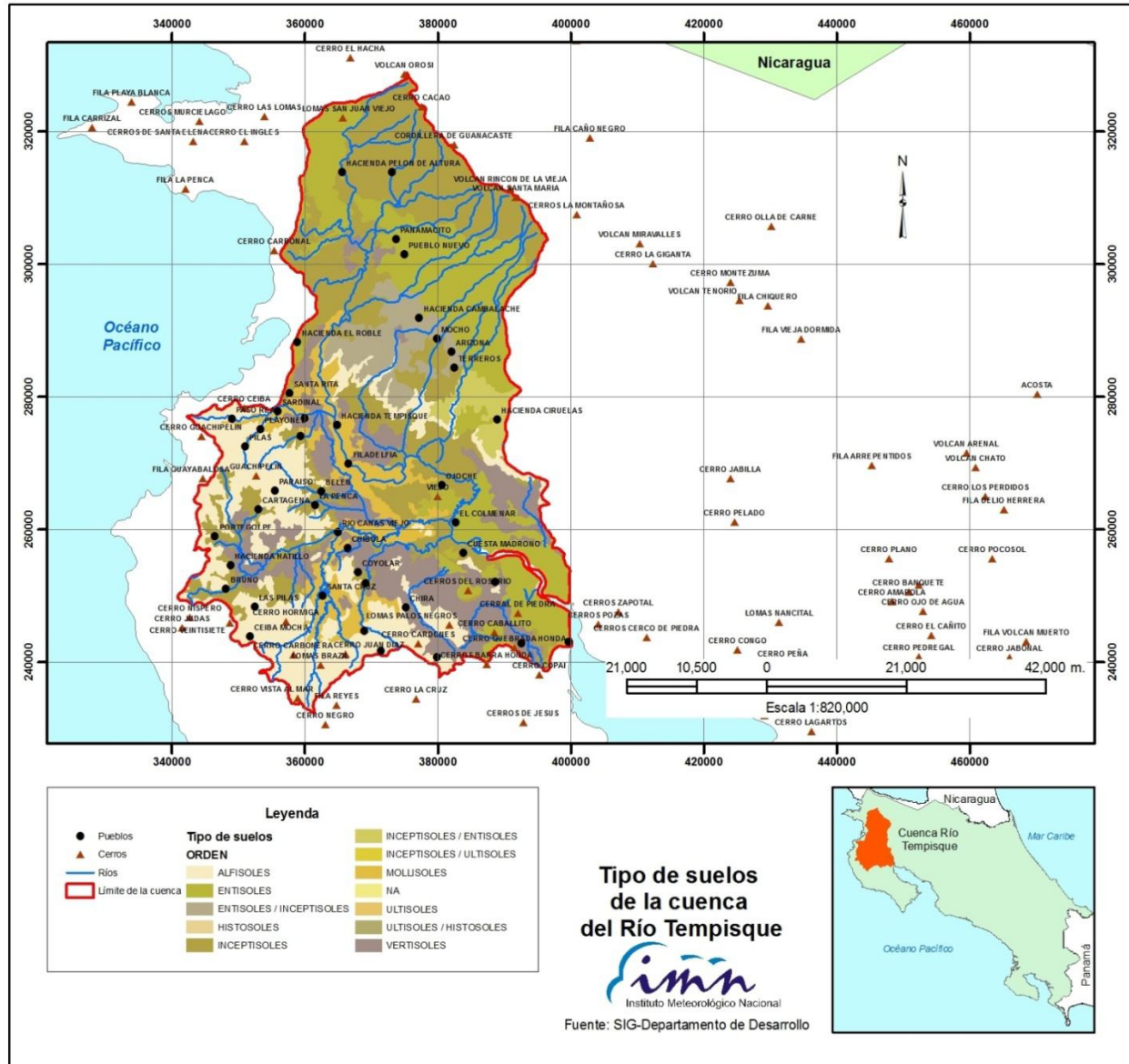


Figura 16. Tipos de suelos de la cuenca del río Tempisque

Tomado de: (Instituto Meteorológico Nacional, 2011)

### 2.2.1.4 Clima

El área de estudio está enmarcada en la región climática Pacífico Norte que comprende las provincias de Guanacaste, Puntarenas (cantones Esparza y Montes de Oro) y Alajuela (cantones Orotina y San Mateo). Pertenece al régimen de precipitación del Pacífico, presenta un período seco y otro lluvioso bien definido. Se caracteriza por la severidad del clima en la planicie Guanacasteca, donde se presentan prolongados

períodos secos. Es una de las regiones más extensas y con gran diversidad climática, razón por la cual ha sido dividido en cuatro subregiones:

- PN1: Occidental de la Península de Nicoya,
- PN2: Central del Pacífico Norte,
- PN3: Base y faldas de las cordilleras de Guanacaste y Tilarán, y
- PN4: Cuenca baja de los ríos Barranca y Tárcoles.

Tabla 10. Características de la región geográfico-climática Pacífico Norte

| Subregión | Tipo de clima                     | Ubicación geográfica                                     | Tipo de vegetación                                                                                                                                                                                                                                                                        | Ubicación geográfica                                                                |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| PN1       | Lluvioso con influencia monzónica | Parte costera de Península de Nicoya.                    | <b>Bosque seco tropical:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación (mm): 1.100 a 1.500.</li> <li>• Biotemperatura (°C): 24.,0 a 24,5.</li> <li>• La mayoría de las especies son deciduas, con fustes cortos, gruesos y poco densos. Las epífitas son escasas.</li> </ul> | En toda la subregión                                                                |
|           | De sequia                         | Sobre la Península de Nicoya y el resto de la subregión. | <b>Bosque seco tropical</b>                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                     |
| PN2       | De sequia                         | En toda la subregión                                     | <b>Bosque seco tropical</b>                                                                                                                                                                                                                                                               | En toda la subregión                                                                |
| PN3       | Lluvioso con influencia monzónica | En toda la subregión                                     | <b>Bosque seco tropical</b>                                                                                                                                                                                                                                                               | En franja estrecha en la pendiente de la cordillera de Guanacaste del lado Pacífico |
|           |                                   |                                                          | <b>Bosque húmedo subtropical:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación (mm): 1.000 a 2.000.</li> <li>• Biotemperatura (°C): 17,0 a 24,5.</li> <li>• El bosque es semideciduo y poco denso. Las epífitas son abundantes.</li> </ul>                                      | En el resto de la subregión                                                         |
| PN4       | Lluvioso con influencia monzónica | En toda la subregión                                     | <b>Bosque seco tropical</b>                                                                                                                                                                                                                                                               | En toda la subregión                                                                |

Adaptado de: (Solano & Villalobos, Aspectos fisiograficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climático de Costa Rica, 2001) y (Solano & Villalobos, Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica, s.f.)

Existe poca variabilidad en cuanto a la temperatura media, por lo cual se clasifica como isotermal, siendo la temperatura media anual de 27,4 °C; las temperaturas más altas oscilan entre 27,1 y 30,2 °C y se registran en la cuenca media baja durante el mes de abril; las temperaturas más bajas oscilan entre 24,6 y 27 °C y varían entre setiembre y diciembre. Se observa una marcada oscilación entre la temperatura mínima y máxima diaria, variando hasta en 8,5 y 12 °C. (Mateo, 2021)

La cuenca del río Tempisque puede clasificarse como “un clima de tropical cálido con una estación de lluvias a partir de mayo hasta octubre y una estación seca y de transición en los demás meses del año. En el clima de Köppen-Geiger las regiones se clasifican como Aw (clima tropical de sabana)” (Climate Service Center Germany & Instituto Meteorológico Nacional, 2020).

Tabla 11. Resumen de variables climáticas, cuenca del río Tempisque

| Variable     | Temperatura media anual (°C) | Precipitación (mm/año) | Evapotranspiración (mm/año) | Brillo solar (h/día) |
|--------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Cuenca alta  | 22-24                        | 1.500-3.000            | 1.200-1.300                 | 3 a 4                |
| Cuenca media | 26-28                        | 1.500-2.000            | 1.900-2.000                 | 6 a 7                |
| Cuenca baja  | Alrededor de 28 °C           | 1.500-3.000            | 1.600-1.900                 | 6 a 7                |

Adaptado de: (Climate Service Center Germany & Instituto Meteorológico Nacional, 2020)

En la cuenca del río Tempisque pueden producirse graves inundaciones, con mayor frecuencia alrededor de octubre. La mayoría de las inundaciones se presentan en la parte central de Guanacaste, en la cuenca baja del río Tempisque. “En el Pacífico Norte, las inundaciones pueden durar de 3 a 4 días en promedio y hasta 10 días en casos extremos. En esos períodos, las precipitaciones se acumulan hasta un promedio de entre 100 a 300 mm. Durante algunos temporales se han registrado acumulados de 400 a 700 mm. En los períodos de tormenta el acumulado máximo de lluvia está entre 250 y 380 mm.” (Climate Service Center Germany & Instituto Meteorológico Nacional, 2020)

#### 2.2.1.5 Zonas de vida

Las zonas de vida son áreas terrestres definidas por parámetros de precipitación (isoyetas), elevación (curvas de nivel) y temperatura (isotermas); permiten definir

ecosistemas y crear mapas ecológicos para clasificar un área determinada. (Instituto Nacional de Aprendizaje, s.f.)

Debido a las variaciones altitudinales en la cuenca del río Tempisque se encuentran ocho zonas de vida, en las estribaciones del volcán Rincón de la Vieja encontramos bosque pluvial montano bajo y conforme disminuye la elevación pasamos a bosque pluvial premontano y una franja de bosque húmedo tropical transición a premontano. En la cuenca media tenemos bosque húmedo tropical, y en la cuenca baja un 75% es bosque húmedo premontano transición a basal y un 25% es bosque tropical seco, bosque húmedo tropical transición a seco, y bosque húmedo premontano transición a basal (Instituto Meteorológico Nacional, 2011).

Tabla 12. Zonas de vida de la cuenca del río Tempisque

| Cuenca | Zona de vida                                   | Altitud (msnm) | Precipitación (mm) | Temperatura (°C) | Características                                                                                                     | Especies relevantes                                                                                                                       |
|--------|------------------------------------------------|----------------|--------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alta   | Bosque pluvial montano bajo                    | 1.600-2.600    | 2.200-4.500        | 6-12             | -No existe periodo seco.<br>-Presenta limitaciones para las actividades agropecuarias y forestales.                 | <i>Quercus sp.</i><br>Copey<br>Cedrillo<br>Yos                                                                                            |
|        | Bosque pluvial premontano                      | 600-1.600      | Superior a 4.000   | 17-24            | -No existe periodo seco.<br>-Presenta limitaciones para las actividades agropecuarias y forestales.                 | <i>Ulmus mexicana</i><br><i>Quercus sp.</i><br>Familias Myrtaceae,<br>Melastomataceae,<br>Rosaceae,<br>Lauraceae                          |
|        | Bosque húmedo tropical transición a premontano | 1500-2000      | 2.000-4.000        | 24-30            | -Alta pluviosidad.<br>-Confluencia de grupos de especies.<br>-Marcados periodos climáticos húmedos y menos húmedos. | <i>Fabaceae</i><br><i>Enterolobium sp.</i><br><i>Handroanthus sp</i>                                                                      |
| Media  | Bosque húmedo tropical                         | 0-4000         | 1.950-3.000        | 24-25            | -Período seco muy variable.                                                                                         | <i>Cordia alliodora</i><br><i>Carapa guianensis</i><br><i>Terminalia amazonia</i><br><i>Virola koschnyi</i><br><i>Brosimum alicastrum</i> |
| Baja   | Bosque húmedo                                  | 500-1000       | 2.000-4.000        | 18-24            | -Abundante precipitación.                                                                                           | <i>Cordia</i><br><i>Carapa.</i>                                                                                                           |

|  |                                                         |        |             |       |                                                                                                                  |                                                                                                                                                          |
|--|---------------------------------------------------------|--------|-------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | premontano<br>transición a<br>basal                     |        |             |       | -Período seco de<br>febrero a marzo.<br>-Estructura vertical<br>de 3 a 4 estratos.<br>-Muy diversos              | <i>Terminalia</i>                                                                                                                                        |
|  | Bosque<br>tropical<br>seco                              | 0-1000 | 1.000-2.000 | 24-30 | -Tienen una época<br>seca bien definida.<br>-Suelos secos por<br>más de 90 días.<br>-Período seco de<br>6 meses. | <i>Acacia collinsii</i><br><i>Bursera Simaruba</i><br><i>Tabebuia Ochracea</i><br><i>Enterolobium</i><br><i>cyclocarpum</i><br><i>Hymenaea courbaril</i> |
|  | Bosque<br>húmedo<br>tropical<br>transición a<br>seco    | 0-500  | 2.000-4.000 | 24-30 | -Periodo seco<br>definido con<br>mayor<br>precipitación.<br>-Mayor presencia<br>de especies<br>perennes.         | <i>Acacia sp</i><br><i>Guazuma sp.</i><br><i>Handroanthus sp</i><br><i>Fabaceae</i>                                                                      |
|  | Bosque<br>húmedo<br>premontano<br>transición a<br>basal | 0-500  | 1.200-2.200 | 24-30 | -Periodo seco de<br>3 a 5 meses.<br>-Suelos volcánicos<br>y fértiles.                                            | Familias Lauraceae,<br>Sapindaceae,<br>Myrtaceae                                                                                                         |

Adaptado de: (Holdridge, 1967)

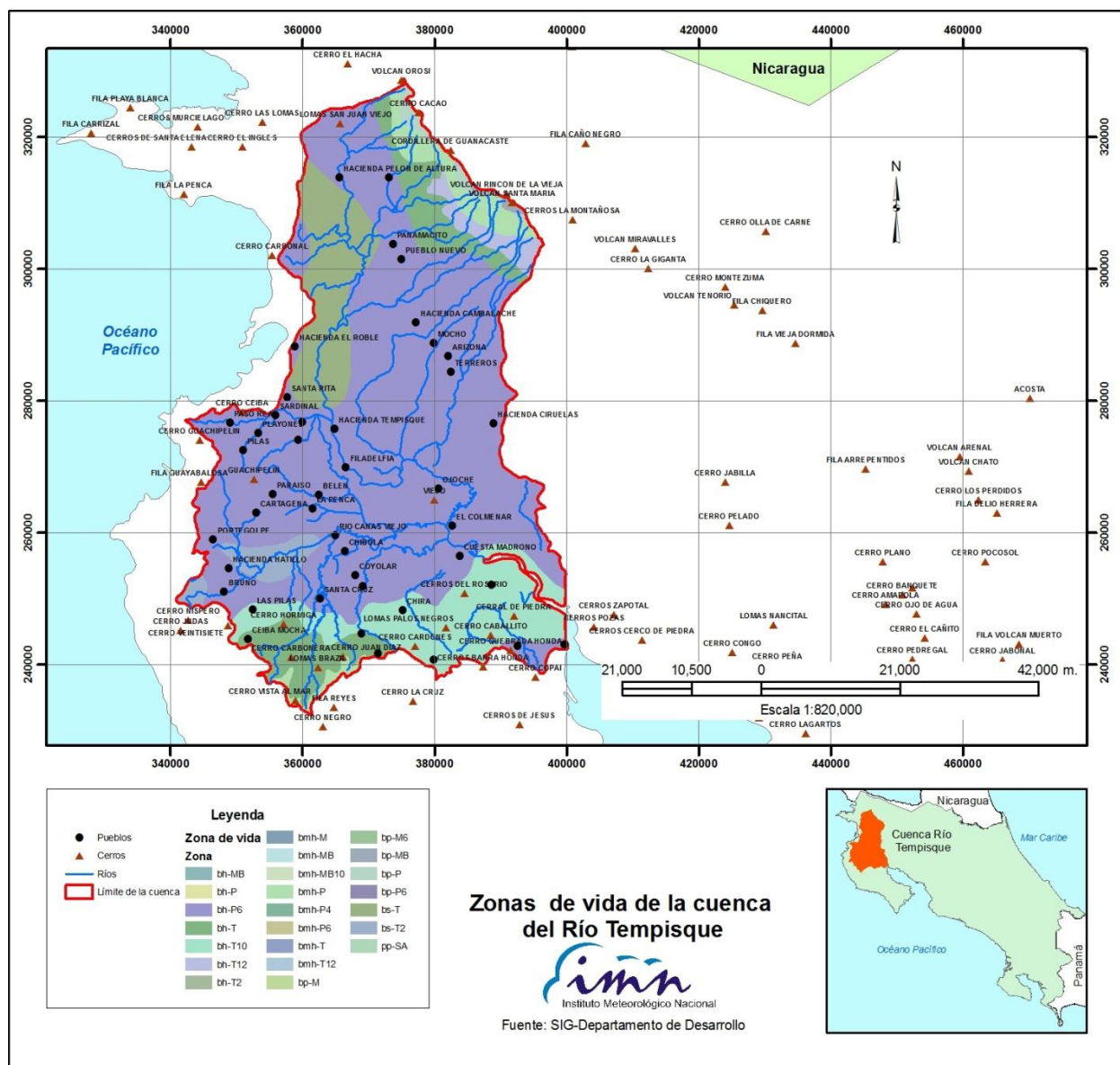


Figura 17. Zonas de vida de la cuenca del río Tempisque

Tomado de: (Instituto Meteorológico Nacional, 2011)

### 2.2.1.1 Áreas protegidas

Dentro de la cuenca del río Tempisque convergen las áreas de conservación Tempisque ubicada en la cuenca baja, Arenal-Tempisque en la cuenca media y Guanacaste en la parte alta de la cuenca (Asamblea Legislativa, 2016), siendo su mayor objetivo la protección y conservación de la biodiversidad y los ecosistemas naturales de la región.

Encontramos las siguientes áreas protegidas: Parque Nacional Rincón de la Vieja, Parque Nacional Guanacaste, Parque Nacional Santa Rosa, Parque Nacional Palo Verde, Parque Nacional Diría, Parque Nacional Palo Verde, Reserva Biológica Lomas de Barbudal, Refugio Nacional de Vida Silvestre Cipanci, Refugio de Vida Silvestre Hacienda El Viejo, Refugio de Vida Silvestre Mata Redonda, Zona Protectora Guanacaste, Humedal Lacustrino Río Cañas, y el Humedal Palustrino Corral de Piedra (SINAC, 2019).



Figura 18. Áreas silvestres protegidas dentro de la cuenca del río Tempisque

Tomado de: (Asamblea Legislatvia, 2016)

## 2.2.2 Aspectos socioeconómicos

A continuación, se describen los principales aspectos socioeconómicos de la cuenca del río Tempisque.

### 2.2.2.1 Aspectos demográficos

La población en la cuenca del río Tempisque ha experimentado un aumento en los últimos 30 años producto del auge de las actividades turísticas y productivas en la zona.

Tabla 13. Proyección histórica de la población de la Región Pacífico Norte

| Año  | Cuenca Río Tempisque |
|------|----------------------|
| 1995 | 103.942              |
| 2000 | 114.867              |
| 2010 | 122.121              |
| 2020 | 124.493              |
| 2030 | 130.602              |

Adaptado de: (Instituto Meteorológico Nacional, 2011)

Según datos de la Municipalidad de Santa Cruz la población del cantón es de 45.000 habitantes (Municipalidad Santa Cruz, 2024), lo que representa el 36% de la cuenca. Con un total de 16.645 viviendas ocupadas y una densidad de población de aproximadamente 42 habitantes por kilómetro cuadrado.

#### **2.2.2.1 Actividades socioproductivas**

“La cuenca Tempisque-Bebedero es la más importante de Costa Rica a nivel agropecuario, pues aporta el 75% del agua disponible para este aspecto a nivel nacional” (Asamblea Legislativa, 2016).

“Las principales actividades productivas y económicas de la zona corresponden al cultivo de caña de azúcar, arroz, pasto, melón y sandía, estos dos últimos para exportación” (Instituto Meteorológico Nacional, 2011), además el turismo con sus espectaculares playas y la ganadería extensiva de carne, son actividades muy importantes.

#### **2.2.2.2 Infraestructura**

De acuerdo con datos del CFIA, Guanacaste es la provincia que refleja mayor crecimiento en infraestructura, siendo el sector urbanístico el que aporta la mayor cantidad de metros cuadrados de construcción. “Santa Cruz encabeza la lista nacional, como el de mayor cantidad de metros cuadrados registrados, 598.400 m<sup>2</sup>, con una variación de 100.5%, en el período 2022-2023” (CFIA, 2024). Lo que evidencia el significativo desarrollo en la parte baja de la cuenca del río Tempisque, ya que, en las últimas décadas, la proliferación de megaproyectos turísticos ha producido impactos en los sistemas naturales de la

región, que, junto a las inundaciones y la sequía, limitan el desarrollo productivo tradicional.

En la cuenca del río Tempisque se encuentra el Hospital Nacional La Anexión, varias clínicas regionales y EBAIS, los cuales brindan una atención en salud primaria a la población del área. También han proliferado centros médicos privados que cuentan con servicios básicos y especializados.

A nivel educativo se cuenta con centros educativos públicos y privados para todos los niveles de instrucción, siendo la mayor cantidad de tipo público y estando bajo la administración del Ministerio de Educación Pública (MEP), cabe destacar que estos centros educativos son utilizados como refugios en caso de emergencias como inundaciones.

Tabla 14. Centros educativos Dirección Regional Santa Cruz

| Tipo               | Público | Privado | Subvencionado |
|--------------------|---------|---------|---------------|
| Preescolar         | 2       | 0       | 0             |
| Primaria           | 61      | 5       | 1             |
| Secundaria         | 11      | 6       | 0             |
| Educación superior | 2       | 2       | 0             |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MEP 2025 y búsqueda web.

### **3. REVISIÓN DE LITERATURA**

Para analizar los cambios en el comportamiento de la precipitación en la cuenca del río Tempisque y su relación con patrones climáticos históricos, es necesario entender tanto las variaciones climáticas naturales como los efectos del cambio climático inducido por el ser humano. Estos cambios se han intensificado en las últimas décadas, afectando la disponibilidad de agua y aumentando los riesgos de sequías e inundaciones.

#### **3.1 EVENTOS PLUVIALES EXTREMOS**

Los eventos pluviales extremos son precipitaciones que superan significativamente los niveles normales esperados en un área específica durante un periodo determinado. Según Carvalho (2002) un evento extremo es cuando el 20% o más de la precipitación climática total de una localidad caen en un día. Estos eventos pueden tener graves consecuencias para la infraestructura, la agricultura y la vida humana, y su frecuencia e intensidad ha aumentado en muchas regiones debido al cambio climático.

Según Haylock y Nicholls (2000), citados por (Ávila, 2012), existen tres índices de lluvia extrema: el número de eventos por encima de un extremo umbral (frecuencia extrema); la intensidad promedio de precipitaciones de eventos extremos (extrema intensidad), y la proporción de precipitación total de eventos extremos (extrema por ciento).

Los eventos pluviales eventos pueden clasificarse según su impacto como:

- Lluvias intensas: Caída de grandes cantidades de agua en un corto periodo.
- Inundaciones: Desbordamiento de ríos o cuerpos de agua debido a lluvias excesivas. Son generadas por lluvias extremas que superan la capacidad de drenaje de una zona.

- Deslizamientos de tierra: Sucesos ocasionados por el exceso de humedad en el suelo, que puede llevar a la pérdida de estabilidad.

Otras clasificaciones se basan en su intensidad, duración, frecuencia y contexto climático, algunas de las clasificaciones más comunes son:

- Por intensidad
  - Lluvias Ligeras: Precipitaciones menores a 5 mm/hora.
  - Lluvias Moderadas: Entre 5 y 15 mm/hora.
  - Lluvias Fuertes: Entre 15 y 30 mm/hora.
  - Lluvias Muy Fuertes: Más de 30 mm/hora.
- Por duración
  - Eventos de Corto Plazo: Lluvias que ocurren en menos de 24 horas.
  - Eventos de Largo Plazo: Lluvias que se extienden por varios días o semanas.
- Por frecuencia
  - Eventos Raros: Ocurren una vez cada varios años (por ejemplo, lluvia de 100 años).
  - Eventos Frecuentes: Ocurren con más regularidad, como en temporadas de lluvias.
- Por impacto
  - Inundaciones:
  - Deslizamientos de Tierra: Ocurren en áreas montañosas con suelos saturados.
- Por Contexto Climático
  - Eventos Asociados al Cambio Climático: Incrementos en la frecuencia e intensidad de lluvias debido a variaciones climáticas, por ejemplo, tormentas convectivas y frentes fríos.

Estas clasificaciones ayudan en la gestión de riesgos y en la planificación para mitigar los efectos de estos eventos.

En Costa Rica, las precipitaciones extremas están influenciadas por diversas teleconexiones atmosféricas que afectan los patrones climáticos en la región. A continuación, se detallan las principales teleconexiones y su incidencia en las precipitaciones extremas en el país.

## **3.2 TELECONEXIONES ATMOSFÉRICAS**

### **3.2.1 Fenómeno El Niño - Oscilación del Sur**

El Niño Oscilación del Sur (ENOS) debe conceptualizarse como un fenómeno periódico y recurrente, que forma parte de la variabilidad climática, con una frecuencia de ocurrencia que va entre dos a cuatro años, además, siempre se presentará la interacción de manera dinámica entre el océano y la atmósfera. En ocasiones suceden consecutivamente las fases cálidas y frías del ENOS.

El Fenómeno El Niño es la fase cálida del ENOS se asocia con una reducción de las precipitaciones en la vertiente del Pacífico durante la temporada lluviosa (mayo-octubre). Esto se debe a un debilitamiento de los vientos alisios y a la disminución de la convergencia de humedad. (Instituto Meteorológico Nacional, 2023)

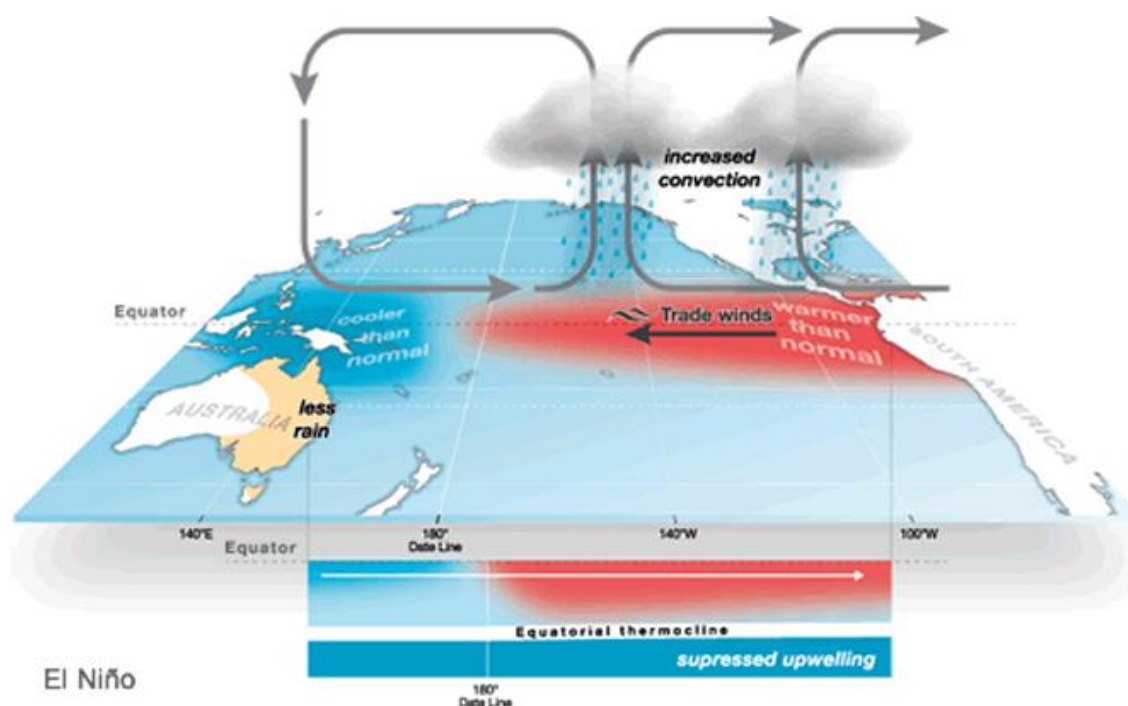


Figura 19. Condiciones atípicas de la atmósfera en el Océano Pacífico, fenómeno de El Niño.

Fuente: (Instituto Meteorológico Nacional, 2023)

Cuando la intensidad de la fase cálida del ENOS (El Niño) es fuerte, los valores acumulados de lluvia en la vertiente del Pacífico tienden a ser mucho menores que lo normal, tal y como sucedió en mayo del 2015, cuando se presentó un incremento en los vientos alisios lo que desplazó la ZCIT y retrasó el inicio de la época lluviosa en la cuenca del río Tempisque.

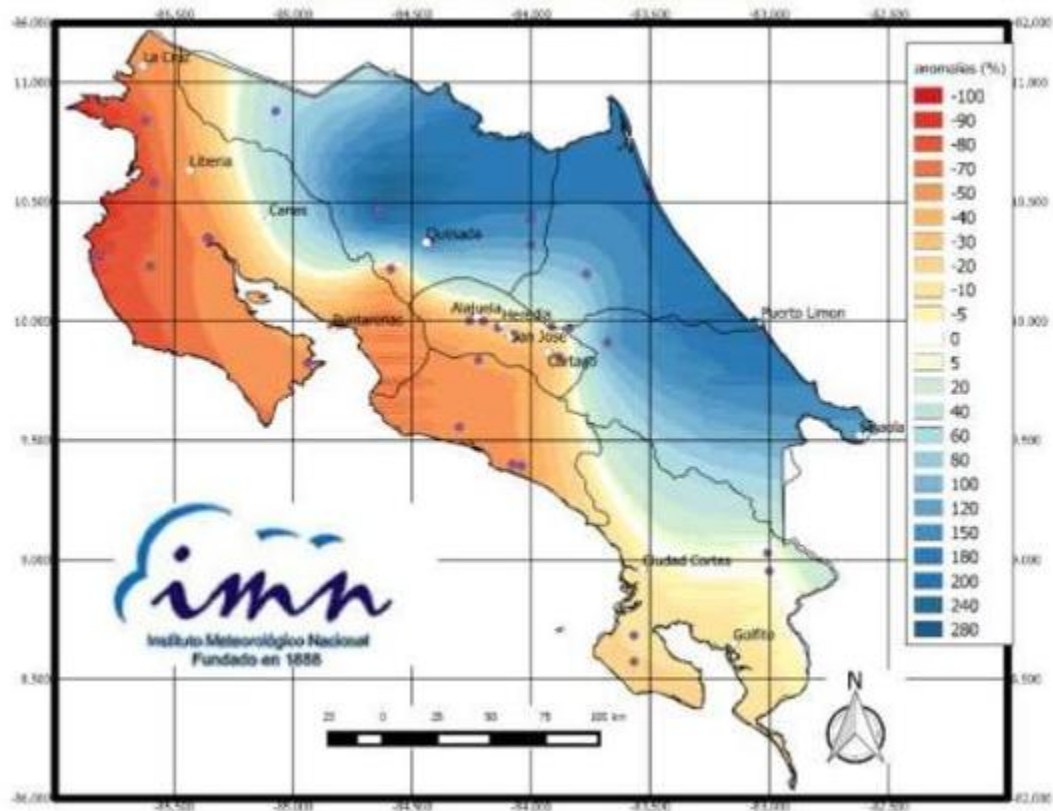


Figura 20. Anomalía de precipitaciones, Costa Rica, mayo 2015

Fuente: (Instituto Meteorológico Nacional, 2023)

El Fenómeno La Niña es la fase fría del ENOS se forma debido a que la Circulación Walker se intensifica con una mayor convección sobre el Pacífico occidental y vientos alisios más fuertes. Se relaciona con un aumento en las precipitaciones, particularmente en la vertiente del Caribe, lo que puede resultar en eventos extremos como inundaciones. (Instituto Meteorológico Nacional, 2023)

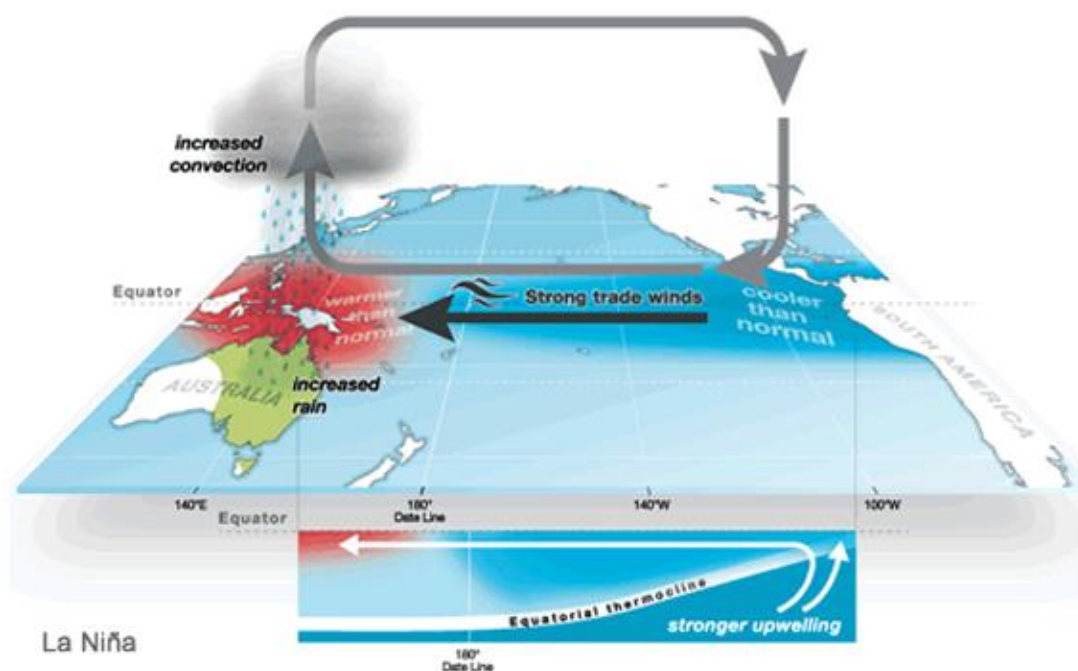


Figura 21. Condiciones atípicas de la atmósfera en el Océano Pacífico, fenómeno de La Niña.

Fuente: (Instituto Meteorológico Nacional, 2023)

### 3.2.2 Oscilación Madden-Julian (MJO)

La MJO es un patrón climático de oscilación intraestacional (30-60 días) que puede amplificar o disminuir la actividad convectiva en Costa Rica. Cuando la MJO se encuentra en fases que favorecen la convección en América Central (1, 2 y 8), puede intensificar las lluvias, generando eventos extremos. “Esta oscilación modula, entre otras cosas, la temporada de huracanes en la cuenca del Atlántico Norte y en otra región es según Klotzbach (2010), el fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) y la actividad lluviosa convectiva en los trópicos.” (Poleo, León, & Stolz, La Oscilación atmosférica Madden-Julian (MJO) y las lluvias en Costa Rica, 2014)

Barlow y Salstein (2006), mostraron como la MJO juega un papel de suma importancia en la modulación de las lluvias sobre México y América Central, observando superávits de hasta 100% ante el efecto de dicha oscilación en algunas estaciones analizadas. (Solano León, 2015)

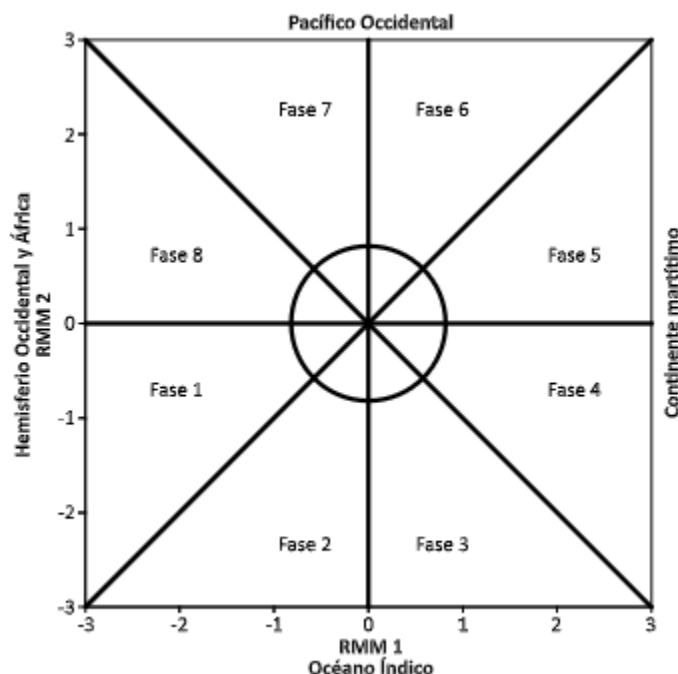


Figura 22. Diagrama de Wheeler-Hendon para localizar la oscilación de Madden-Julian según las 8 fases de la MJO.

Fuente: (Poleo, León, & Stolz, La Oscilación atmosférica Madden-Julian (MJO) y las lluvias en Costa Rica, 2014)

La detección de las señales asociadas con la MJO es de suma importancia desde el punto de vista de la predictibilidad del comportamiento de las lluvias. El aumento de las lluvias podría favorecer la generación de eventos de precipitación extremos sobre lo normal en el país. (Poleo, León, & Stolz, La Oscilación atmosférica Madden-Julian (MJO) y las lluvias en Costa Rica, 2014)

Según Poleo, León & Stolz, 2014, el aumento en las precipitaciones en la vertiente del Pacífico durante las fases 1 y 2 de la MJO, podría deberse a diversos factores entre los que se encuentran la intensificación de la ZCIT y su posicionamiento más al norte de lo habitual.

### 3.2.3 Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO)

La AMO “es un modo de variabilidad que ocurre en el océano Atlántico Norte (entre 0°N y 70°N) y que se observa en los cambios en la temperatura de la superficie del mar

(TSM), con amplitudes alrededor de  $0.7^{\circ}\text{C}$  y períodos que van de 50 a 70 años, Knight et al. (2006).” (Poleo, Impact of atmospheric oscillations of low (AMO, PDO, ENSO) and high frequency (MJO) in the rain in Mesoamerica, in the fishing of shrimp, bean and rice crops in Costa Rica., 2017)

En su fase cálida, la AMO puede incrementar la actividad ciclónica en el Atlántico, aumentando el riesgo de tormentas tropicales y huracanes que afectan las precipitaciones extremas en el Caribe costarricense. En su fase fría, se reduce esta actividad ciclónica.



Figura 23. Patrones asociados a la fase positiva de la Oscilación Multidecadal del Atlántico.

Fuente: (Iza, 2020)

### 3.2.4 Corriente en Chorro Centroamericana (CVC)

Las corrientes en chorro son corrientes de aire que circulan rápidamente sobre la Tierra a nivel de la tropopausa, a unos 8 o 10 km por encima de la superficie terrestre; se forman cuando el aire frío y el aire caliente se encuentran. Sus vientos soplan de oeste a este a

velocidades que oscilan entre 129 y 225 kilómetros por hora, pero pueden alcanzar más de 443 kilómetros por hora. (Nunez, 2024)

La intensidad y posición de esta corriente en chorro pueden influir directamente en la distribución de las lluvias. Un fortalecimiento del CVC suele estar asociado con precipitaciones intensas en la vertiente del Pacífico.

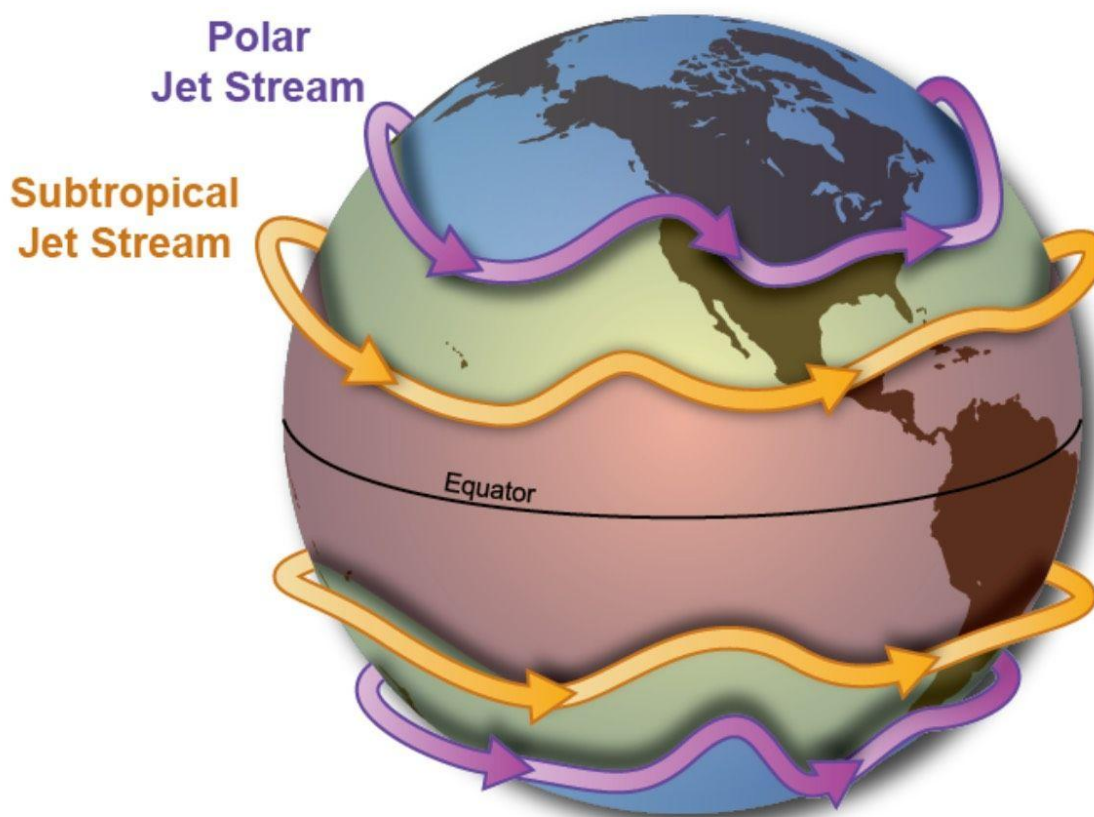


Figura 24. Corriente de chorro polar y subtropical.

Fuente: <https://www.tiempo.com/noticias/ciencia/que-es-la-corriente-en-chorro-o-jet-stream.html>

Se prevé un aumento potencial de fenómenos meteorológicos mortales a medida que la corriente en chorro se vea cada vez más alterada. “Un estudio de 2022 sugiere que la corriente se debilitará y se estancará a medida que el planeta se caliente, lo que permitirá que fenómenos como las lluvias extremas se “asienten” sobre una región y provoquen peligrosas inundaciones.” (Nunez, 2024)

### 3.2.5 Oscilación ártica (OA)

La Oscilación Ártica, “es un patrón del clima que influye en el tiempo del invierno en el Hemisferio Norte. Y que particularmente logra afectar a México, América Central y El Caribe.” (Juárez, 2014)

Se define por “la diferencia de presión entre el aire en las latitudes medias (alrededor 45 grados norte, sobre la latitud de Montreal, de Canadá o de Burdeos, Francia) y el aire sobre el Ártico.” (AEMET, 2022)

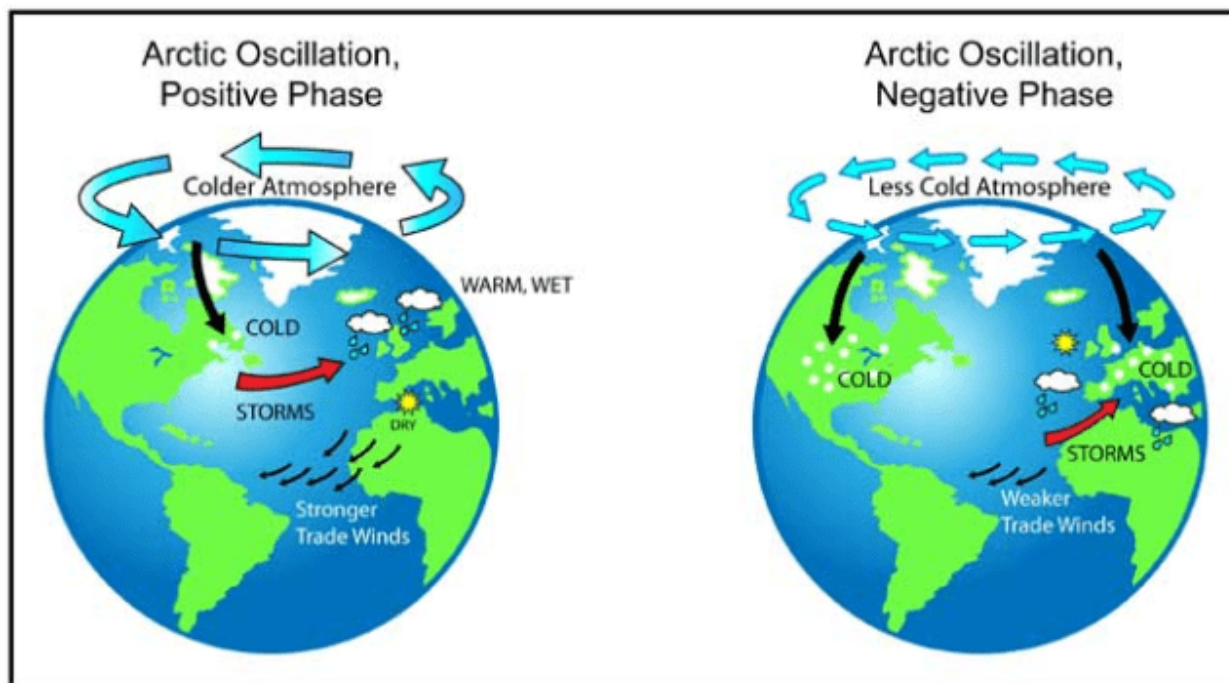


Figura 25. Fases positivas y negativas de la Oscilación Ártica.

Fuente: (AEMET, 2022)

### 3.2.6 Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)

La ZCIT es una región de bajas presiones, nubes y tormentas que rodean la región tropical que se ubica alrededor del ecuador, en la cual confluyen los vientos alisios del Noreste con los vientos alisios del Sureste. (Mena, 2012)

Se caracteriza por ser una franja o cinturón de baja presión constituido por corrientes de aire ascendente, donde convergen grandes masas de aire cálido y húmedo provenientes del norte y del sur de la zona intertropical. A su vez, esta zona de convergencia intertropical, caracterizada por el ascenso de masas de aire que vienen de ambos hemisferios cuando llegan al ecuador terrestre, se van separando cuando llegan a cierta altura dando origen así a una divergencia en altura que hace regresar a la masa de aire que ascendió a su respectivo hemisferio.

Debido a la acción de los vientos alisios, la ZCIT se desplaza, produciendo estaciones secas y lluviosas en lugar de estaciones frías y cálidas. Durante los meses de abril a noviembre esta particularmente cerca al territorio nacional, generando la estación lluviosa en Costa Rica; a partir de diciembre y hasta marzo, se mueve hacia el Sur y se ubica principalmente sobre Colombia, favoreciendo que las lluvias disminuyan en Costa Rica y el resto de América Central. Su intensificación puede generar lluvias extremas en ambas vertientes.

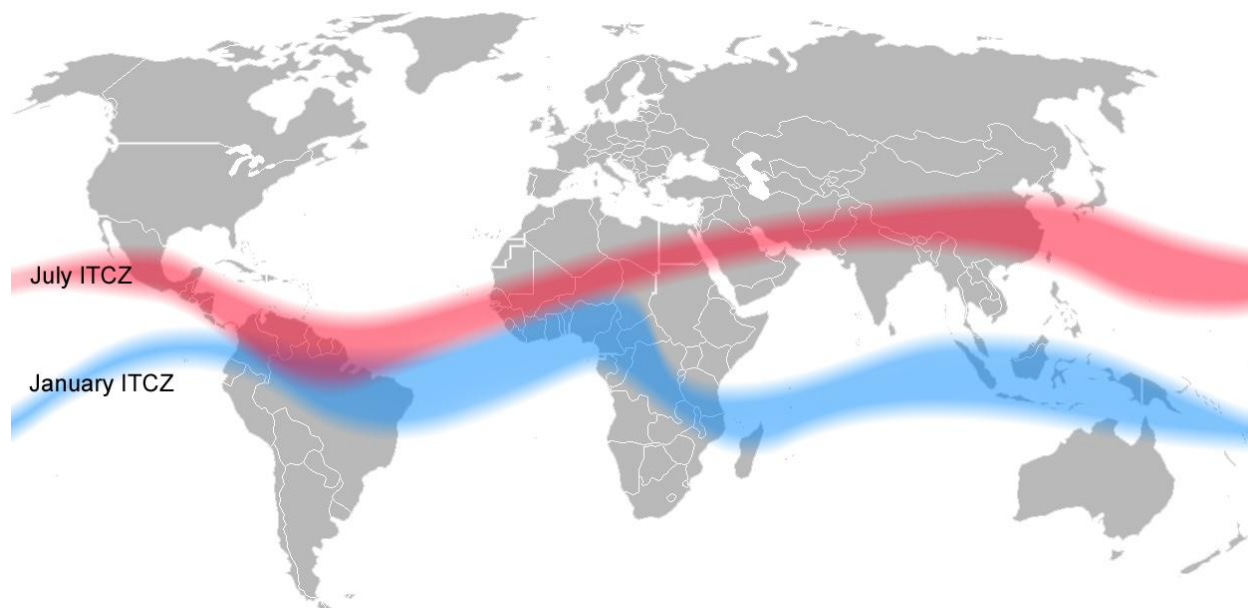


Figura 26. ZCIT en julio y (rojo) y enero (azul).

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Zona\\_de\\_convergencia\\_intertropical#/media/Archivo:ITCZ\\_january-july.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_convergencia_intertropical#/media/Archivo:ITCZ_january-july.png)

### 3.3 CICLONES TROPICALES

Los ciclones tropicales son unos de los fenómenos más poderosos y destructivos en la naturaleza. Son grandes sistemas organizados de nubes y tormentas que se forman en las aguas cálidas de los trópicos, girando alrededor de un sistema de baja presión. Se forman entre los 5° y 30° grados de latitud norte típicamente se mueven hacia el oeste. Algunas veces los vientos en las capas medias y altas de la atmósfera cambian y giran el ciclón hacia el noroeste y norte. Cuando los ciclones tropicales alcanzan las latitudes cerca de 30° grados Norte, muchas veces se mueven hacia el noreste. (NOAA, 2013)

Las temporadas de huracanes para cada cuenca y sus temporadas picos son las siguientes:

- **Atlántico y Caribe:** del 1ero de junio hasta 30 noviembre con la temporada pico entre mediados de agosto hasta finales de octubre.
- **Pacífico Central (Hawai):** del 1ero de junio hasta 30 noviembre con la temporada pico desde julio hasta septiembre.
- **Pacífico Este:** del 15 mayo hasta 30 noviembre.
- **Pacífico Noroeste:** pueden formarse durante todo el año.

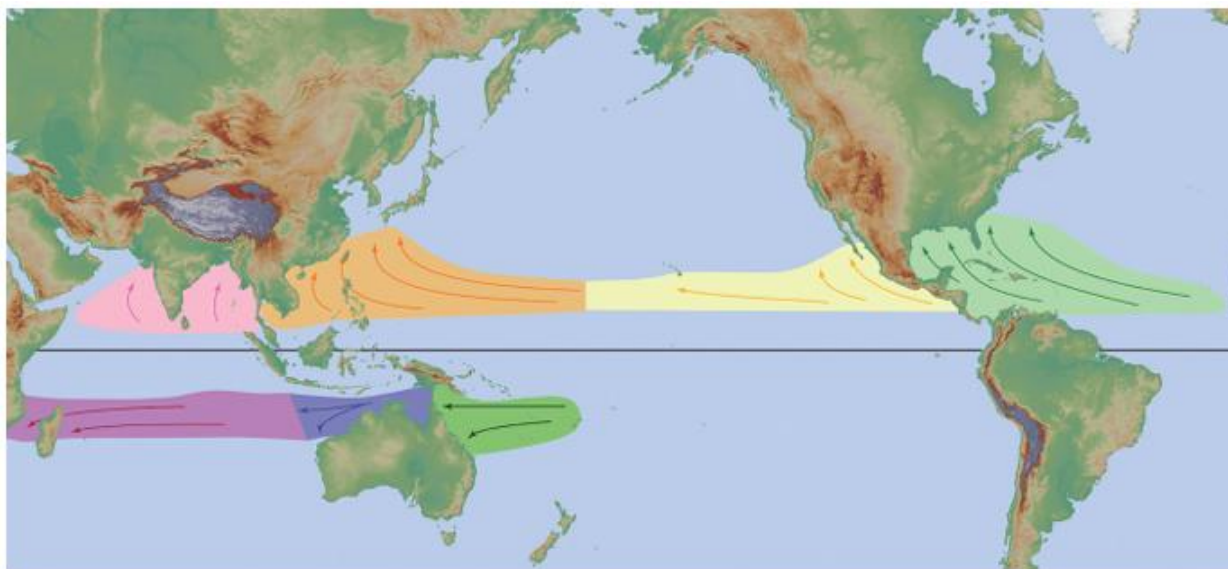


Figura 27. Regiones de formación de ciclones tropicales.

Fuente: (NOAA, 2013)

Actualmente, los ciclones tropicales se clasifican según la intensidad del viento, sin embargo, dada la intensidad de los más recientes eventos, se ha propuesto una clasificación a partir de la presión atmosférica.

Tabla 15. Clasificación de los ciclones tropicales según escala de Saffir-Simpson

| Tipo               |             | Velocidad (km/h) | Presión central (hPa) | Daños potenciales                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------|-------------|------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Depresión tropical |             | 0-62             | >980                  | -Lluvias que pueden llegar a causar graves daños e incluso inundaciones.                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Tormenta tropical  |             | 63-118           | >980                  | -Lluvias abundantes que pueden provocar inundaciones devastadoras.<br>-Vientos fuertes que pueden generar tornados.                                                                                                                                                                                                            |
| Huracán            | Categoría 1 | 119-153          | 980-994               | -Sin daños en las estructuras de los edificios.<br>-Daños básicamente en casas flotantes no amarradas, arbustos y árboles.<br>-Inundaciones en zonas costeras y daños de poco alcance en puertos.                                                                                                                              |
|                    | Categoría 2 | 154-177          | 965-979               | -Daños en tejados, puertas y ventanas. Importantes daños en la vegetación, casas móviles, etc.<br>-Inundaciones en puertos, así como ruptura de pequeños amarres.                                                                                                                                                              |
| Huracán intenso    | Categoría 3 | 178-209          | 945-964               | -Daños estructurales en edificios pequeños.<br>-Destrucción de casas móviles.<br>-Destrucción de edificaciones pequeñas en zonas costeras y objetos a la deriva pueden causar daños en edificios mayores.<br>-Posibilidad de inundaciones tierra adentro.                                                                      |
|                    | Categoría 4 | 210-250          | 920-944               | -Daños generalizados en estructuras protectoras, desplome de tejados en edificios pequeños.<br>-Alta erosión de bancales y playas.<br>-Inundaciones en terrenos interiores.                                                                                                                                                    |
|                    | Categoría 5 | >251-400         | <920                  | -Destrucción de tejados completa en algunos edificios.<br>-Inundaciones pueden llegar a las plantas bajas de los edificios cercanos a la costa.<br>-Puede ser requerida la evacuación masiva de áreas residenciales.<br>-Los vientos de 300 km/h pueden arrancar árboles y hasta casas de sus cimientos, huracán muy poderoso. |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN y NOAA.

Los huracanes son los fenómenos atmosféricos que más daño causan a Costa Rica, ya sea por medio de inundaciones severas, derrumbes o deslizamientos.

## 4. MÉTODOS

Este trabajo presenta dos abordajes paralelos y complementarios, uno de naturaleza climatológica que analiza las precipitaciones en la cuenca del río Tempisque en su temporalidad y espacialidad, analizando estadísticamente datos pluviométricos de cuatro estaciones meteorológicas a través del análisis climático y las teleconexiones atmosféricas que acrecientan los eventos pluviales extremos.

Por otra parte, se investigaron los impactos asociados a los eventos pluviales extremos, a través del análisis de bases de datos internacionales, informes del MIDEPLAN y la CNE, y boletines del IMN.

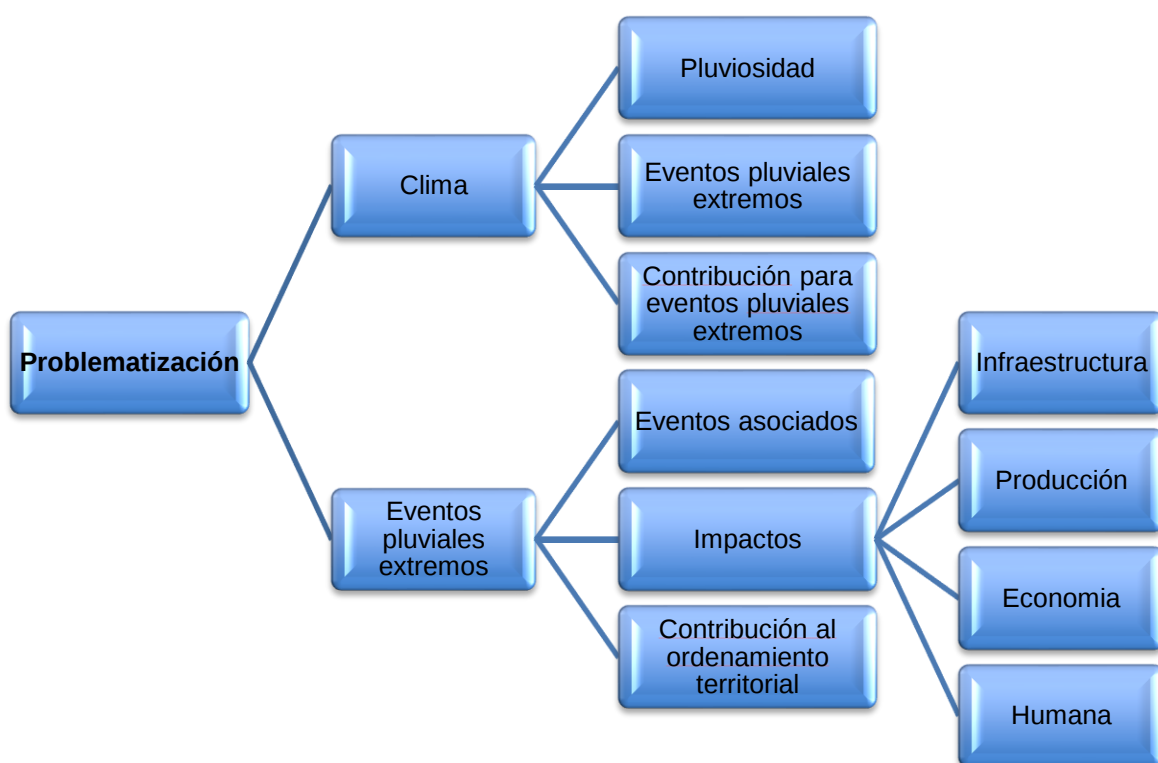


Figura 28. Esquema de investigación

A continuación, se detalla la metodología seguida para el desarrollo de esta investigación.

## **4.1 OBTENCIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS**

La cuenca del río Tempisque cuenta con dieciséis estaciones meteorológicas operadas por el IMN quien es responsable de la instalación y mantenimiento de estas. Los datos recopilados fueron solicitados al Departamento de Información de dicha institución y pasaron por un proceso de validación y control de calidad por parte de profesionales en estadística y meteorología del Departamento de Red y Procesamiento de Datos según los estándares de la OMM.

### **4.1.1 Descripción de las estaciones meteorológicas**

La cuenca del río Tempisque cuenta con una densa red de estaciones meteorológicas, la mayoría de las cuales son manejadas por el IMN, sin embargo, debido al poco tiempo de instalación, no pudieron ser consideradas para este estudio, por lo que fueron seleccionadas cuatro estaciones meteorológicas, dos mecánicas y dos automáticas, las cuales presentaban datos horarios para el periodo de interés, permitiendo trabajar con 15 años de registros de precipitación que fueron analizados con los programas Excel e InfoStat en intervalos mensuales y anuales, en el caso de valores faltantes estos fueron estimados promediando el valor anterior y posterior lo que permitió completar todos los datos.

A continuación, se describen el total de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Tempisque, se destacan las utilizadas para la presente investigación.

Tabla 16. Listado de estaciones meteorológicas en la cuenca del río Tempisque

| Número | Nombre                                                 | Coordenadas   |                | Altitud (msnm) | Fecha instalación | Modelo |
|--------|--------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------|-------------------|--------|
|        |                                                        | Latitud Norte | Longitud Oeste |                |                   |        |
| 74008  | Pelón de la Bajura                                     | 10° 29' 8"    | 85° 24' 42"    | 40             | 01/06/1968        | PV     |
| 74037  | Finca Las Huacas                                       | 10° 34' 39"   | 85° 23' 83"    | 140            | 10/09/1986        | PV     |
| 74051  | Aerop. Internacional Daniel Oduber Oeste 07            | 10°35'20,4"   | 85°33'7,7"     | 70             | 04/11/1998        | CR1000 |
| 74053  | UCR, Santa Cruz                                        | 10°17'7"      | 85°35'30"      | 40             | 09/03/1995        | CR800  |
| 74059  | Aerop. Internacional Daniel Oduber Este 25             | 10°35'36,1"   | 85°32'16,4"    | 94             | 02/11/2013        | CR800  |
| 74061  | El Corral, Palo Verde Cc                               | 10°20'51"     | 85°21'4"       | 10             | 01/03/2012        | CR1000 |
| 74063  | Mangarica, Llano La Cruz, Liberia                      | 10°36'20,7"   | 85°27'9"       | 135            | 07/03/2012        | CR800  |
| 74067  | Miel, La Guinea                                        | 10°25'9,8"    | 85°28'24,37"   | 87             | 04/04/2013        | CR800  |
| 74069  | El Corral, Palo Verde Cc. Respaldo                     | 10°20'51"     | 85°21'4"       | 10             | 01/03/2012        | CR1000 |
| 74071  | Estación Biológica Maritza, Volcán Orosi               | 10°57'32,03"  | 85°29'44,99"   | 555            | 29/06/2016        | CR800  |
| 74073  | Cerro Huacalito, Carrillo Guanacaste                   | 10°23'35,8"   | 85°24'46"      | 63             | 18/05/2017        | CR800  |
| 74075  | Sitio La Cruz, Bagaces Guanacaste                      | 10°28'59,3"   | 85°24'51,9"    | 19             | 27/07/2017        | CR800  |
| 74077  | Puesto Negritos Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste | 10°23'42,2"   | 85°19'28,4"    | 15             | 18/05/2017        | CR800  |
| 74081  | Asada Artola Sardinal                                  | 10°30'24,36"  | 85°41'45,72"   | 65             | 21/04/2017        | CR800  |
| 74083  | Finca Las Huacas, Liberia Guanacaste                   | 10°34'29,6"   | 85°23'48,4"    | 128            | 27/09/2017        | CR3000 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN, 2024.

Las estaciones meteorológicas 74008 y 74037 consisten en un pluviómetro que registra la precipitación manualmente a través de la toma de datos dos veces al día, normalmente a las 6am y las 6pm. Dichas estaciones se encuentran colocadas en fincas arroceras.

La estación meteorológica 74051 es de tipo CR1000 y consiste en un *data logger* de la Marca Campbell Scientific, al cual son conectados una serie de sensores para la medición de diversas variables meteorológicas (Campbell Scientific, 2024), permitiendo obtener datos de precipitación, temperatura, humedad, presión atmosférica, radiación solar y viento, con gran fiabilidad de acuerdo con los estándares de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), y dado que está en un aeropuerto, con los criterios de la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI).

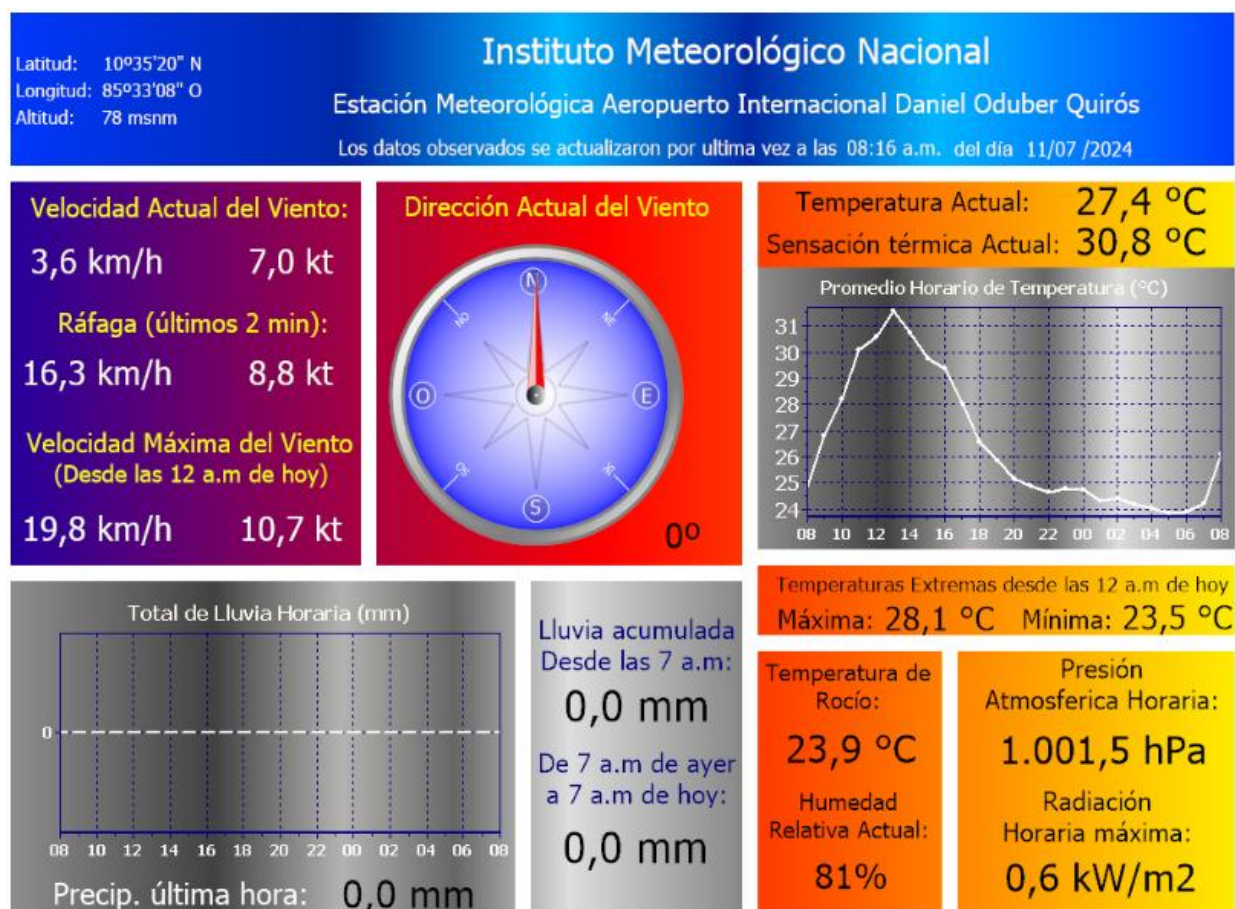


Figura 29. Visualización de datos de la estación meteorológica 74051.

La estación meteorológica 74053 es de tipo CR800 y consiste en un *data logger* un poco más pequeño, al cual es posible conectar una serie de sensores para la medición de diversas variables meteorológicas.

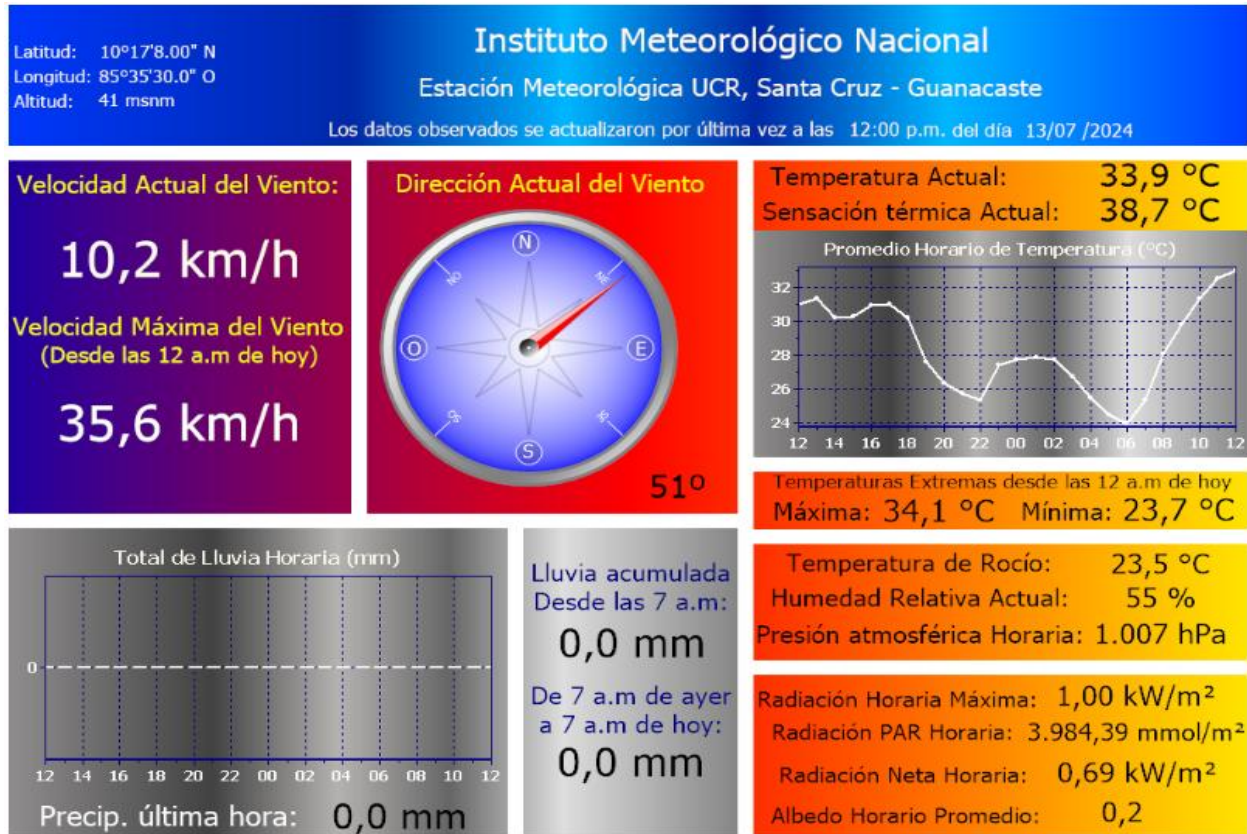


Figura 30. Visualización de datos de la estación meteorológica 74053.



Figura 31. Ubicación de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio

La primera etapa del análisis de datos inició con la definición del total de lluvia para cada año del periodo de estudio; este valor fue obtenido a través de la sumatoria de los valores mensuales.

Los datos de precipitación obtenidos de las estaciones meteorológicas fueron tabulados y analizados estadísticamente utilizando el software InfoStat versión 2008, obteniendo las medidas de resumen, según (Balzarini, y otros, 2008) se definen como:

- número de observaciones (n): corresponde al número de casos activos,
- media: se refiere a la media aritmética,
- desviación estándar (D.E.): permite cuantificar la dispersión de un conjunto de datos numéricos, corresponde a la raíz cuadrada de la varianza muestral;
- varianza (Var(n)): es la medida de dispersión, corresponde al cuadrado de la desviación estándar;
- error estándar: corresponde al desvío estándar dividido por la raíz de n,
- valor mínimo: corresponde al menor valor registrado, y
- valor máximo: corresponde al mayor valor registrado.

## **4.2 DEFINICIÓN DE AÑOS PADRÓN HABITUALES Y EXTREMOS**

Para la segunda etapa del análisis, se aplicaron las medias estadísticas para un período de 15 años lo que permitió determinar el comportamiento climático mensual y anual de las lluvias para la cuenca. Los resultados de estos análisis permitieron establecer los períodos de comportamiento de las estaciones secas y lluviosas para la región, que fueron tomados como referencia para análisis temporales.

La identificación y selección de los años patrón habituales y extremos (secos y lluviosos) para el comportamiento de la lluvia en la cuenca del río Tempisque se realizó a través de la metodología propuesta por Monteiro y se basó en el cálculo del coeficiente de variación anual de pluviosidad (CVa), el cual es calculado a partir de la diferencia entre

el total de precipitación anual (Pa) y el total anual medio (Pm), transformado en porcentaje mediante la ecuación:

$$CVa = \frac{(Pa - Pm)}{Pm} * 100$$

De acuerdo con lo propuesto por Monteiro la definición de años normales y extremos secos y lluviosos es la siguiente:

- año normal (N) representa un coeficiente de variación de pluviosidad entre -15% y +15%,
- año normal con tendencia seco (NS) representa un coeficiente de variación entre -30% y -15%,
- año normal con tendencia lluvioso (NC) representa un coeficiente de variación entre +15 y +30%,
- año seco (S) representa un coeficiente de variación igual o superior a -30%, y
- año lluvioso (C) representa desvíos iguales o mayores a +30%.

### 4.3 ESTUDIO DE VARIABILIDAD DE TENDENCIA

El análisis temporal de los datos incluye la representación en gráficos lineales de los totales de lluvia anuales y temporales para el período 2005 a 2020. El grado de variabilidad de los datos a lo largo del tiempo es dado a partir del cálculo del desvío padrón y del coeficiente de variación en porcentaje para este período. Cuanto mayor es la dispersión de los datos en su conjunto más amplio es su desvío padrón o coeficiente de variación (Rodrigues, 2015).

También han sido incluidos gráficos de tendencia lineal simple con sus respectivas ecuaciones y coeficientes de determinación según lo descrito por Viera, 2012.

$$Y = a + bX$$

Donde Y es la variable dependiente, a es el coeficiente lineal, b es el coeficiente angular, y X la variable independiente.

El coeficiente de determinación ( $r^2$ ) muestra la relación lineal entre la variable lluvia y el tiempo lo cual permite observar la tendencia de su comportamiento a lo largo de la serie. Este coeficiente varía entre 0 y 1 y es interpretado como una proporción de variación de una variable que explica la variación de otra variable (Viera, 2012 en (Rodrigues, 2015). Entre más próximo sea el valor a 1 más perfecta la relación.

#### **4.4 ANÁLISIS DE TELECONEXIONES ATMOSFÉRICAS**

Se utilizaron los datos de índices de fenómenos sinópticos de mesoescala, entre estos la NAO, el ENOS, la ZCIT, la OA y la MJO, para identificar la influencia de las teleconexiones sobre el comportamiento de las lluvias en Costa Rica para el periodo 2005 a 2020; estos datos fueron obtenidos de los reportes meteorológicos del IMN y del sitio web Earth System Research Laboratory (ESRL) del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), los mismos fueron tabulados en Excel y recibieron un análisis estadístico.

#### **4.5 ANÁLISIS DE EVENTOS PLUVIALES EXTREMOS**

Se analizó la base de datos Emergency Events Database (EM-DAT) del Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), de la University of Louvain (UCLouvain) (disponible en <https://www.emdat.be/>), informes del MIDEPLAN y la CNE, y boletines del IMN, así como reportes realizados al sistema de emergencias 911 y noticias publicadas en medios de comunicación como “La voz de Guanacaste” (disponible en <https://vozdeguanacaste.com/>) y “La Nación”, lo que permitió identificar las principales vulnerabilidades de Santa Cruz frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

## **5. RESULTADOS**

### **5.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS DATOS METEOROLOGICOS SELECCIONADOS**

A continuación, se presentan los datos de precipitación para cada una de las estaciones meteorológicas seleccionadas, también se presentan las variables estadísticas de estos datos.

En la Figura 32 se puede observar el comportamiento de la precipitación de la estación 74008, la misma muestra cuatro picos de lluvias en los años 2007, 2008, 2010 y 2020, siendo mayo, setiembre y octubre los meses más lluviosos.

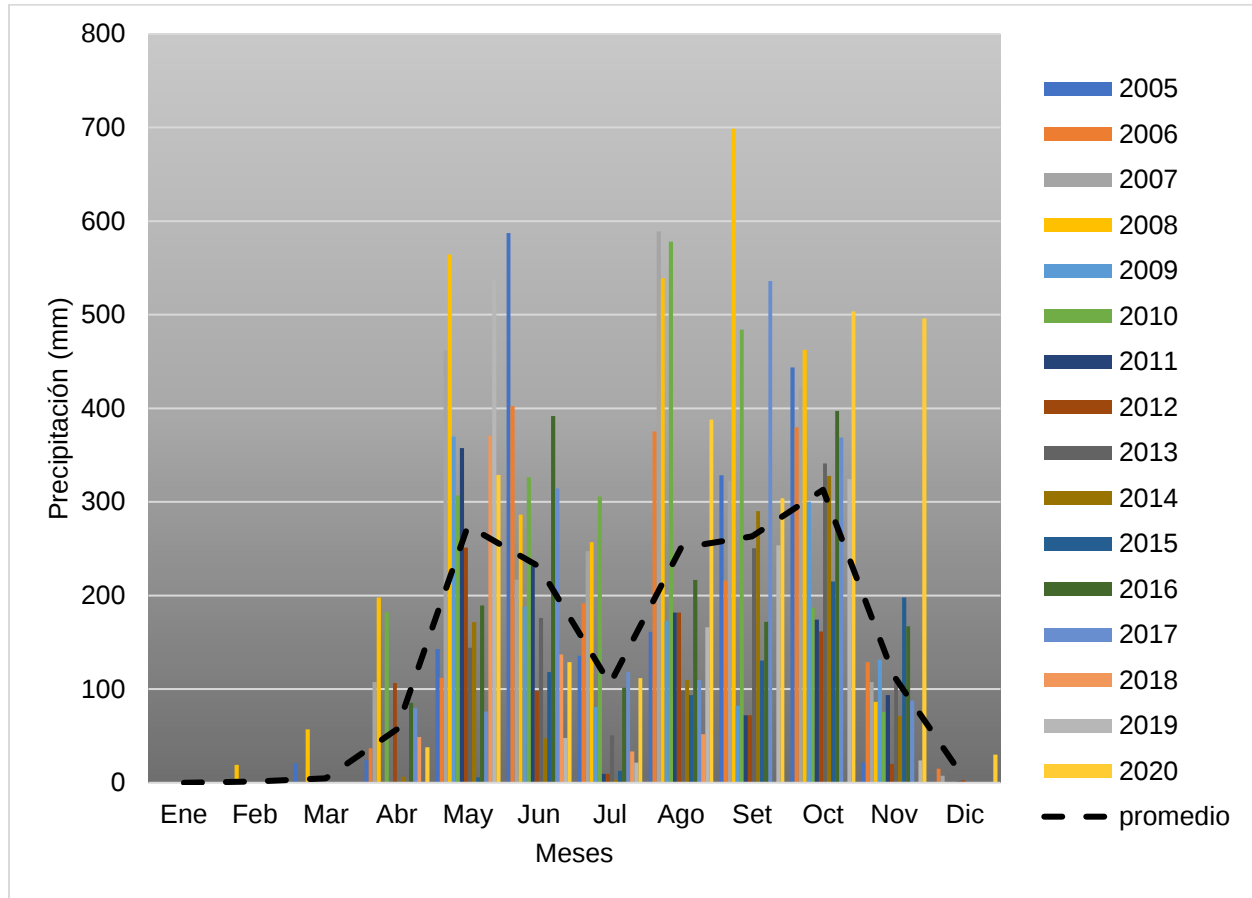


Figura 32. Precipitación mensual por año. Estación 74008, 2005-2020

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN, 2024.

Tabla 17. Resumen de variables estadísticas de precipitación anual. Estación 74008, 2005-2020

| Año  | Variable | n  | Media  | D.E.   | Var(n-1)  | Var(n)    | E.E.  | CV     | Mín  | Máx    | Suma     |
|------|----------|----|--------|--------|-----------|-----------|-------|--------|------|--------|----------|
| 2005 | mm       | 12 | 155,58 | 196,74 | 38.704,72 | 35.479,32 | 56,79 | 126,45 | 0,00 | 587,30 | 1.867,00 |
| 2006 | mm       | 12 | 154,82 | 157,64 | 24.851,87 | 22.780,88 | 45,51 | 101,83 | 0,00 | 402,25 | 1.857,80 |
| 2007 | mm       | 12 | 206,86 | 204,48 | 41.813,12 | 38.328,69 | 59,03 | 98,85  | 0,00 | 589,10 | 2.482,30 |
| 2008 | mm       | 12 | 264,08 | 247,34 | 61.179,42 | 56.081,13 | 71,40 | 93,66  | 0,00 | 698,70 | 3.169,00 |
| 2009 | mm       | 12 | 110,52 | 126,64 | 16.036,74 | 14.700,34 | 36,56 | 114,59 | 0,00 | 370,00 | 1.326,20 |
| 2010 | mm       | 12 | 203,90 | 199,55 | 39.819,89 | 36.501,56 | 57,60 | 97,87  | 0,00 | 578,00 | 2.446,75 |
| 2011 | mm       | 12 | 93,50  | 118,33 | 14.002,37 | 12.835,50 | 34,16 | 126,56 | 0,00 | 357,50 | 1.121,98 |
| 2012 | mm       | 12 | 75,36  | 85,80  | 7.362,20  | 6.748,69  | 24,77 | 113,86 | 0,00 | 251,40 | 904,30   |
| 2013 | mm       | 12 | 97,69  | 113,27 | 12.830,04 | 11.760,87 | 32,70 | 115,95 | 0,00 | 341,20 | 1.172,30 |
| 2014 | mm       | 12 | 85,70  | 117,79 | 13.874,06 | 12.717,89 | 34,00 | 137,44 | 0,00 | 328,00 | 1.028,40 |
| 2015 | mm       | 12 | 64,48  | 82,83  | 6.861,62  | 6.289,82  | 23,91 | 128,48 | 0,00 | 215,10 | 773,70   |
| 2016 | mm       | 12 | 143,41 | 142,17 | 20.211,94 | 18.527,61 | 41,04 | 99,14  | 0,00 | 397,30 | 1.720,90 |
| 2017 | mm       | 12 | 140,97 | 173,21 | 30.001,85 | 27.501,69 | 50,00 | 122,87 | 0,00 | 536,20 | 1.691,60 |
| 2018 | mm       | 12 | 53,53  | 107,93 | 11.647,86 | 10.677,21 | 31,16 | 201,60 | 0,00 | 370,80 | 642,40   |

|      |    |    |        |        |           |           |       |        |      |        |          |
|------|----|----|--------|--------|-----------|-----------|-------|--------|------|--------|----------|
| 2019 | mm | 12 | 114,58 | 173,66 | 30.159,35 | 27.646,07 | 50,13 | 151,56 | 0,00 | 537,40 | 1.375,00 |
| 2020 | mm | 12 | 194,07 | 197,76 | 39.108,83 | 35.849,76 | 57,09 | 101,90 | 0,00 | 503,70 | 2.328,80 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN, 2024.

En la Figura 33 se puede observar el comportamiento de la precipitación de la estación 74037, la misma muestra tres picos de lluvias en los años 2008, 2010, 2016 y 2017, siendo agosto, setiembre y octubre los meses más lluviosos.

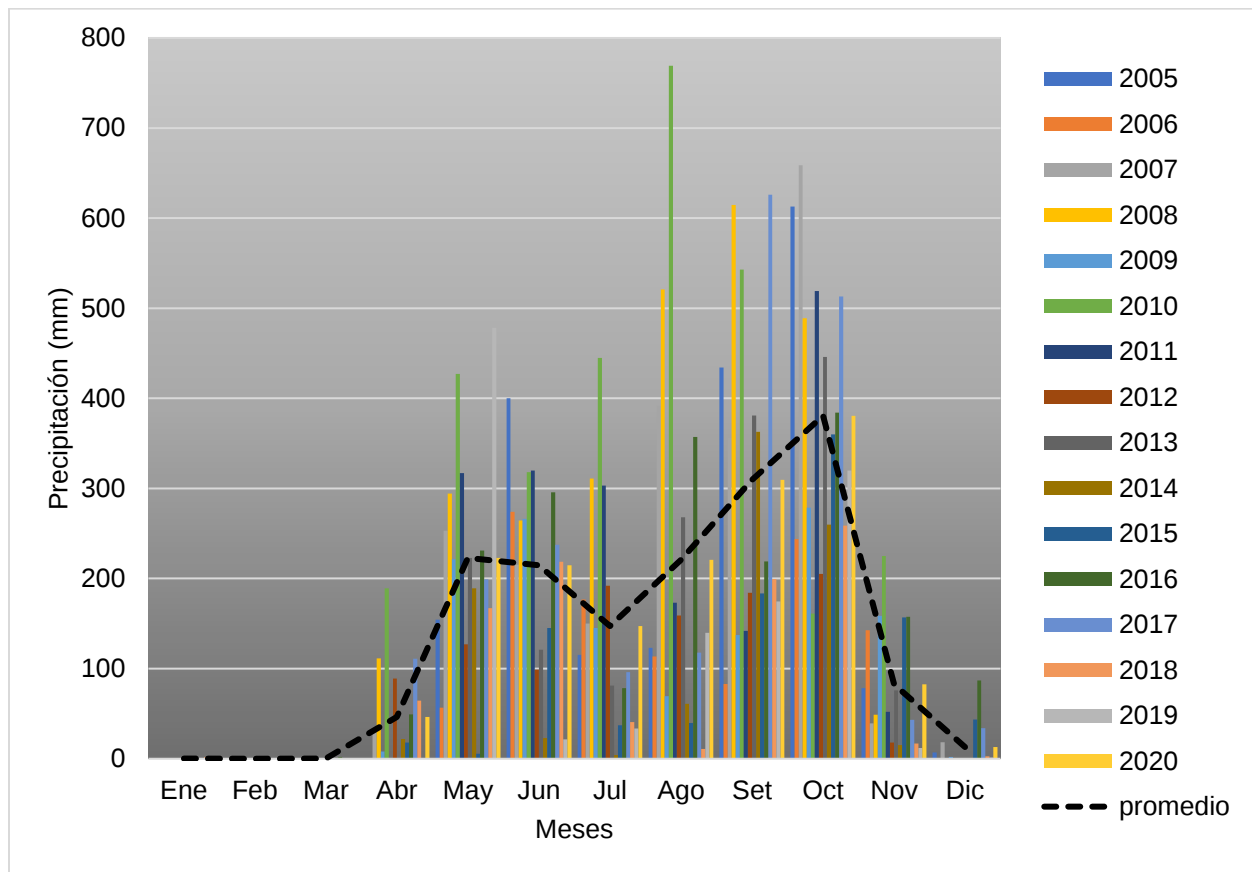


Figura 33. Precipitación mensual por año. Estación 74037, 2005-2020

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN, 2024.

Tabla 18. Resumen de variables estadísticas de precipitación anual. Estación 74037, 2005-2020

| Año  | Variable | n  | Media  | D.E.   | Var(n-1)  | Var(n)    | E.E.  | CV     | Mín  | Máx    | Suma     |
|------|----------|----|--------|--------|-----------|-----------|-------|--------|------|--------|----------|
| 2005 | mm       | 12 | 160,42 | 207,54 | 43.072,69 | 39.483,30 | 59,91 | 129,38 | 0,00 | 613,00 | 1.925,00 |
| 2006 | mm       | 12 | 90,88  | 100,00 | 9.999,35  | 9.166,07  | 28,87 | 110,04 | 0,00 | 274,00 | 1.090,50 |
| 2007 | mm       | 12 | 176,24 | 208,27 | 43.375,52 | 39.760,90 | 60,12 | 118,17 | 0,00 | 658,60 | 2.114,90 |
| 2008 | mm       | 12 | 221,20 | 227,43 | 51.725,94 | 47.415,44 | 65,65 | 102,82 | 0,00 | 614,70 | 2.654,40 |
| 2009 | mm       | 12 | 107,25 | 108,50 | 11.772,79 | 10.791,73 | 31,32 | 101,17 | 0,00 | 278,70 | 1.287,00 |

|      |    |    |        |        |           |           |       |        |      |        |          |
|------|----|----|--------|--------|-----------|-----------|-------|--------|------|--------|----------|
| 2010 | mm | 12 | 256,42 | 250,63 | 62.814,63 | 57.580,08 | 72,35 | 97,74  | 0,00 | 769,00 | 3.077,00 |
| 2011 | mm | 12 | 152,17 | 175,55 | 30.818,15 | 28.249,97 | 50,68 | 115,37 | 0,00 | 519,00 | 1.826,00 |
| 2012 | mm | 12 | 89,42  | 83,26  | 6.932,45  | 6.354,74  | 24,04 | 93,12  | 0,00 | 205,00 | 1.073,00 |
| 2013 | mm | 12 | 133,00 | 159,64 | 25.485,45 | 23.361,67 | 46,08 | 120,03 | 0,00 | 446,00 | 1.596,00 |
| 2014 | mm | 12 | 78,08  | 123,18 | 15.172,81 | 13.908,41 | 35,56 | 157,75 | 0,00 | 363,00 | 937,00   |
| 2015 | mm | 12 | 82,40  | 109,77 | 12.049,75 | 11.045,61 | 31,69 | 133,22 | 0,00 | 359,90 | 988,80   |
| 2016 | mm | 12 | 155,13 | 140,22 | 19.661,87 | 18.023,39 | 40,48 | 90,39  | 0,00 | 384,10 | 1.861,50 |
| 2017 | mm | 12 | 164,78 | 205,31 | 42.150,88 | 38.638,31 | 59,27 | 124,59 | 0,00 | 626,00 | 1.977,40 |
| 2018 | mm | 12 | 81,77  | 99,25  | 9.850,49  | 9.029,61  | 28,65 | 121,38 | 0,00 | 258,70 | 981,20   |
| 2019 | mm | 12 | 98,38  | 155,68 | 24.235,90 | 22.216,24 | 44,94 | 158,24 | 0,00 | 478,20 | 1.180,60 |
| 2020 | mm | 12 | 136,50 | 132,26 | 17.491,88 | 16.034,22 | 38,18 | 96,89  | 0,00 | 380,64 | 1.638,02 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN, 2024.

En la Figura 34 se puede observar el comportamiento de la precipitación de la estación 74051, la misma muestra tres picos de lluvias en los años 2005, 2008, 2017 y 2020, siendo agosto, setiembre y octubre los meses más lluviosos.

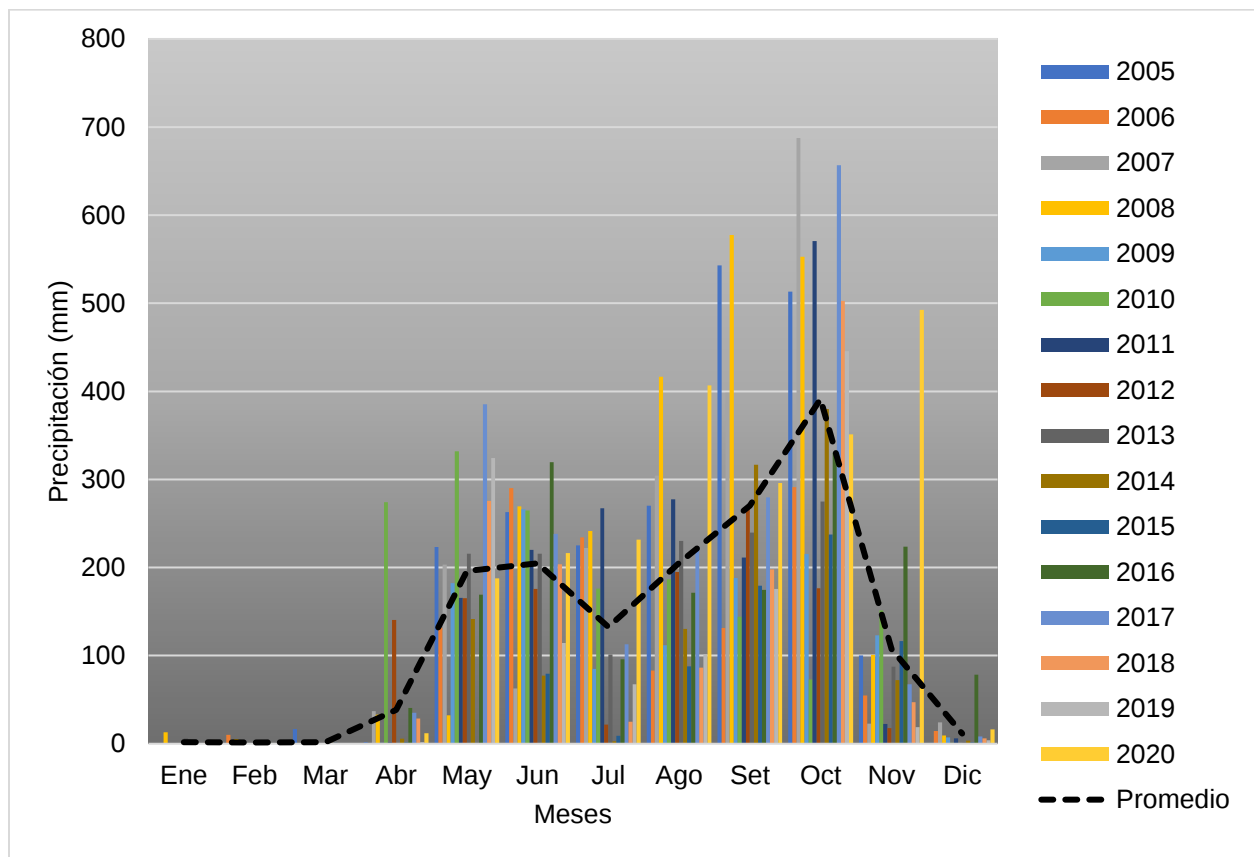


Figura 34. Precipitación mensual por año. Estación 74051, 2005-2020

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN, 2024.

Tabla 19. Resumen de variables estadísticas de precipitación anual. Estación 74051, 2005-2020

| Año  | Variable | n  | Media  | D.E.   | Var(n-1)  | Var(n)    | E.E.  | CV     | Mín  | Máx    | Suma     |
|------|----------|----|--------|--------|-----------|-----------|-------|--------|------|--------|----------|
| 2005 | mm       | 12 | 179,78 | 196,12 | 38.463,47 | 35.258,18 | 56,62 | 109,09 | 0,00 | 542,90 | 2.157,30 |
| 2006 | mm       | 12 | 103,44 | 112,92 | 12.750,92 | 11.688,34 | 32,60 | 109,16 | 0,00 | 291,20 | 1.241,30 |
| 2007 | mm       | 12 | 163,60 | 213,27 | 45.484,49 | 41.694,11 | 61,57 | 130,36 | 0,00 | 687,60 | 1.963,20 |
| 2008 | mm       | 12 | 187,80 | 220,05 | 48.420,76 | 44.385,70 | 63,52 | 117,17 | 1,90 | 577,30 | 2.253,60 |
| 2009 | mm       | 12 | 98,61  | 97,27  | 9.461,53  | 8.673,07  | 28,08 | 98,64  | 0,20 | 266,20 | 1.183,30 |
| 2010 | mm       | 12 | 133,71 | 118,98 | 14.155,38 | 12.975,77 | 34,35 | 88,98  | 0,00 | 331,90 | 1.604,50 |
| 2011 | mm       | 12 | 145,32 | 176,23 | 31.058,36 | 28.470,16 | 50,87 | 121,28 | 0,00 | 570,60 | 1.743,80 |
| 2012 | mm       | 12 | 96,67  | 98,51  | 9.703,38  | 8.894,77  | 28,44 | 101,90 | 0,00 | 266,60 | 1.160,00 |
| 2013 | mm       | 12 | 114,53 | 112,64 | 12.688,50 | 11.631,12 | 32,52 | 98,36  | 0,00 | 275,00 | 1.374,30 |
| 2014 | mm       | 12 | 94,24  | 130,08 | 16.920,33 | 15.510,31 | 37,55 | 138,03 | 0,00 | 379,70 | 1.130,90 |
| 2015 | mm       | 12 | 59,58  | 81,84  | 6.698,39  | 6.140,19  | 23,63 | 137,38 | 0,00 | 237,50 | 714,90   |
| 2016 | mm       | 12 | 133,73 | 117,62 | 13.833,58 | 12.680,79 | 33,95 | 87,95  | 0,00 | 330,60 | 1.604,70 |
| 2017 | mm       | 12 | 167,33 | 201,63 | 40.655,93 | 37.267,94 | 58,21 | 120,50 | 0,00 | 656,80 | 2.007,90 |
| 2018 | mm       | 12 | 114,58 | 154,60 | 23.900,09 | 21.908,42 | 44,63 | 134,92 | 0,00 | 502,60 | 1.375,00 |
| 2019 | mm       | 12 | 104,50 | 145,27 | 21.103,84 | 19.345,19 | 41,94 | 139,02 | 0,00 | 445,80 | 1.254,00 |
| 2020 | mm       | 12 | 184,63 | 177,31 | 31.439,85 | 28.819,87 | 51,19 | 96,04  | 0,00 | 492,60 | 2.215,60 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN, 2024.

En la Figura 35 se puede observar el comportamiento de la precipitación de la estación 74053, la misma muestra tres picos de lluvias en los años 2005, 2007, 2008, 2010, 2017 y 2020, siendo mayo, setiembre y octubre los meses más lluviosos.

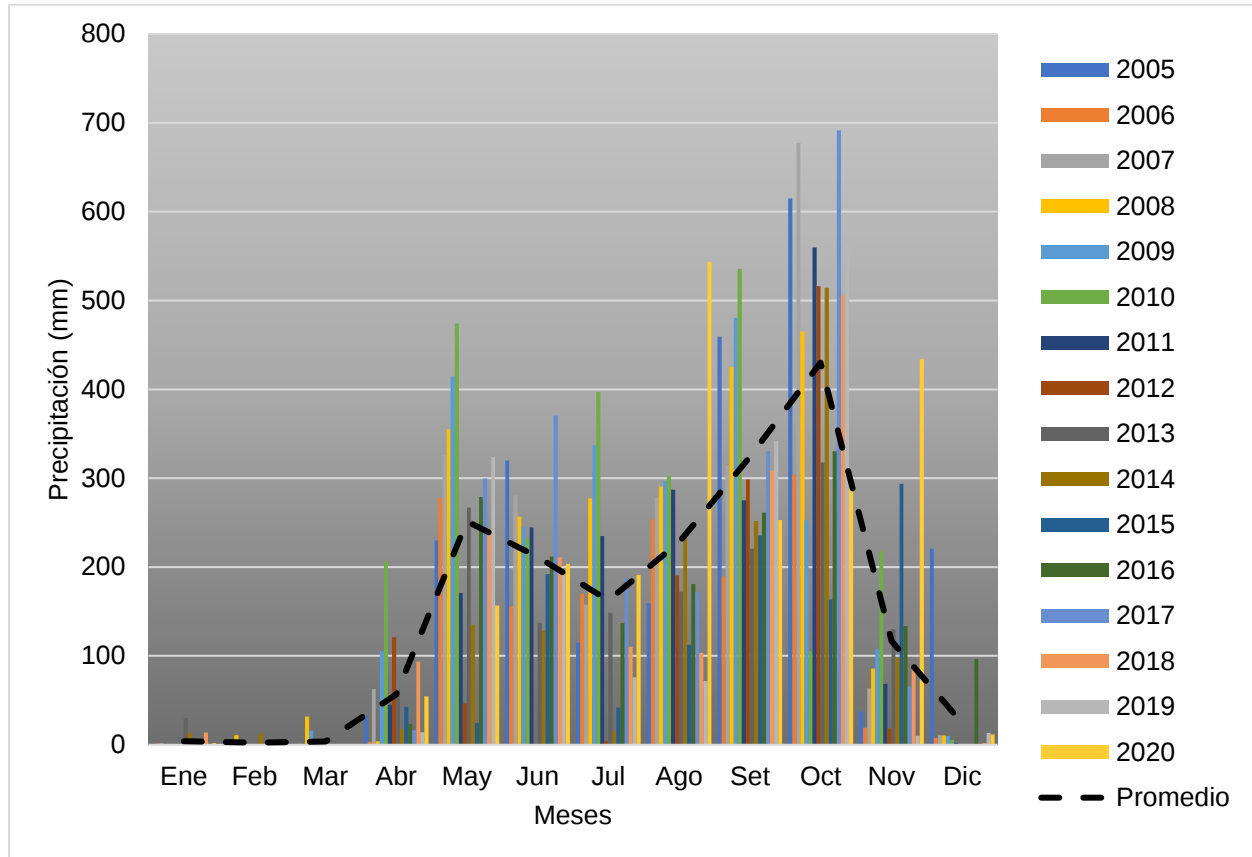


Figura 35. Precipitación mensual por año. Estación 74053, 2005-2020

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN, 2024.

Tabla 20. Resumen de variables estadísticas de precipitación anual. Estación 74053, 2005-2020

| Año  | Variable | n  | Media  | D.E.   | Var(n-1)  | Var(n)    | E.E.  | CV     | Mín  | Máx    | Suma     |
|------|----------|----|--------|--------|-----------|-----------|-------|--------|------|--------|----------|
| 2005 | mm       | 12 | 182,60 | 198,58 | 39.435,15 | 36.148,89 | 57,33 | 108,75 | 0,00 | 614,80 | 2.191,20 |
| 2006 | mm       | 12 | 115,75 | 121,54 | 14.772,56 | 13.541,51 | 35,09 | 105,01 | 1,10 | 303,90 | 1.388,95 |
| 2007 | mm       | 12 | 181,25 | 204,38 | 41.772,26 | 38.291,24 | 59,00 | 112,76 | 0,20 | 677,70 | 2.175,00 |
| 2008 | mm       | 12 | 184,45 | 178,61 | 31.900,39 | 29.242,02 | 51,56 | 96,83  | 0,10 | 465,05 | 2.213,45 |
| 2009 | mm       | 12 | 189,24 | 170,99 | 29.237,60 | 26.801,14 | 49,36 | 90,36  | 0,10 | 480,38 | 2.270,85 |
| 2010 | mm       | 12 | 206,49 | 191,85 | 36.806,27 | 33.739,08 | 55,38 | 92,91  | 0,00 | 535,70 | 2.477,90 |
| 2011 | mm       | 12 | 157,49 | 171,78 | 29.507,30 | 27.048,36 | 49,59 | 109,07 | 0,00 | 559,80 | 1.889,90 |
| 2012 | mm       | 12 | 99,65  | 162,28 | 26.335,30 | 24.140,69 | 46,85 | 162,85 | 0,00 | 516,00 | 1.195,80 |
| 2013 | mm       | 12 | 124,21 | 107,75 | 11.610,10 | 10.642,59 | 31,10 | 86,75  | 0,00 | 317,80 | 1.490,50 |
| 2014 | mm       | 12 | 118,28 | 153,51 | 23.566,18 | 21.602,33 | 44,32 | 129,79 | 0,20 | 514,20 | 1.419,30 |
| 2015 | mm       | 12 | 92,20  | 104,54 | 10.928,55 | 10.017,84 | 30,18 | 113,38 | 0,00 | 293,70 | 1.106,40 |
| 2016 | mm       | 12 | 137,84 | 117,12 | 13.716,73 | 12.573,67 | 33,81 | 84,97  | 0,00 | 330,20 | 1.654,10 |
| 2017 | mm       | 12 | 177,93 | 214,07 | 45.826,09 | 42.007,25 | 61,80 | 120,31 | 0,00 | 691,70 | 2.135,10 |
| 2018 | mm       | 12 | 139,68 | 153,45 | 23.545,66 | 21.583,52 | 44,30 | 109,85 | 0,10 | 505,70 | 1.676,20 |
| 2019 | mm       | 12 | 133,98 | 184,19 | 33.925,88 | 31.098,72 | 53,17 | 137,48 | 0,00 | 564,30 | 1.607,70 |

|      |    |    |        |        |           |           |       |        |      |        |          |
|------|----|----|--------|--------|-----------|-----------|-------|--------|------|--------|----------|
| 2020 | mm | 12 | 179,18 | 180,40 | 32.543,68 | 29.831,70 | 52,08 | 100,68 | 0,00 | 543,40 | 2.150,20 |
|------|----|----|--------|--------|-----------|-----------|-------|--------|------|--------|----------|

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN, 2024.

Los análisis climatológicos de precipitación para la cuenca del río Tempisque para el periodo 2005-2020 indican un acumulado promedio anual de 1.607 mm el cual se concentra en los meses mayo y junio, con una leve disminución en julio que coincide con el periodo canicular, aumentando en agosto, setiembre y octubre, coincidiendo con la estación lluviosa para el Pacífico de Costa Rica, mientras que los meses diciembre, enero, febrero y marzo evidencian una estación seca bien definida. En la Figura 36 se muestra la precipitación mensual promedio para la cuenca del río Tempisque en el periodo 2005-2020.

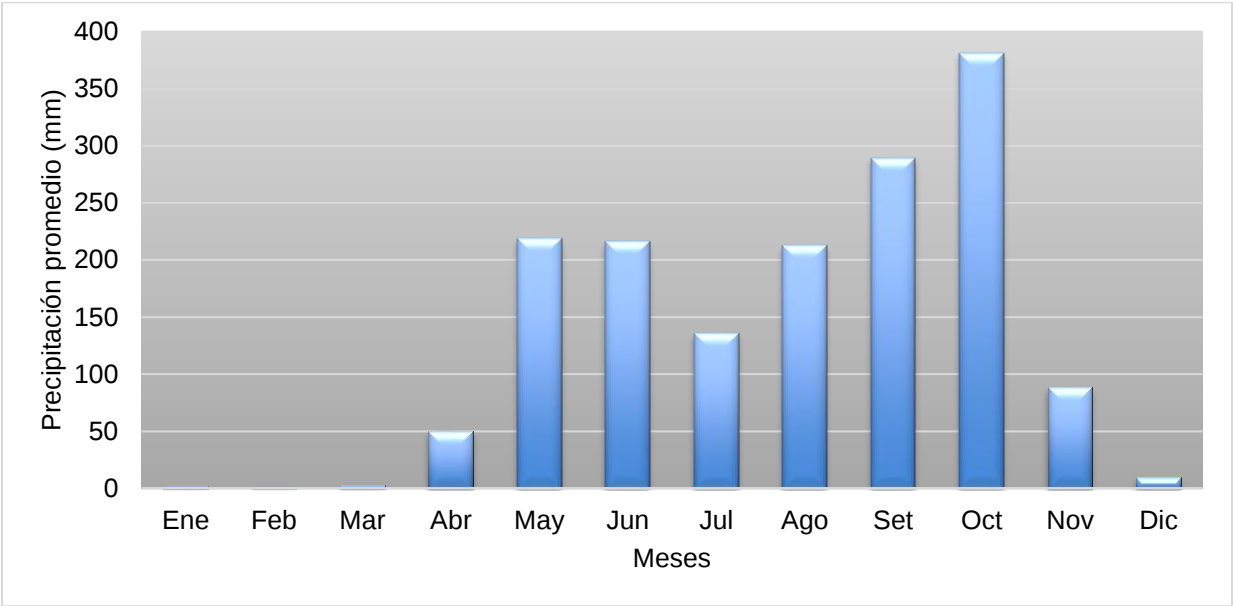


Figura 36. Climograma de la precipitación en la cuenca del río Tempisque, 2005-2020

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN, 2024.

5.2 AÑOS PADRÓN HABITUALES Y EXTREMOS

Para el periodo de estudio se determinó que la media anual de la precipitación en la cuenca del río Tempisque es de 1680,4 mm, aplicando la metodología propuesta por

Monteiro, se estableció que los años normales tienen una precipitación promedio anual entre 1.647 mm y 1775 mm, mientras que los años secos oscilan entre 885 mm y 1.039 mm, con tendencia seca entre 1.128 mm y 1.408 mm, los años con tendencia lluviosa varían entre 1.960 mm y 1.988 mm, y los años lluviosos entre 2.194 mm y 2.522 mm.

Tabla 21. Años padrón habituales y extremos, cuenca del río Tempisque, 2005-2020

| Año         | Total anual (mm) | Desviación estándar | Coeficiente varianza | Tipo de año        |
|-------------|------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| 2005        | 1.988,56         | 192,61              | 23,70                | Tendencia lluviosa |
| 2006        | 1.296,73         | 106,33              | -19,34               | Tendencia seca     |
| 2007        | 2.194,24         | 204,14              | 36,49                | Lluvioso           |
| 2008        | 2.522,03         | 203,02              | 56,89                | Lluvioso           |
| 2009        | 1.164,89         | 103,94              | -27,54               | Tendencia seca     |
| 2010        | 2.476,19         | 181,15              | 54,03                | Lluvioso           |
| 2011        | 1.775,43         | 158,48              | 10,44                | Normal             |
| 2012        | 1.039,18         | 95,00               | -35,36               | Seco               |
| 2013        | 1.408,28         | 119,21              | -12,40               | Tendencia seca     |
| 2014        | 1.128,90         | 126,72              | -29,78               | Tendencia seca     |
| 2015        | 885,24           | 90,34               | -44,93               | Seco               |
| 2016        | 1.710,30         | 123,93              | 6,39                 | Normal             |
| 2017        | 1.960,94         | 186,22              | 21,98                | Tendencia lluviosa |
| 2018        | 1.168,70         | 111,19              | -27,30               | Tendencia seca     |
| 2019        | 1.354,01         | 157,59              | -15,77               | Tendencia seca     |
| 2020        | 1.647,42         | 129,98              | 2,48                 | Normal             |
| Media anual | 1.680,4 mm       |                     |                      |                    |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN, 2024

En la tabla anterior se observa que no hay una regularidad entre años normales y años lluviosos o secos, sino que varían dependiendo de fenómenos locales y de mesoescala como se evidenciará más adelante con el análisis de las teleconexiones.

En la siguiente figura, se muestra la tendencia mensual de precipitación a lo largo de la cuenca, coincidiendo con la estacionalidad típica del Pacífico Norte de Costa Rica, con dos periodos de lluvias iniciando en abril y disminuyendo en junio, y otro de julio a finales de octubre, época de mayor afectación por eventos pluviales extremos. Se observa una disminución significativa de las precipitaciones en mayo 2009 y 2015, lo que obedece a un inicio tardío de la estación lluviosa debido a la influencia del ENOS.

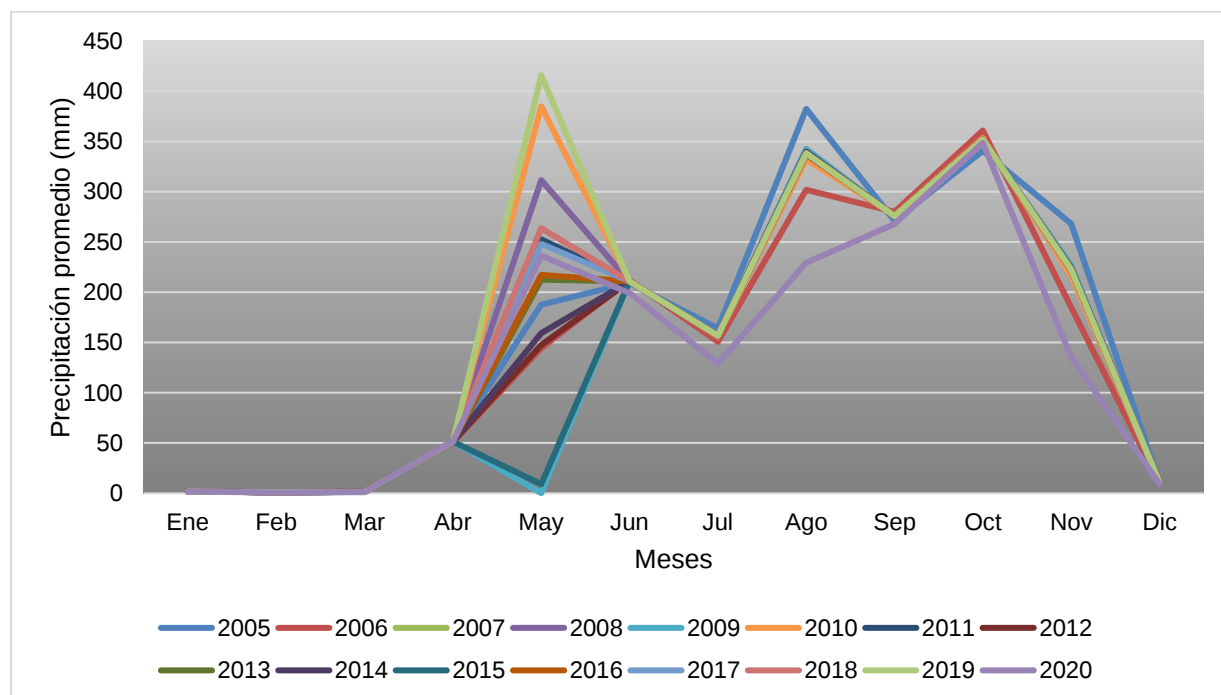


Figura 37. Precipitación promedio anual, cuenca del río Tempisque, 2005-2020

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN, 2024

### 5.3 VARIABILIDAD DE TENDENCIA

El análisis del comportamiento temporal de la precipitación en la cuenca del río Tempisque para el periodo 2005-2020 evidencia un patrón irregular, con alternancias anuales y bianuales en función de eventos de mesoescala climática. Los datos obtenidos muestran que los años 2006, 2012, 2013, 2014, 2015, 2018 y 2019 fueron particularmente secos, estando por debajo de dicha media; mientras que el 2005, 2007, 2008, 2010, 2017 y 2020 fueron años con registros por encima de la media de precipitación; dichos datos coinciden con lo mostrado en la Tabla 21 que muestra los años patrón, y los extremos secos y lluviosos.

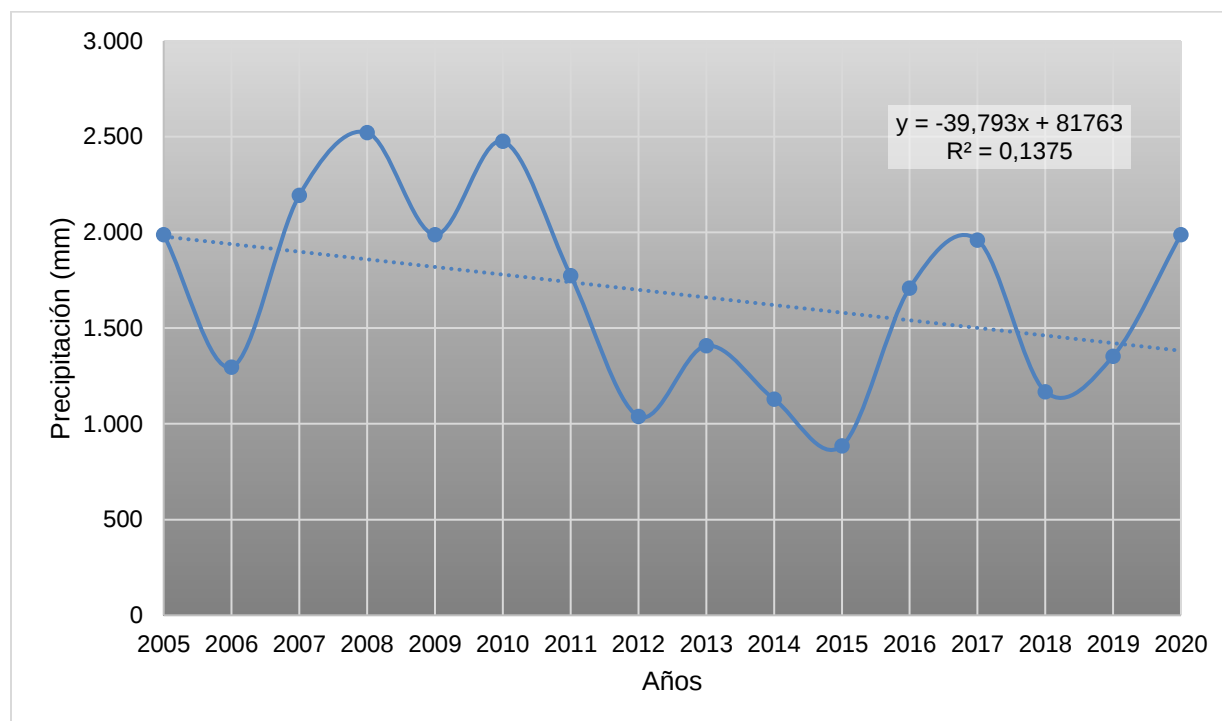


Figura 38. Variabilidad interanual de la precipitación, cuenca del río Tempisque, 2005-2020

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMN, 2024

En el gráfico anterior se puede observar que no hay una correlación directa entre la variable lluvia y el tiempo (años) con respecto a los datos, ya que se presentan eventos extremos tanto secos (2006, 2012, 2014 y 2015) como húmedos (2008 y 2010) sin seguir un patrón, siendo la correlación de datos muy baja debido a que el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) es inferior a 1, donde  $r^2 = 0,1375$ .

## 5.4 TELECONEXIONES ATMOSFÉRICAS

Las teleconexiones interactúan de manera compleja y su impacto puede variar dependiendo de las condiciones climáticas globales y locales. Los sistemas meteorológicos asociados a estos patrones también están influenciados por el cambio climático, lo que podría amplificar la frecuencia e intensidad de los eventos de precipitación extrema en el futuro.

## 5.5 ANÁLISIS DE EVENTOS PLUVIALES EXTREMOS

En la cuenca del Atlántico entre el 2005 y el 2020 se registraron 386 ciclones tropicales, de los cuales 263 alcanzaron la categoría de tormentas tropicales y subtropicales, 123 de huracanes (categorías 1,2 3, 4 y 5 en la escala Saffir-Simpson) y 54 de huracanes mayores (categorías 3, 4 y 5 en la escala Saffir-Simpson). En la Figura 39 se detalla el total de eventos por año y por tipo.

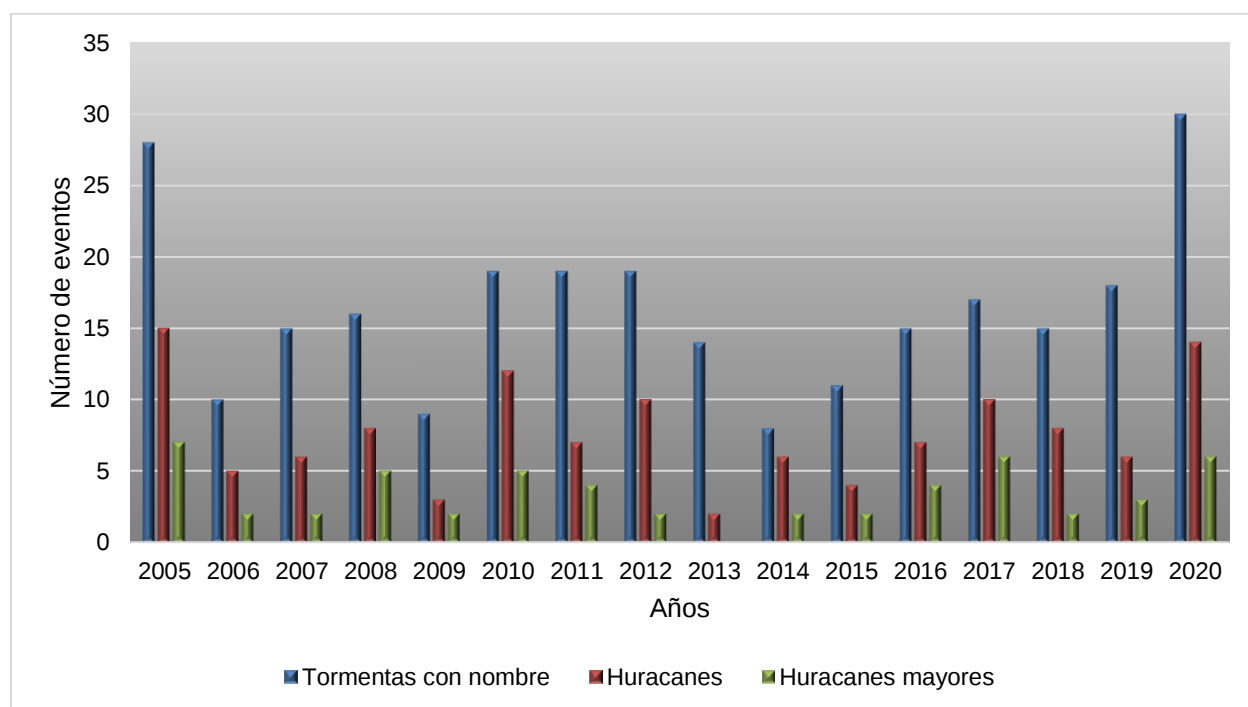


Figura 39. Ciclones tropicales desarrollados en la Cuenca Atlántica, 2005-2020

Adaptado de: <https://www.aoml.noaa.gov/es/hrd-faq/#atlantic-tcs-by-year-satellite>

Para Costa Rica durante el periodo de estudio se registraron un total de 31 ciclones tropicales, de los cuales 20 alcanzaron la categoría de huracanes, nueve de tormentas tropicales y dos de depresiones tropicales. Ver Figura 40

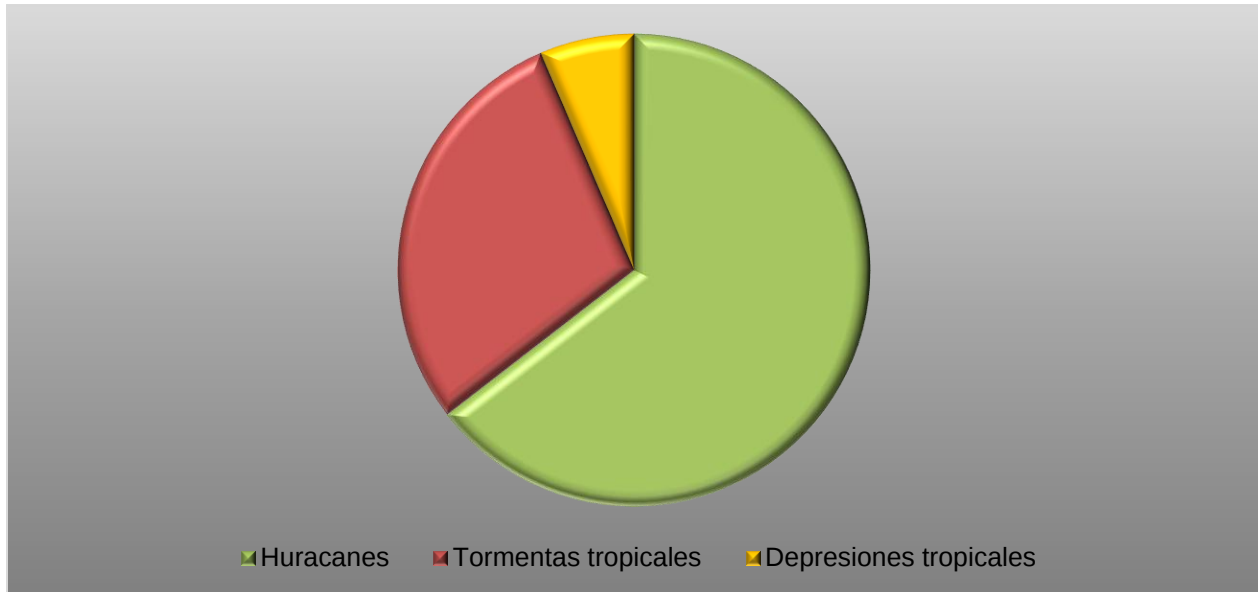


Figura 40. Clasificación de los ciclones tropicales registrados en Costa Rica, 2005-2020

Adaptado de: IMN, 2024

#### 5.5.1 Eventos pluviales extremos: eventos asociados e impacto

A continuación, se detallan los ciclones tropicales que afectaron Costa Rica entre el 2005 y el 2020, así como los eventos asociados a cada uno y el impacto en infraestructura, actividades productivas, pérdidas económicas y afectación humana. Ver Tabla 22, se resaltan los ciclones tropicales que afectaron la cuenca del río Tempisque.

Tabla 22. Principales impactos de los eventos pluviales extremos por ciclones tropicales, Costa Rica, 2005-2020<sup>2</sup>

| Año  | Fecha                                                                     | Ciclón tropical        | Eventos asociados                                                                                                                                        |                                                                                       |                                                        | Impactos                                                                                          |                                                                                                         |                                |                                                       |
|------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------|
|      |                                                                           |                        | Precipitaciones                                                                                                                                          | Inundaciones                                                                          | Deslizamientos                                         | En infraestructura                                                                                | En actividades productivas                                                                              | Económicos (USA \$)            | Humanos                                               |
| 2005 | 15 al 17 Julio                                                            | Huracán Emily          | -Lluvias en el Valle Central<br>-Lluvias ligeras a moderadas en algunas regiones del Caribe y la Zona Norte                                              | No se reportaron                                                                      | No se reportaron                                       | No se reportaron                                                                                  | No se reportaron                                                                                        | No se reportaron               | No se reportaron                                      |
|      | 8 julio                                                                   | Huracán Denis          | -Lluvias en el Valle Central<br>-Lluvias ligeras a moderadas en algunas regiones del Caribe y la Zona Norte                                              | No se reportaron                                                                      | No se reportaron                                       | No se reportaron                                                                                  | -Afectación temporal de actividades pesqueras                                                           | No se reportaron               | No se reportaron                                      |
|      | 1 al 3 octubre                                                            | Huracán Stan           | Severos aguaceros en Sarchí e Ingenio Taboga el 2 de octubre                                                                                             | No se reportaron                                                                      | No se reportaron                                       | No se reportaron                                                                                  | No se reportaron                                                                                        | Daños estimados \$20 millones  | -1 persona fallecida                                  |
|      | 14 al 25 octubre                                                          | Huracán Wilma          | -Severos aguaceros el 21 en San Ramón y el 19 en Sarchí<br>-Lluvias torrenciales en el Pacífico Norte (Guanacaste), el Pacífico Central y la Zona Norte  | -Desbordamiento de los ríos Tempisque y Bebedero, y en la Zona Norte                  | -Deslizamientos en el Valle Central y Zona Norte       | Carreteras, puentes y caminos rurales sufrieron daños debido a la acumulación de agua y derrumbes | -Pérdida de cultivos de arroz y caña de azúcar                                                          | Daños estimados \$108 millones | -Evacuación de familias en zonas afectadas            |
|      | 26 al 31 de octubre                                                       | Huracán Beta           | -Lluvias torrenciales en el Caribe costarricense y la Zona Norte<br>-Lluvias en el Pacífico y Valle Central<br>-Precipitaciones máximas de 500 mm en 24h | -Inundaciones en el Caribe y en la Zona Norte                                         | -Deslizamientos en Turrialba y Cordillera de Talamanca | -Afectación de vías rurales y carreteras<br>-Afectación de viviendas                              | -Pérdida de cultivos de piña, banano, yuca, frijol y maíz                                               | Dato no disponible             | -Evacuación de familias en zonas afectadas            |
| 2006 | No se reportan eventos pluviales extremos asociados a ciclones tropicales |                        |                                                                                                                                                          |                                                                                       |                                                        |                                                                                                   |                                                                                                         |                                |                                                       |
| 2007 | 28 de octubre al 02 de noviembre                                          | Tormenta tropical Noel | -Lluvias prolongadas y torrenciales, especialmente en el Pacífico Norte, Pacífico Central y la Zona Norte                                                | -Desbordamiento de los ríos Tempisque, Bebedero y Térraba                             | -Deslizamientos en la Zona Norte y Valle Central       | -Daños en carreteras y puentes<br>-Caminos rurales intransitables                                 | -Pérdida de cultivos de arroz, caña de azúcar y frijol.<br>-Afectación de pastizales para el ganado     | Dato no disponible             | -200 personas evacuadas<br>-Habilitación de albergues |
| 2008 | 23 al 30 de mayo                                                          | Tormenta tropical Alma | -Lluvias significativas en la Zona Norte y el Pacífico.<br>-Luvias intensas en Guanacaste, Puntarenas, y el Valle Central                                | -Inundaciones severas en Guanacaste y Puntarenas<br>-Desbordamiento del río Tempisque | -Deslizamientos en la Zona Norte                       | -42.000 personas sin electricidad<br>-Daños en viviendas y carreteras                             | -Pérdidas de cultivos de arroz, frijoles, maíz y caña de azúcar<br>-Afectación de actividades pesqueras | Daños estimados \$35 millones  | -2 personas fallecidas<br>-250 personas evacuadas     |

<sup>2</sup> Se destacan los eventos que afectaron la cuenca del río Tempisque.

Eventos pluviales extremos en la cuenca del río Tempisque,  
Costa Rica, 2005 a 2020: riesgos e impactos

|      |                       |                          |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                       |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                             |                                 |                                                              |
|------|-----------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|      | 17 al 18 agosto       | Tormenta tropical Fay    | -Lluvias ligeras a moderadas en el Caribe, Zona Norte y Valle Central                                                                  | No se reportaron                                                                                                                                      | No se reportaron                                                                                                     | No se reportaron                                                                                                                                                | -Afectación temporal de actividades pesqueras                                                                                                               | No se reportaron                | No se reportaron                                             |
|      | 28 al 29 agosto       | Huracán Gustav           | -Lluvias intensas en el Caribe, la Zona Norte y algunas áreas del Pacífico<br>-Precipitaciones máximas entre 150-200 mm en 24h         | -Inundaciones menores en el Caribe y la Zona Norte                                                                                                    | -Deslizamientos en la Zona Norte y Talamanca                                                                         | -Interrupciones temporales en el tráfico y la conectividad entre comunidades                                                                                    | -Pérdida de cultivos de arroz, caña de azúcar, frijoles y maíz<br>-Afectación de pastizales para el ganado<br>-Afectación temporal de actividades pesqueras | Dato no disponible              | -Evacuaciones preventivas                                    |
|      | 2 al 5 de setiembre   | Huracán Hanna            | -Lluvias intensas en el Caribe, la Zona Norte y algunas áreas del Pacífico<br>-Precipitaciones máximas de 200 mm en 24h                | -Inundaciones en áreas bajas cercanas a los ríos Tempisque, Pacuare y Reventazón                                                                      | -Deslizamientos en Caribe, la Zona Norte y Talamanca                                                                 | -Daños en infraestructura vial<br>-Daños en viviendas                                                                                                           | -Pérdidas de cultivos de arroz, frijoles, maíz y banano                                                                                                     | -Daños estimados \$15 millones  | -Evacuaciones preventivas                                    |
|      | 7 al 9 de setiembre   | Huracán Ike              | -Lluvias ligeras y moderadas en Caribe y Zona Norte<br>-Intensos aguaceros con fuertes ráfagas en San José, Alajuela y Cartago         | No se reportaron inundaciones                                                                                                                         | No se reportaron deslizamientos                                                                                      | No se reportaron                                                                                                                                                | No se reportaron                                                                                                                                            | No se reportaron                | No se reportaron                                             |
| 2009 | 2 al 5 de noviembre   | Huracán Ida              | -Lluvias fuertes y prolongadas en el Pacífico Norte (Guanacaste), la Zona Norte, y algunas partes del Valle Central.                   | -Desbordamiento de los ríos Tempisque y Bebedero                                                                                                      | -Deslizamientos en la Zona Norte y la Cordillera de Guanacaste                                                       | -Daños en carreteras y puentes en el Pacífico Norte y la Zona Norte<br>-Comunidades temporalmente incomunicadas                                                 | -Pérdida de cultivos de frijoles, caña, arroz y pastizales                                                                                                  | Dato no disponible              | -Decenas de personas evacuadas<br>-Habilitación de albergues |
| 2010 | 28 al 30 de setiembre | Tormenta tropical Nicole | -Lluvias intensas y prolongadas Caribe, la Zona Norte y las regiones montañosas<br>-Lluvias fuertes en Guanacaste                      | -Desbordamiento de los ríos Tempisque, Bebedero, Pacuare y Reventazón                                                                                 | -Deslizamientos en la Zona Norte, Valle Central, Talamanca y Guanacaste                                              | -Daños en carreteras principales y secundarias<br>-Puentes fueron arrastrados o dañados                                                                         | -Pérdida de cultivos de arroz, banano, piña, cacao, frijoles y maíz                                                                                         | -Daños estimados \$17 millones  | -1.000 personas evacuadas                                    |
|      | 21 de octubre         | Huracán Richard          | -Lluvias moderadas y fuertes en el Pacífico Norte, la Zona Norte y el Valle Central<br>-Precipitaciones máximas entre 50-100 mm en 24h | -Desbordamiento de los ríos Tempisque y Bebedero                                                                                                      | -Deslizamientos en Tilarán y la Zona Norte                                                                           | -Afectaciones menores en la infraestructura vial                                                                                                                | -Pérdida de cultivos de arroz, caña de azúcar, frijoles y maíz<br>-Afectación temporal de actividades pesqueras                                             | Dato no disponible              | -Evacuaciones preventivas                                    |
|      | 1 al 5 de noviembre   | Huracán Tomas            | -Lluvias torrenciales en la Zona Norte, el Pacífico Norte y el Caribe<br>-Precipitaciones máximas de 400 mm en 72h                     | -Inundaciones generalizadas, especialmente en zonas bajas de las provincias de Guanacaste, Limón y Alajuela<br>-Desbordamiento de los ríos Tempisque, | -Deslizamientos en las regiones montañosas, en la Zona de los Santos, Tilarán, la Zona Norte y San Antonio de Escazú | -Bloqueo de carreteras principales y rurales<br>-Carreteras y puentes resultaron dañados o destruidos<br>-Afectación de sistemas de agua potable y electricidad | -Pérdidas de cultivos de arroz, frijoles, maíz, banano y hortalizas                                                                                         | -Daños estimados \$354 millones | -23 personas fallecidas<br>-5.000 personas evacuadas         |

Eventos pluviales extremos en la cuenca del río Tempisque,  
Costa Rica, 2005 a 2020: riesgos e impactos

|      |                                                                           |                          |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                                       |                                                                                                              |                                |                                                     |
|------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
|      |                                                                           |                          |                                                                                                                                                            | Sarapiquí y Reventazón                                                                                                                                                               |                                                                                                                      |                                                                                                                       |                                                                                                              |                                |                                                     |
| 2011 | 19 de agosto                                                              | Tormenta tropical Harvey | -Lluvias en la Zona Norte, el Pacífico Norte y algunas partes del Valle Central<br>-Precipitaciones máximas entre 50-100 mm en 24h                         | -Inundaciones menores en la Zona Norte y el Pacífico Norte<br>-Desbordamiento del río Tempisque                                                                                      | -Deslizamientos en la Zona de los Santos y partes de Alajuela                                                        | -Afectación de carreteras secundarias que dificultaron el acceso a algunas comunidades rurales                        | -Pérdidas de cultivos de arroz, caña de azúcar y hortalizas<br>-Afectación temporal de actividades pesqueras | Dato no disponible             | -Evacuaciones preventivas                           |
|      | 10 al 15 de octubre                                                       | Depresión Tropical 12-E  | -Lluvias extremas en Pacífico Norte, el Pacífico Central, el Pacífico Sur, y la Zona Norte<br>-Precipitaciones máximas de 500mm en 24h                     | -Inundaciones generalizadas en Guanacaste, Puntarenas, Alajuela, y partes del Valle Central<br>-Desbordamiento de los ríos Tempisque, Térraba, Sarapiquí y Grande de Térrabos        | -Deslizamientos en zonas montañosas, especialmente en la Zona de los Santos, el Pacífico Central, y el Valle Central | -Infraestructura vial severamente afectada, con carreteras dañadas, puentes colapsados y caminos rurales destruidos.  | -Pérdidas masivas en cultivos arroz, caña de azúcar, frijoles y maíz<br>-Pérdida de pastizales y animales    | -Daños estimados \$85 millones | -5 personas fallecidas<br>-5.000 personas evacuadas |
| 2012 | 24 al 26 de agosto                                                        | Huracán Isaac            | -Lluvias intensas en el Pacífico Norte, el Valle Central, y algunas partes de la Zona Norte<br>-Precipitaciones máximas entre 50-150 mm en 24h             | -Inundaciones en comunidades de Guanacaste y el Pacífico Central<br>-Desbordamiento de los ríos Tempisque y Térraba                                                                  | -Deslizamientos pequeños en la Zona de los Santos y Tilarán                                                          | -Bloqueo temporal del acceso a comunidades rurales<br>-Cortes temporales en el suministro eléctrico y de agua potable | -Pérdidas de cultivos de arroz, caña de azúcar y maíz                                                        | Dato no disponible             | -Evacuaciones preventivas                           |
|      | 21 al 25 de octubre                                                       | Tormenta tropical Sandy  | -Lluvias fuertes en la Zona Norte, el Pacífico Norte y el Valle Central<br>-Lluvias moderadas en Caribe<br>-Precipitaciones máximas entre 50-150 mm en 24h | -Inundaciones en comunidades cercanas a ríos en Guanacaste, particularmente en los distritos de Carrillo, Santa Cruz, y Nicoya<br>-Desbordamiento de los ríos Sarapiquí y San Carlos | -Deslizamientos en el Valle Central y la Zona de los Santos                                                          | -Anegamientos en carreteras y puentes<br>-Erosión y deterioro de caminos rurales<br>-Bloqueo de caminos secundarios   | -Pérdidas de cultivos arroz, frijoles y hortalizas<br>-Pérdida de pastizales                                 | Dato no disponible             | -Evacuaciones preventivas                           |
| 2013 | No se reportan eventos pluviales extremos asociados a ciclones tropicales |                          |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                                       |                                                                                                              |                                |                                                     |
| 2014 | No se reportan eventos pluviales extremos asociados a ciclones tropicales |                          |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                                       |                                                                                                              |                                |                                                     |
| 2015 | 19 de octubre                                                             | Huracán Patricia         | -Lluvias en el Pacífico Norte, el Pacífico Central, y partes del Valle Central<br>-Precipitaciones máximas de 100 mm en 24h                                | -Inundaciones menores en áreas del Pacífico Norte, especialmente en Guanacaste, y en comunidades cercanas al río Tempisque                                                           | -Deslizamientos en zonas montañosas del Valle Central y el Pacífico Sur                                              | -Afectación de caminos secundarios<br>-Comunidades parcialmente aisladas<br>-10 viviendas inundadas                   | -Pérdidas de cultivos arroz y caña de azúcar<br>-Pérdida de pastizales                                       | Dato no disponible             | -Evacuaciones preventivas                           |
| 2016 | 3 al 4 de agosto                                                          | Huracán Earl             | -Lluvias moderadas a fuertes, especialmente en la Zona Norte, el Caribe, y algunas partes del Valle Central                                                | -Inundaciones menores en la Zona Norte, en comunidades cercanas a los ríos Sarapiquí y San Carlos                                                                                    | -Deslizamientos menores en zonas montañosas del Caribe Sur y la Zona de los Santos                                   | No se reportaron                                                                                                      | -Pérdidas de cultivos de banano y piña                                                                       | No se reportaron               | No se reportaron                                    |

Eventos pluviales extremos en la cuenca del río Tempisque,  
Costa Rica, 2005 a 2020: riesgos e impactos

|      |                                                                           |                                    |                                                                                                                                                                            |                                                                                                                  |                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                          |                          |                                                                                      |
|------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|      |                                                                           |                                    | -Precipitaciones máximas entre 50 y 120 mm en 24h                                                                                                                          |                                                                                                                  |                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                          |                          |                                                                                      |
|      | 30 de setiembre al 6 de octubre                                           | Huracán Matthew                    | -Lluvias moderadas a fuertes en el Pacífico Sur, el Pacífico Central, y en menor medida en el Valle Central y el Caribe<br>-Precipitaciones máximas entre 50-100 mm en 24h | -Inundaciones menores en comunidades del Pacífico Central, como Parrita y Quepos                                 | -Deslizamientos en la Zona de los Santos, Talamanca, y partes del Valle Central                                    | -Daños menores en caminos rurales                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | -Pérdidas de cultivos de arroz, caña de azúcar y banano                                  | No se reportaron         | -Evacuaciones preventivas                                                            |
|      | 16 al 25 de noviembre                                                     | Huracán Otto                       | -Lluvias intensas en Pacífico, Zona Norte y el Caribe<br>-Precipitaciones máximas de 200 mm en 24h                                                                         | -Inundaciones graves en Upala, Guatuso, Los Chiles<br>-Desbordamiento de ríos San Carlos, Sarapiquí, y el Zapote | -Deslizamientos en Talamanca                                                                                       | -Daños a infraestructura vial y obstrucción de rutas importantes<br>-Puentes colapsados y carreteras destruidas en la Zona Norte y el Caribe<br>-Daños a instalaciones públicas como escuelas y centros de salud<br>-Viviendas inundadas<br>-Daños en 14 acueductos<br>-Cortes temporales en el suministro eléctrico y de agua potable | -Pérdidas de cultivos arroz, frijoles, caña de azúcar y banano<br>-Pérdida de pastizales | Daños por \$358 millones | -10 personas fallecidas<br>-7.800 personas evacuadas<br>-3.370 personas damnificados |
| 2017 | 4 al 6 de octubre                                                         | Huracán Nate                       | -Lluvias extremas en la Zona Norte, el Pacífico Central, el Pacífico Sur y el Caribe<br>-Precipitaciones máximas de 400 mm en 24h                                          | -Inundaciones generalizadas en áreas cercanas a los ríos Sarapiquí, San Carlos, Upala, y Tempisque               | -Deslizamientos en áreas montañosas del Pacífico Central y el Valle Central, Talamanca, Upala, Zarcero y Río Claro | -Puentes y carreteras fueron destruidos o dañados, especialmente en el Pacífico Central y el Caribe<br>-Daños en viviendas y establecimientos comerciales                                                                                                                                                                              | -Pérdidas de cultivos arroz, frijoles, caña de azúcar y banano                           | Daños por \$562 millones | -14 personas fallecidas<br>-30.000 personas evacuadas<br>-11.300 damnificados        |
| 2018 | Octubre 2018                                                              | Tormenta Tropical Michael          | -Lluvias intensas en todo el país<br>-Precipitaciones máximas de 200 mm en 24h                                                                                             | -Inundaciones localizadas en áreas del Pacífico Central y el Caribe                                              | -Deslizamientos en zonas montañosas de la Zona de los Santos, Talamanca y algunas áreas rurales del Valle Central  | -Colapso de partes de caminos rurales y obstrucciones en las rutas de acceso a comunidades<br>-Daños menores a vivienda<br>-Afectaciones en distribución eléctrica                                                                                                                                                                     | -Pérdidas de cultivos arroz, caña de azúcar y banano                                     | No se reportaron         | -Evacuaciones preventivas                                                            |
| 2019 | No se reportan eventos pluviales extremos asociados a ciclones tropicales |                                    |                                                                                                                                                                            |                                                                                                                  |                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                          |                          |                                                                                      |
| 2020 | 28 de mayo al                                                             | Tormenta tropical Amanda-Cristóbal | -Lluvias intensas en el Pacífico Sur, Valle Central, Zona Norte y Caribe                                                                                                   | -Inundaciones en Limón y Puerto Viejo                                                                            | -Deslizamientos en la Zona de los Santos                                                                           | -Daños significativos a la infraestructura,                                                                                                                                                                                                                                                                                            | -Pérdidas de cultivos arroz, frijoles, caña de azúcar y banano                           | Daños por \$50 millones  | -5 personas fallecidas                                                               |

Eventos pluviales extremos en la cuenca del río Tempisque,  
Costa Rica, 2005 a 2020: riesgos e impactos

|                    |                          |                                                                                                                                |                                                                                                                              |                                                             |                                                                                                                                                                                              |                                                                                                            |                            |                                                       |
|--------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------|
| 05 de junio        |                          | -Precipitaciones máximas de 300 mm en 24h                                                                                      | -Desbordamiento de ríos San Carlos, Sarapiquí, y el Tempisque                                                                | Talamanca, Cartago y Puntarenas                             | especialmente en carreteras y puentes<br>-Daños en viviendas<br>-Interrupciones en el suministro de energía eléctrica y agua potable                                                         |                                                                                                            |                            | -7.000 personas evacuadas                             |
| 20 al 25 de agosto | Depresión tropical Marco | -Lluvias fuertes en el Pacífico Norte, Pacífico Sur, el Caribe y el Valle Central<br>-Precipitaciones máximas de 400 mm en 24h | -Inundaciones localizadas en Limón, Guápiles, Parrita, Quepos y partes del Pacífico Sur<br>-Inundaciones en Santa Cruz       | -Deslizamientos en la Zona Norte y el Valle Central         | -Daños menores a la infraestructura en algunas regiones, incluyendo carreteras y puentes<br>-Daño de caminos rurales<br>-Interrupciones en el suministro de energía eléctrica y agua potable | -Pérdidas de cultivos arroz, frijoles, caña de azúcar y banano                                             | No se reportaron           | -Evacuaciones preventivas                             |
| 3 de octubre       | Tormenta tropical Gamma  | -Lluvias intensas y constantes en el Caribe y el Pacífico Sur<br>-Precipitaciones máximas de 200 mm en 24h                     | -Inundaciones significativas, en Limón, Guápiles, y comunidades cercanas a los ríos San Juan, Sarapiquí, y Tempisque         | -Deslizamientos en Talamanca, Zona Norte y el Valle Central | -Afectación de carreteras y puentes<br>-Interrupciones en el suministro de energía eléctrica                                                                                                 | -Pérdidas de cultivos arroz, frijoles, caña de azúcar y banano                                             | Daños por \$40 millones    | -5 personas fallecidas<br>-1.000 personas evacuadas   |
| 6 al 8 de octubre  | Huracán Delta            | -Lluvias intensas en todo el país<br>-Precipitaciones máximas de 200 mm en 24h                                                 | -Inundaciones en el Caribe, el Valle Central y el Pacífico Sur<br>-Desbordamiento de ríos en Limón, Guápiles y la Zona Norte | -Deslizamientos en zonas montañosas y rurales               | -Daños menores a la infraestructura, incluidos puentes, carreteras y sistemas de drenaje<br>-Interrupciones en el suministro de energía eléctrica                                            | -Pérdidas de cultivos arroz, caña de azúcar y banano                                                       | Daños por \$10 millones    | -1.000 personas evacuadas                             |
| 1 al 6 noviembre   | Huracán Eta              | -Lluvias torrenciales en todo el país<br>-Precipitaciones máximas de 500 mm en 24h                                             | -Inundaciones severas en Guápiles, Siquirres y Talamanca<br>-Desbordamiento de ríos en Valle Central y Pacífico Sur          | -Deslizamientos en zonas montañosas y rurales               | -Puentes fueron dañados o destruidos por las inundaciones y los deslizamientos<br>-Comunidades incomunicadas<br>-Interrupciones en el suministro de energía eléctrica e Internet             | -Pérdidas de cultivos arroz, caña de azúcar, frijoles, café y banano<br>-Pérdidas en sector agroindustrial | Daños por \$1.200 millones | -23 personas fallecidas<br>-30.000 personas evacuadas |
| 16 de noviembre    | Huracán Iota             | -Lluvias torrenciales en todo el país<br>-Precipitaciones máximas de 500 mm en 24h                                             | -Inundaciones severas en Limón, Guápiles, Siquirres, Talamanca y San Carlos<br>--Desbordamiento del río Reventazón           | -Deslizamientos en zonas montañosas y rurales               | -Daños severos en puentes y carreteras destruidas o dañadas por las inundaciones y deslizamientos<br>-Comunidades incomunicadas                                                              | -Pérdidas de cultivos arroz, caña de azúcar y banano                                                       | Daños por \$1.000 millones | -17 personas fallecidas<br>-40.000 personas evacuadas |

|  |  |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  | -Interrupciones en el suministro de energía eléctrica e Internet<br>-Interrupciones en los servicios de <b>salud</b> |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IMN, 2024; Emergency Events Database EM-DAT, 2024; MIDEPLAN, 2019.

En la siguiente figura se muestra que, durante el periodo de estudio, la cuenca del río Tempisque fue afectada por ocho huracanes, siete tormentas tropicales, y dos depresiones tropicales, siguiendo la tendencia nacional en cuanto a la incidencia de estos fenómenos meteorológicos.

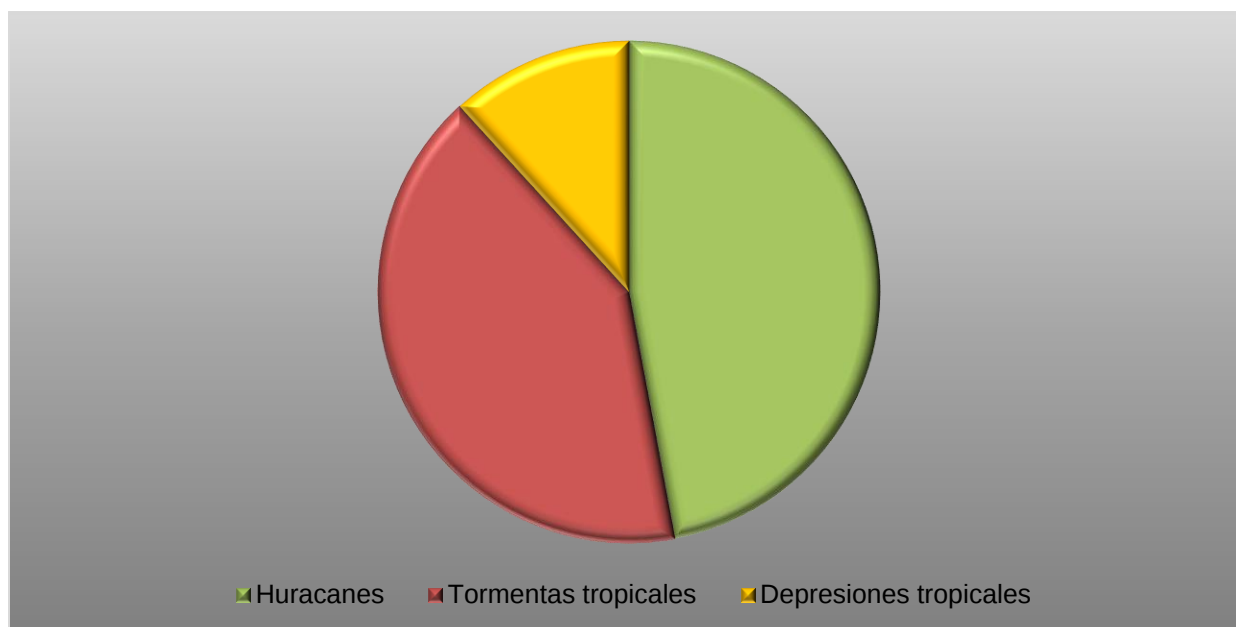


Figura 41. Clasificación de los ciclones tropicales que afectaron la cuenca del río Tempisque, 2005-2020  
Adaptado de: IMN, 2024

Si bien las precipitaciones extremas son el principal impacto de los ciclones tropicales, también se dan con frecuencia inundaciones y deslizamientos. Sin embargo, “la susceptibilidad de deslizamiento de la cuenca en su mayoría es muy baja, con zonas bajas a moderadas al norte y suroeste de la cuenca” (Instituto Meteorológico Nacional, 2011). En la siguiente figura se muestra la cantidad de eventos reportados.

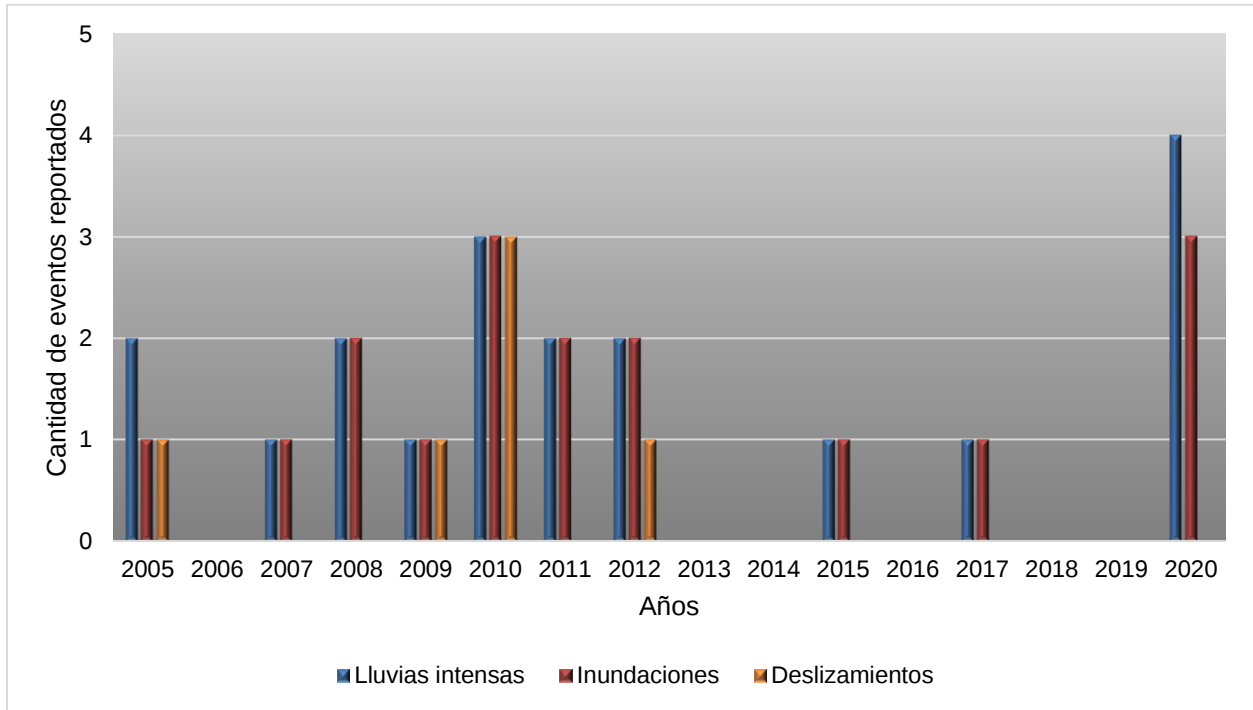


Figura 42. Eventos asociados a ciclones tropicales, cuenca del río Tempisque, 2005-2020  
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IMN, 2024; Emergency Events Database EM-DAT, 2024.

Por otra parte, los eventos pluviales extremos han cobrado la vida de 58 personas, en su mayoría por ahogamiento o atrapados por deslizamientos, siendo los más mortíferos los huracanes Thomas (2010) y Nate (2017).

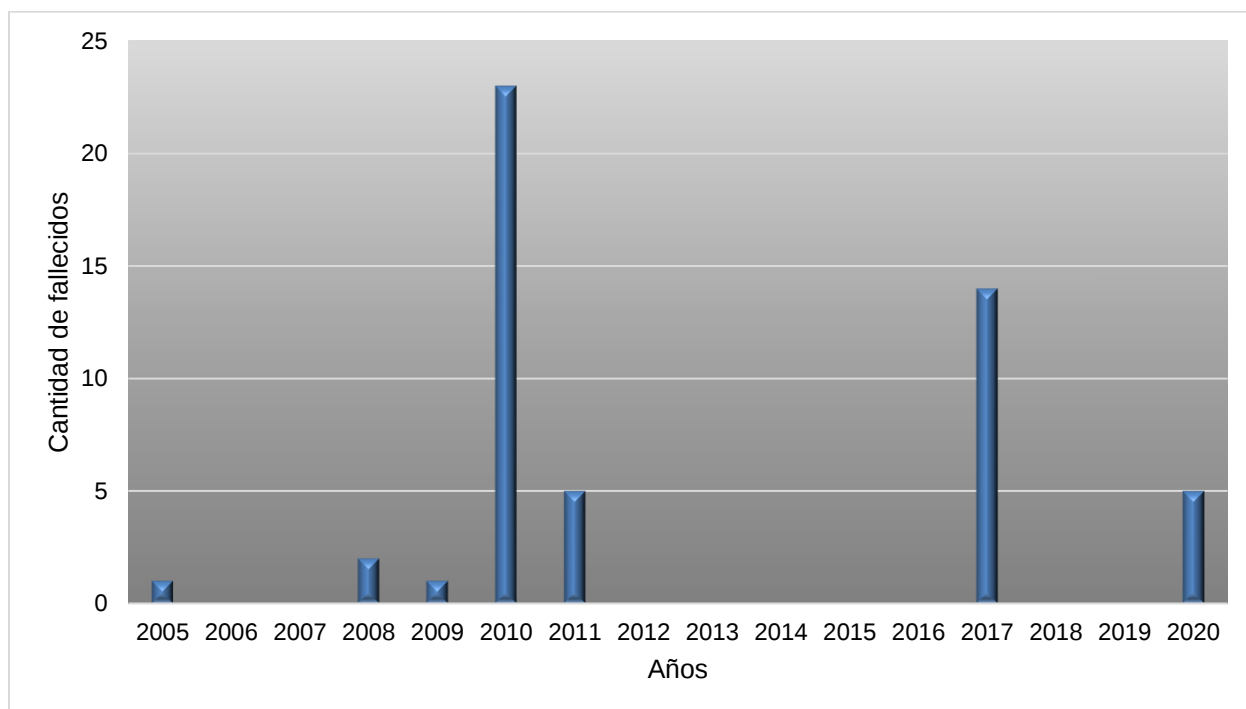


Figura 43. Fallecimientos asociados a ciclones tropicales, cuenca del río Tempisque, 2005-2020

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IMN, 2024; Emergency Events Database EM-DAT, 2024.

## **6. DISCUSIÓN**

La marcada estacionalidad de la cuenca del río Tempisque está determinada por la influencia de los vientos ecuatoriales y alisios. Los vientos ecuatoriales vienen del suroeste y este por la costa del Océano Pacífico, y marcan el inicio de la época lluviosa debido a su alta carga de humedad la cual descargan provocando ocasionalmente inundaciones en la parte media y baja de la cuenca. Por otra parte, los vientos alisios marcan el inicio de la época seca y la canícula que corresponde a una reducción de la precipitación a medio año, debido a que la mayor parte de la humedad descarga a barlovento de las cordilleras de Tilarán y Guanacaste, al llegar a la cuenca del río Tempisque bajan secos, lo que puede ocasionar sequías. Estos vientos alisios pueden acelerarse llegando a alcanzar velocidades promedio de 51 km/h con ráfagas de hasta 100 km/h entre diciembre y marzo. (Mateo, 2021)

### **6.1 INFLUENCIA DEL ENOS EN LOS CICLONES TROPICALES**

Una variable que está muy influenciada por ENOS es la cantidad de huracanes en la cuenca del Atlántico, particularmente en el Mar Caribe.

Cuando El Niño es de fuerte intensidad, la probabilidad de formación de ciclones tropicales es muy baja en el mar Caribe, debido a las cortantes verticales de vientos fuertes y una mayor estabilidad atmosférica; sin embargo, aumenta en el Pacífico debido a las cortantes verticales de viento menos intensas.

### Typical El Niño influence

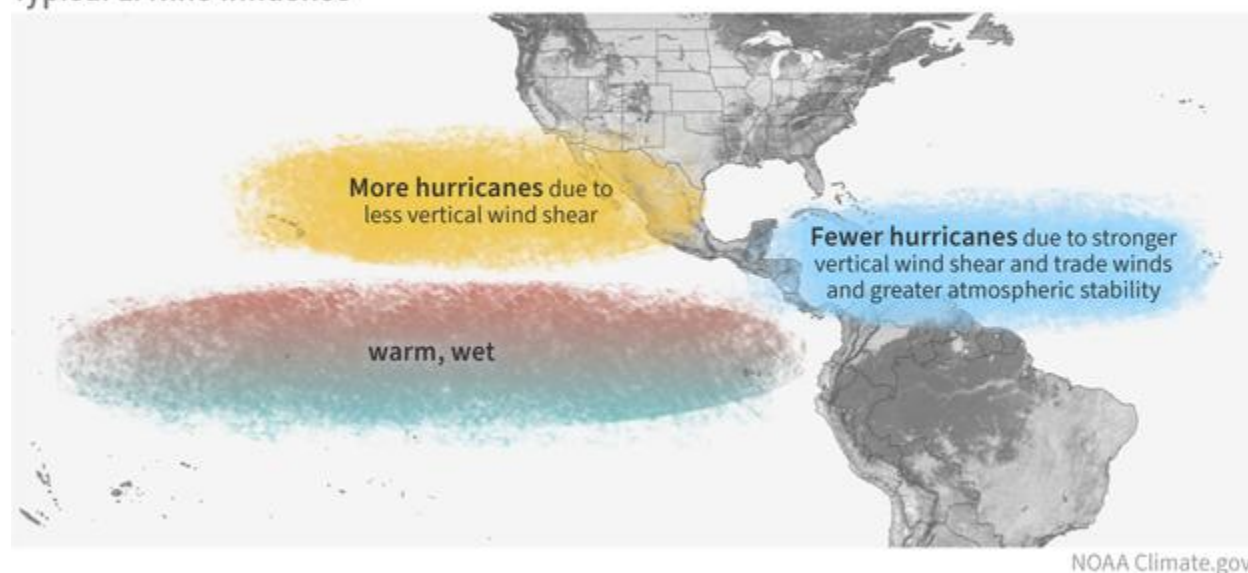


Figura 44. Influencia típica de El Niño en el Pacífico y Atlántico durante la temporada de huracanes.

Fuente: NOAA Climate.gov, basado en los originales de Gerry Bell

Cuando el fenómeno de La Niña está activo o en condiciones normales, la probabilidad de un temporal en la vertiente del Pacífico costarricense es mucho menor debido al fortalecimiento de las cortantes verticales de viento, sin embargo, este fenómeno contribuye al aumento de la cantidad de sistemas tropicales en la cuenca del Atlántico, donde la cortante de vertical de viento es más fuerte y hay menor estabilidad atmosférica.

### Typical La Niña influence

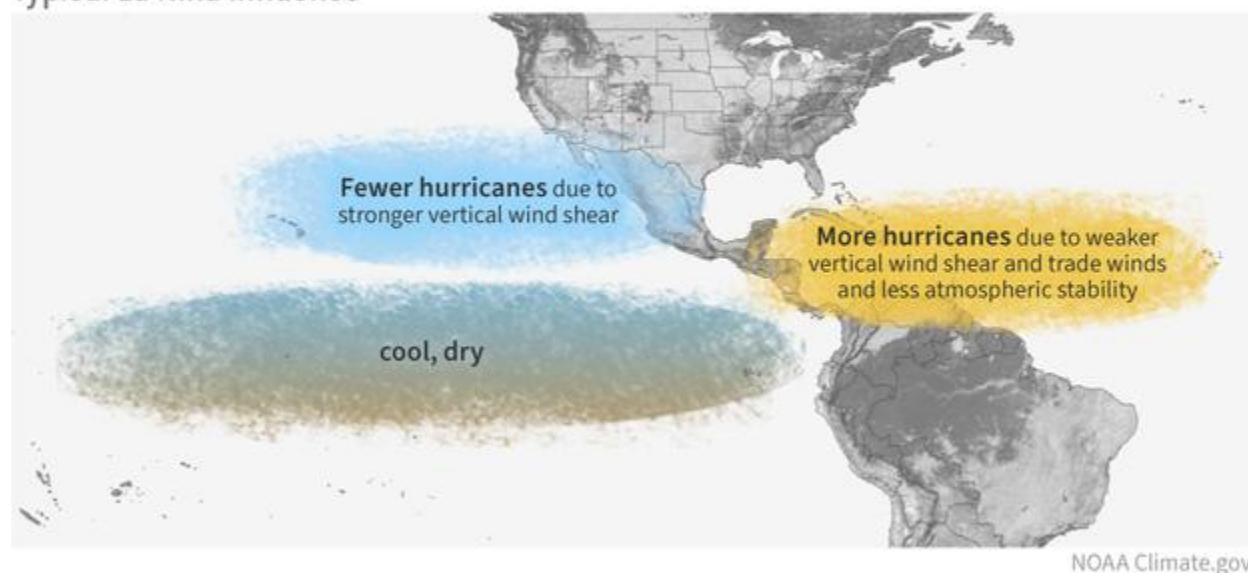


Figura 45. Influencia típica de La Niña en el Pacífico y Atlántico durante la temporada de huracanes.

Fuente: NOAA Climate.gov, basado en los originales de Gerry Bell

La ausencia o disminución de temporales, así como el aumento en la cantidad de días secos, hacen que al finalizar un año la cantidad de lluvia acumulada sea menor que la cantidad promedio.

Por otra parte, cuando el Monzón Africano es fuerte y húmedo, y el Océano Atlántico está más tibio y las cortantes de viento se reducen, aumenta la probabilidad de que se desarrolle la Corriente de Jet de África del Este, que genera corrientes de este a oeste en niveles altos, favoreciendo la convergencia de las masas de aire oceánico y continental.

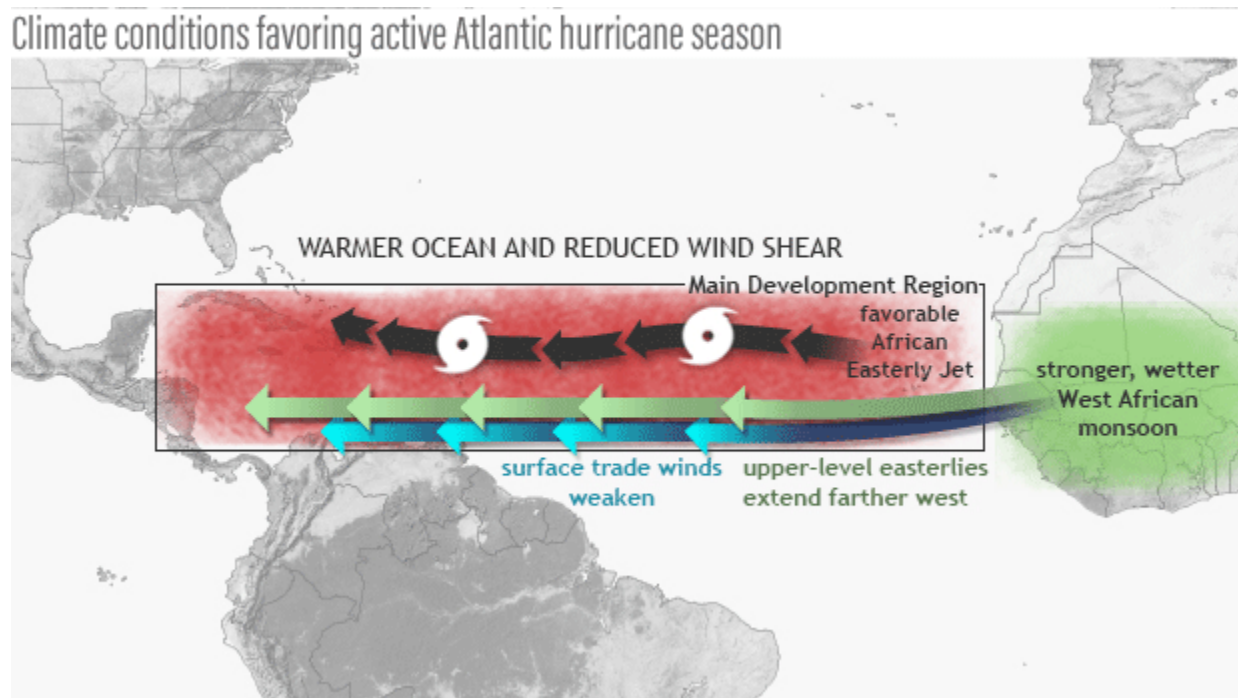


Figura 46. Condiciones climáticas que favorecen la temporada de huracanes.

Fuente: NOAA Climate.gov, basado en los originales de Gerry Bell

## 6.2 RELACIÓN ENTRE TENDENCIA DE PRECIPITACIÓN, EVENTOS EXTREMOS Y TELECONEXIONES

En el 2005 las intensas y prolongadas precipitaciones en la cuenca del río Tempisque estuvieron asociadas a los efectos indirectos de los huracanes Stan (1-3 de octubre) y Wilma (14-25 de octubre), el cual se vio incrementado por la ZCIT.

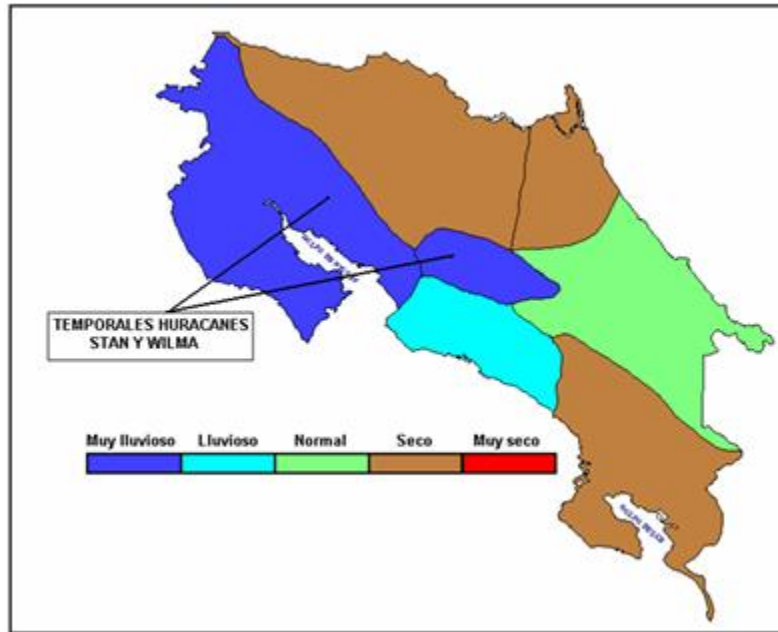


Figura 47. Mapa de precipitación asociada a los huracanes Stan y Wilma, Costa Rica, 2005

Fuente: (Alvarado, 2005)

Desde el punto de vista estadístico, la actividad ciclónica del 2007 fue una de las más inactivas desde 1994 ya que, regularmente, se deben formar dos tormentas tropicales y un huracán en octubre. Sin embargo, la tormenta tropical Noel, se formó el 28 de octubre en el noreste del Mar Caribe causando un severo efecto indirecto sobre el país, el cual se vio incrementado por una extensa vaguada en altura y una baja presión.

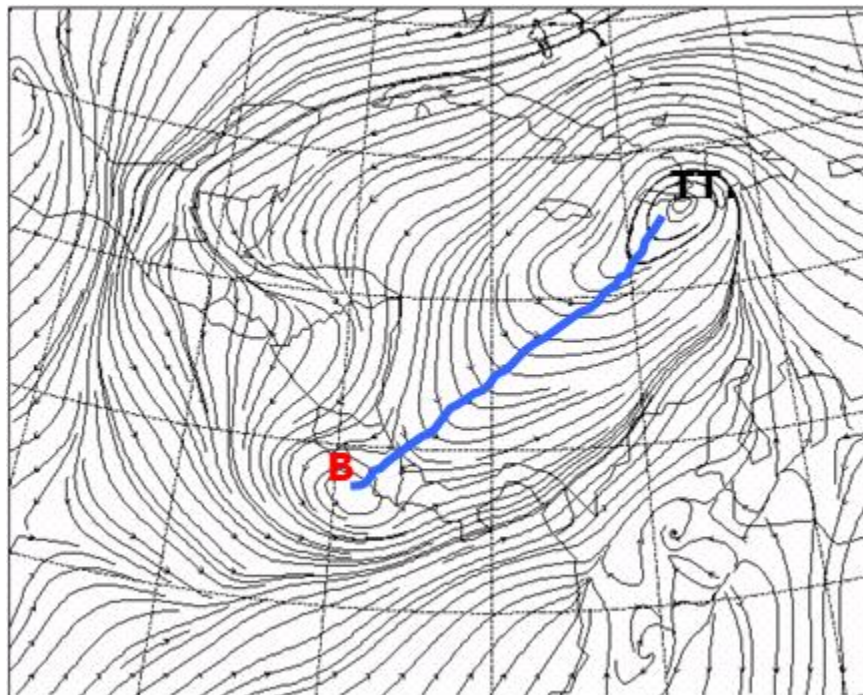


Figura 48. Tormenta tropical Noel (TT) y circulaciones atmosféricas asociadas: una extensa vaguada con su eje en color azul y baja presión atmosférica (B) sobre el país.

Fuente: (Stolz, Boletín Meteorológico Octubre 2007, 2007)

La Tormenta Tropical Alma fue el primer sistema ciclónico de la temporada 2008 en el Pacífico Oriental. Se originó a partir de una región de baja presión atmosférica.

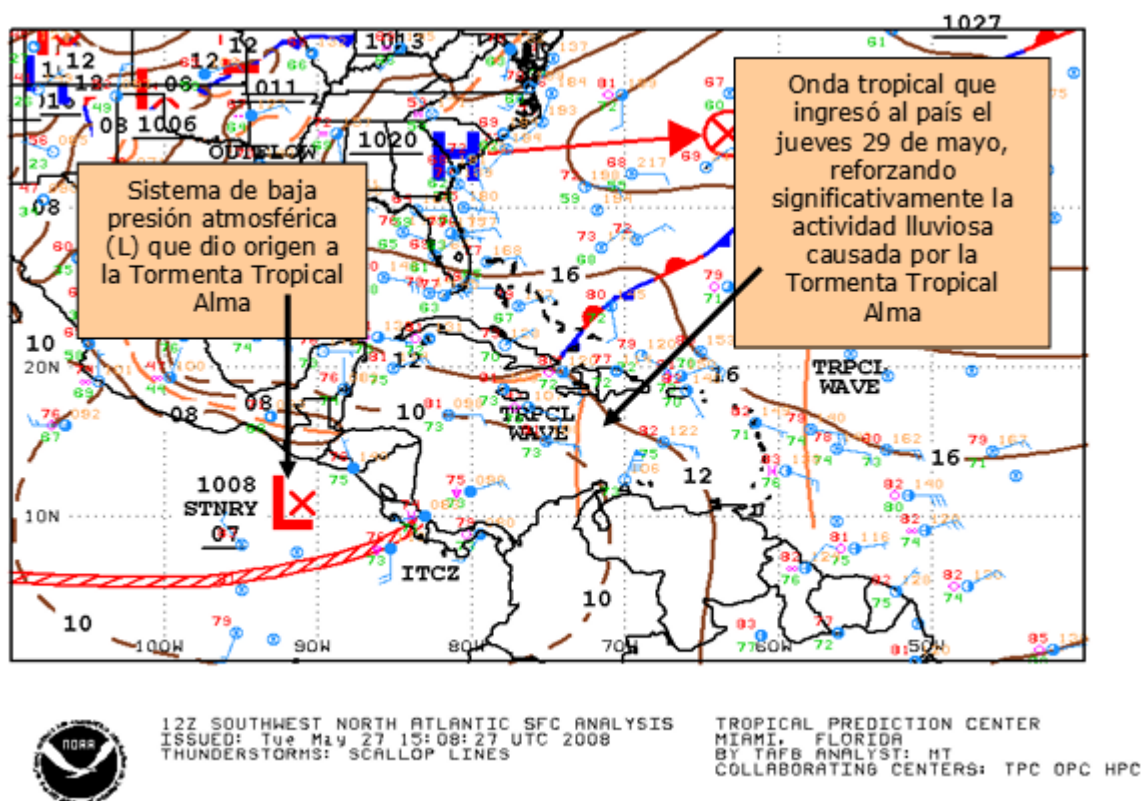


Figura 49. Análisis meteorológico a nivel de la superficie del mar del 27 de mayo 2008 a las 9 a.m. hora local. La baja presión atmosférica que dio origen a la Tormenta Tropical Alma está identificada por la letra L. La Zona de Convergencia Intertropical se simboliza por medio de la línea doble color rojo que está sobre el Pacífico costarricense.

Fuente: (Stolz, Boletín Meteorológico Mayo 2008, 2008)

En setiembre de 2008 el Huracán Hanna indujo un flujo constante de vientos oestes sobre la costa pacífica costarricense del 2 al 5 de setiembre, en la siguiente figura se muestra este abundante flujo de oestes en los niveles de 850 y 500 mb para el día 4 de setiembre.

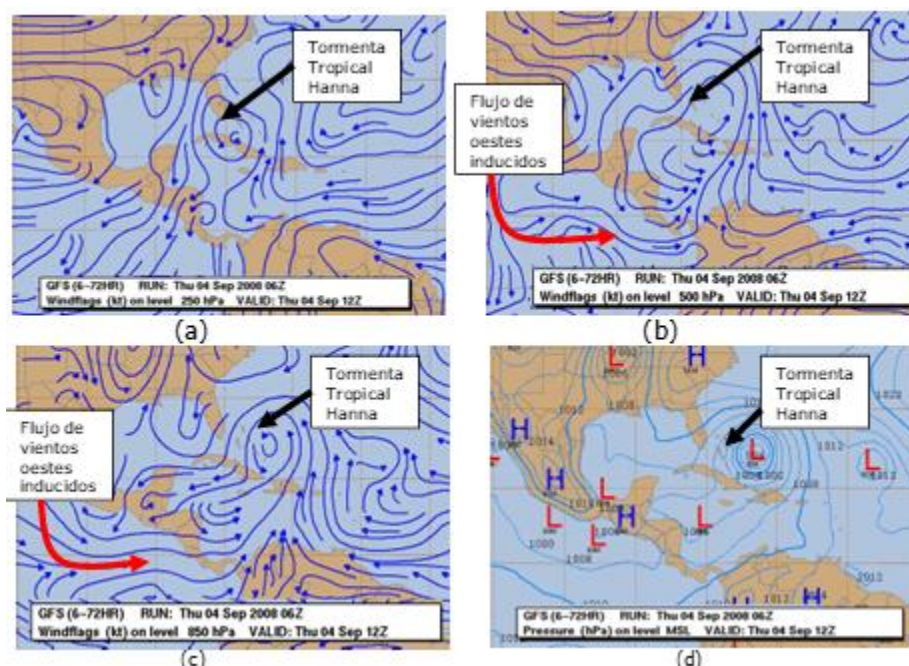


Figura 50. Líneas de corriente generadas por el modelo GFS para en el nivel de superficie (d), 850mb (c), 500 mb (b) y 250 mb (a) para el jueves 4 de septiembre, 6:00 am, Huracán Hanna, 2008

Fuente: (Stolz, Boletín Meteorológico Setiembre 2008, 2008)

En 2009 se generó el Huracán Ida a partir de un sistema de baja presión de la ZCIT, el cual estuvo estacionario frente al Caribe costarricense en los primeros días de noviembre.



Figura 51. Tormenta tropical Ida, América Central, 5 de noviembre de 2009.

Fuente: (Chinchilla, 2009)

En 2010 la Tormenta Tropical Nicole se formó por el reforzamiento de una baja presión.

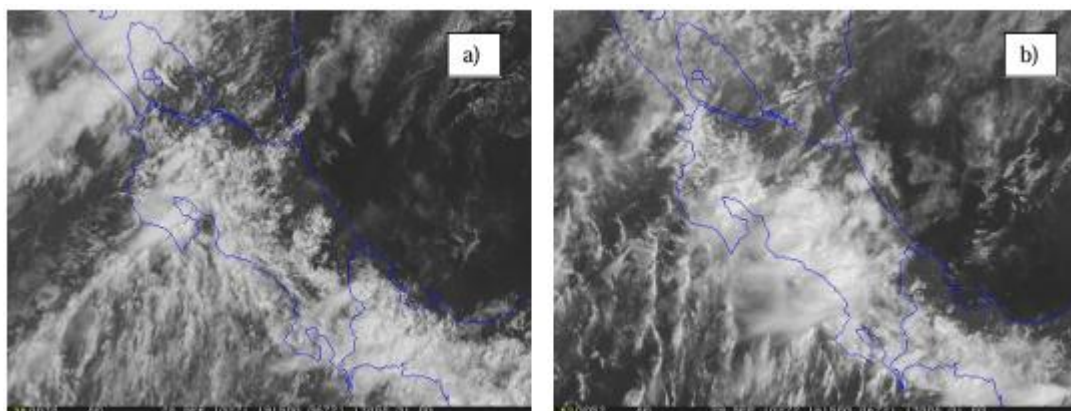


Figura 52. Fuerte actividad convectiva asociada a la Tormenta Tropical Nicole, Costa Rica, 28-29 setiembre 2010.

Fuente: (Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica, 2010)

Del 1 al 5 de noviembre de 2010 se presentó el evento hidrometeorológico extremo más intenso sufrido Costa Rica en ese año. La interacción de la ZCIT con el ciclón tropical Thomas, causó cantidades de lluvia que superaron varios récords.

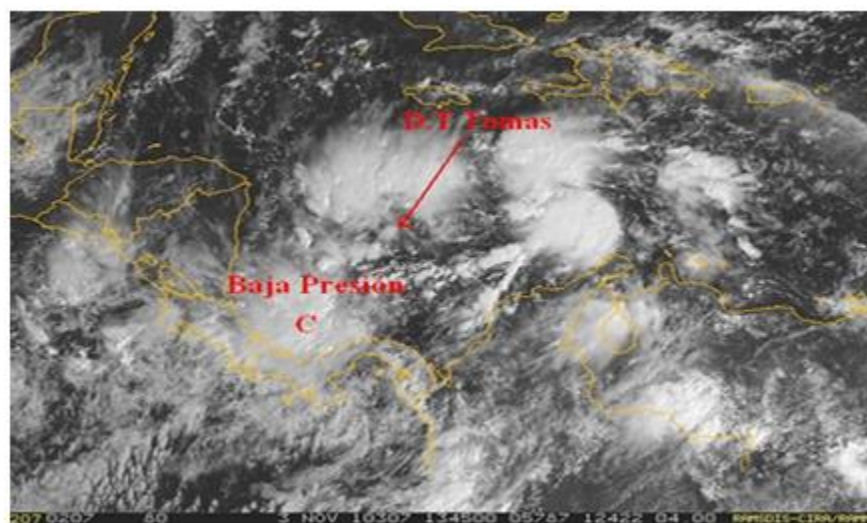


Figura 53. Huracán Thomas, América Central, 3 de noviembre 2010

Fuente: (Chinchilla & Naranjo, Boletín Meteorológico Noviembre 2010, 2010)

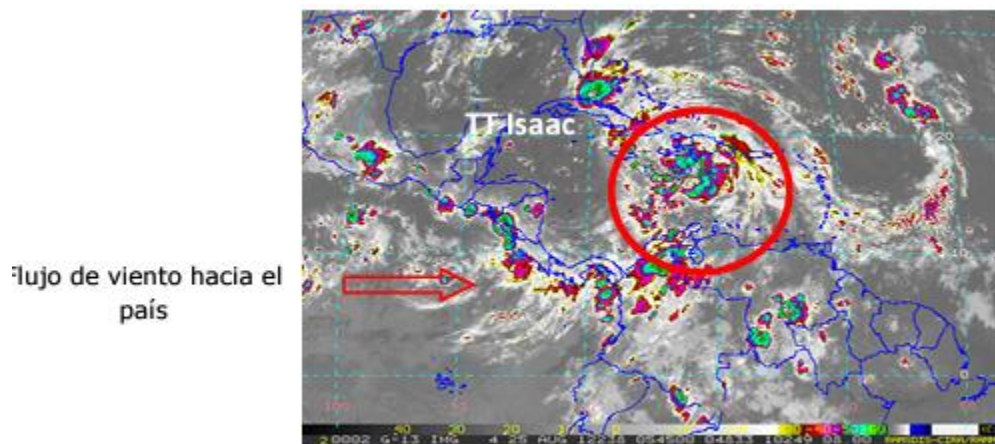


Figura 54. Tormenta tropical Isaac antes de intensificarse a huracán, América Central, 24 de agosto de 2012. GOES 16

Fuente: (Poleo & Stolz, 2012)

La Tormenta Tropical Sandy 2012 se intensificó producto de su lento desplazamiento por las aguas cálidas del Caribe.

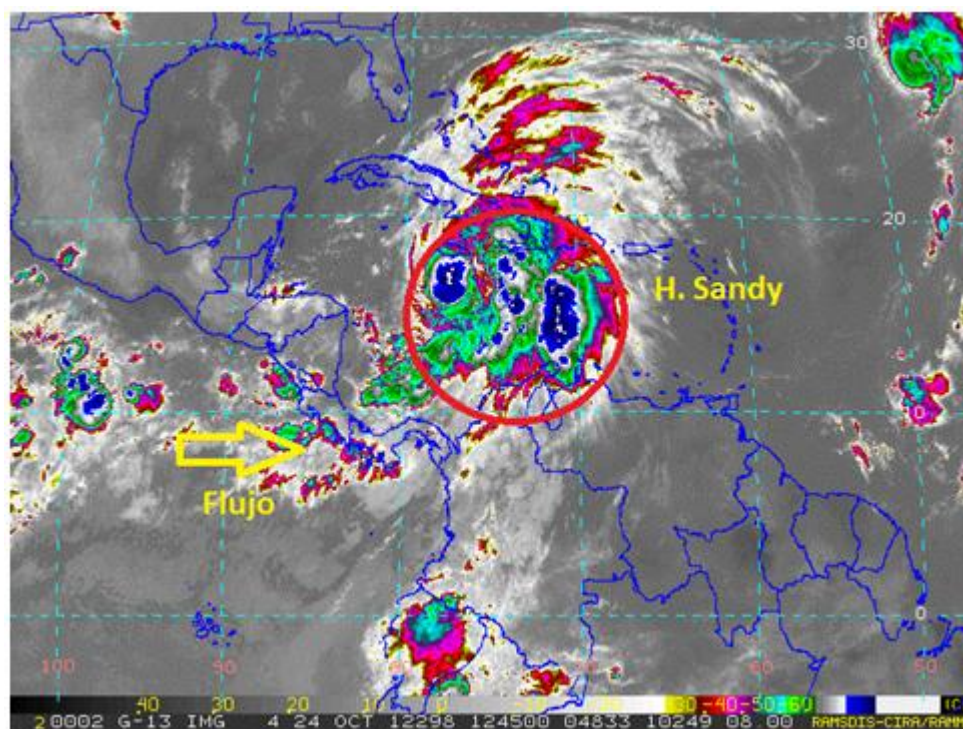


Figura 55. Tormenta tropical Sandy, América Central, 24 de octubre de 2012. GOES 16

Fuente: (Naranjo & Poleo, 2012)

En 2017 el ciclón tropical Nate junto con la presencia de la ZCIT sobre América Central, fueron los fenómenos sinópticos más importantes que modularon el tiempo en Costa Rica, dejando abundantes precipitaciones y ocasionando un fuerte temporal a lo largo de la Vertiente del Pacífico y el Valle Central. Los daños ocasionados por este sistema lo convierten en uno de los más dañinos que se han registrado en Costa Rica en la última década, incluso por encima del huracán Otto en noviembre de 2016.



Figura 56. imagen satelital del ciclón tropical Nate, América Central, 4 de octubre.

Fuente: (Naranjo, Boletín Meteorológico Octubre 2017, 2017)

El ciclón tropical Amanda 2020, fue el primero de la temporada de huracanes del Pacífico, se formó a partir de una amplia área de baja presión asociada con una onda tropical, posteriormente se fortaleció con el Giro Centroamericano, un sistema de bajas presiones vinculado a la ZCIT.

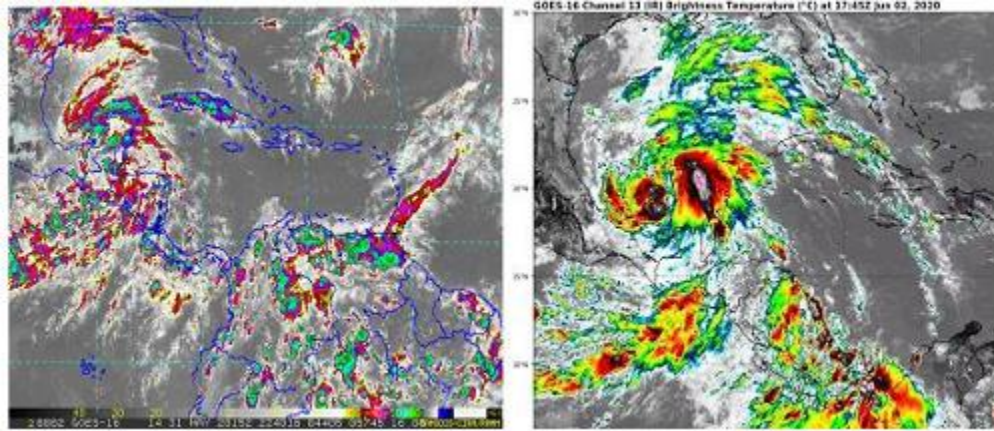


Figura 57. Ciclón tropical Amanda-Cristóbal, América Central, 31 de mayo y 2 de junio de 2020. GOES

16

Fuente: (Poleo, Boletín Meteorológico Mayo 2020, 2020)

En la siguiente tabla, se observa que las teleconexiones que más incidieron sobre los ciclones tropicales que afectaron la cuenca del río Tempisque fueron la ZCIT, seguido de la MJO, el ENOS La Niña y los sistemas de baja presión, los cuales pueden intensificarse por la influencia de la ZCIT y formar el Giro Centroamericano. Otros fenómenos de mesoescala que incrementaron el impacto de los ciclones tropicales fueron el ENOS El Niño, vientos monzónicos y vaguadas en altura.

Tabla 23. Tendencia, eventos extremos y teleconexiones, cuenca del río Tempisque, 2005-2020

| Año  | Tendencia          | Eventos extremos asociados a ciclones tropicales | Teleconexiones                                                    |
|------|--------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 2005 | Tendencia lluviosa | Huracán Stan                                     | ND                                                                |
|      |                    | Huracán Wilma                                    | -Vientos monzónicos<br>-ZCIT                                      |
| 2006 | Tendencia seca     | No se reportan en CR                             | NA                                                                |
| 2007 | Lluvioso           | Tormenta tropical Noel                           | -Vaguada en altura<br>-Sistema de baja presión                    |
| 2008 | Lluvioso           | Tormenta tropical Alma                           | -Sistema de baja presión<br>-ZCIT<br>-ENOS La Niña                |
|      |                    | Huracán Hanna                                    | -ZCIT                                                             |
| 2009 | Tendencia seca     | Huracán Ida                                      | -ZCIT                                                             |
| 2010 | Lluvioso           | Tormenta tropical Nicole                         | -ENOS La Niña<br>-ZCIT<br>-Sistema de baja presión                |
|      |                    | Huracán Richard                                  | -MJO<br>-ENOS La Niña                                             |
|      |                    | Huracán Tomas                                    | -ZCIT<br>-Sistemas de baja presión                                |
| 2011 | Normal             | Tormenta tropical Harvey                         | -Canícula                                                         |
|      |                    | Depresión Tropical 12-E                          | -ZCIT<br>-MJO                                                     |
| 2012 | Seco               | Huracán Isaac                                    | -ZCIT<br>-MJO                                                     |
|      |                    | Tormenta tropical Sandy                          | -MJO<br>-ENOS El Niño                                             |
| 2013 | Tendencia seca     | No se reportan en CR                             | NA                                                                |
| 2014 | Tendencia seca     | No se reportan en CR                             | NA                                                                |
| 2015 | Seco               | Huracán Patricia                                 | -ENOS El Niño                                                     |
| 2016 | Normal             | No se reportan en la cuenca                      | NA                                                                |
| 2017 | Tendencia lluviosa | Huracán Nate                                     | -ZCIT                                                             |
| 2018 | Tendencia seca     | No se reportan en la cuenca                      | NA                                                                |
| 2019 | Tendencia seca     | No se reportan en CR                             | NA                                                                |
| 2020 | Normal             | Tormenta tropical Amanda-Cristóbal               | -MJO<br>-ZCIT<br>-Giro Centroamericano<br>-Onda Kelvin divergente |
|      |                    | Depresión tropical Marco                         | -MJO<br>-ZCIT<br>-Onda Kelvin divergente                          |
|      |                    | Tormenta tropical Gamma                          | -ZCIT<br>-ENOS La Niña                                            |

Fuente: Elaboración propia a partir de los boletines meteorológicos de IMN.

Cabe destacar que se evidencia una coincidencia entre los años con tendencia lluviosa o lluviosos y la presencia del ENOS La Niña, el cual genera un aumento de la

precipitación en el Pacífico. Por otra parte, los años bajo efecto del ENOS El Niño tienden a ser más secos.

## **6.3 IMPACTO DE LOS EVENTOS PLUVIALES EXTREMOS**

De acuerdo con el histórico de desastres en Costa Rica, los fenómenos de origen hidrometeorológicos son los responsables de más de 70% de las emergencias atendidas por los entes gubernamentales en América Central (CNE, 2012), además, la región tiene una vulnerabilidad muy alta ante eventos meteorológicos extremos como sequías e inundaciones. (Poleo, Impact of atmospheric oscillations of low (AMO, PDO, ENSO) and high frequency (MJO) in the rain in Mesoamerica, in the fishing of shrimp, bean and rice crops in Costa Rica., 2017)

Los principales impactos de los eventos pluviales extremos en la cuenca del río Tempisque son:

### **1. Inundaciones**

- Zonas agrícolas afectadas: El río Tempisque atraviesa áreas con plantaciones de arroz, caña de azúcar y ganadería, las cuales sufren grandes pérdidas económicas debido a la anegación de los cultivos y la erosión del suelo.
- Daños en infraestructura: Las lluvias extremas causan desbordamientos que afectan puentes, carreteras, sistemas de drenaje y viviendas, especialmente en comunidades rurales.
- Asentamientos vulnerables: Comunidades cercanas al río experimentan inundaciones recurrentes, lo que genera desplazamientos temporales y riesgos para la salud.

### **2. Erosión y sedimentación**

- Erosión de suelos: La fuerza del agua arrastra el suelo de las áreas más altas hacia las partes bajas, reduciendo la fertilidad y aumentando la desertificación en ciertas zonas.
- Sedimentación del río: El arrastre de sedimentos eleva el nivel del lecho del río, reduciendo su capacidad de conducción y exacerbando el riesgo de desbordamientos.

### **3. Pérdida de biodiversidad**

- Humedales alterados: La cuenca incluye importantes humedales como Palo Verde, que dependen de ciclos naturales de agua. Las lluvias extremas alteran estos ciclos, afectando el hábitat de aves y otras especies.
- Afectación de ecosistemas acuáticos: Las precipitaciones arrastran contaminantes y residuos hacia el río, alterando la calidad del agua y afectando peces, anfibios y otras formas de vida acuática.

### **4. Contaminación del agua**

- Arrastre de agroquímicos: La agricultura intensiva en la cuenca del Tempisque utiliza fertilizantes y pesticidas, que son arrastrados hacia el río durante lluvias extremas, contaminando el agua.
- Aumento de enfermedades: La calidad del agua disminuye, lo que incrementa la incidencia de enfermedades relacionadas con el agua, como diarrea y dengue, entre las poblaciones humanas.



Figura 58. Eventos pluviales extremos y exposición a enfermedades.

Fuente: <https://gidahatari.com/nh-es/fuertes-lluvias-e-inundaciones>

## 5. Impactos socioeconómicos

- Pérdidas económicas: Las inundaciones causan daños a los cultivos, el ganado, y las viviendas, afectando la economía local y nacional.
- Desplazamiento de personas: Las inundaciones recurrentes obligan a evacuar comunidades y generan costos asociados a la atención de emergencias.
- Interrupción de servicios: Las lluvias extremas interrumpen el transporte, la electricidad y el acceso a servicios básicos, dificultando la recuperación de las comunidades afectadas.

## 6. Cambios en la gestión hídrica

- Escasez en temporadas secas: Las lluvias extremas pueden dificultar la retención de agua en reservorios para la temporada seca, afectando el riego y el suministro de agua potable.

- Incremento de la demanda de obras hidráulicas: Se hace necesario construir diques, canales de desagüe y mejorar las infraestructuras para mitigar los impactos de las lluvias extremas.

## **6.4 INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE**

La parte baja y media de la cuenca del río Tempisque está compuesta por unas 100.000 ha expuestas a inundaciones debido a la naturaleza altamente dinámica del río y sus límites cambiantes (Jiménez & González, 2021), siendo uno de los principales problemas de la cuenca el manejo del recurso hídrico ante eventos pluviales extremos y sequías. Estos episodios de inundaciones recurrentes se deben en parte a problemas de drenaje relacionados con el tipo de suelo arcilloso e impermeable (vertisoles) y la topografía plana-concava de la región. (Mateo, 2021) en (Jiménez & González, 2021)

La cuenca del río Tempisque, presenta una serie de características geográficas que favorecen la incidencia y la intensidad de eventos pluviales extremos. Su ubicación en la vertiente del Pacífico de Costa Rica la hace particularmente vulnerable a las influencias de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), así como a los efectos indirectos de los ciclones tropicales que se forman en el Caribe y en el Pacífico Oriental. Además, su topografía plana en la región baja y media, combinada con la presencia de suelos arcillosos de baja infiltración, incrementa la susceptibilidad a inundaciones severas.

### **6.4.1 Distribución espacial de las inundaciones**

Históricamente, la parte baja de la cuenca del río Tempisque ha sido la más afectada por eventos de inundación. Municipios como Nicoya y Santa Cruz han experimentado daños recurrentes debido a la acumulación de escorrentía superficial y la reducida pendiente del terreno, lo que dificulta el drenaje natural. Por el contrario, la parte alta de la cuenca, caracterizada por una topografía más accidentada, sufre un mayor impacto de

deslizamientos y erosiones, especialmente en los sectores montañosos de la Cordillera de Guanacaste.

#### **6.4.2 Relación entre uso del suelo y vulnerabilidad a eventos extremos**

El cambio en el uso del suelo ha exacerbado la vulnerabilidad de la cuenca ante eventos pluviales extremos. La expansión de actividades agropecuarias en las últimas décadas ha reducido la cobertura boscosa, disminuyendo la capacidad de retención hídrica del suelo y aumentando la escorrentía superficial. En particular, la deforestación en las partes medias y altas de la cuenca ha incrementado la carga de sedimentos transportados hacia el cauce del río Tempisque, elevando su lecho y reduciendo su capacidad de desagüe.

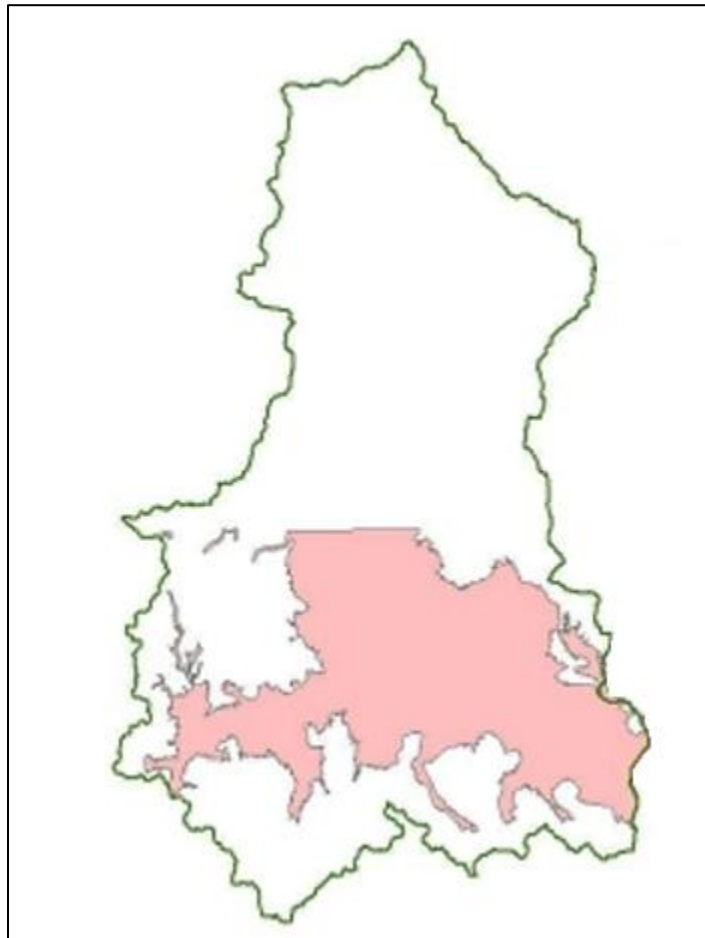


Figura 59. Área de amenazas de inundación, cuenca del río Tempisque.

Dado que las principales actividades productivas de la cuenca son de tipo agropecuario, las inundaciones tienen un fuerte impacto debido a la pérdida de cultivos de arroz, frijoles, maíz y caña, y la degradación de tierras cultivables debido a la erosión.

Por otra parte, el turismo se ve perjudicado por los daños en infraestructura vial (puentes y carreteras), y disminución la visitación a playas y áreas silvestres protegidas.

#### **6.4.3 Impacto espacial de los ciclones tropicales**

Desde 2005 hasta 2020, se han registrado impactos significativos de ciclones tropicales en diferentes partes de la cuenca. Mientras que eventos como el huracán Nate (2017) y el huracán Iota (2020) afectaron principalmente la parte baja del Tempisque con inundaciones severas, tormentas tropicales como Alma (2008) y Tomas (2010) generaron deslizamientos en las áreas montañosas y una alteración en los patrones de drenaje. La variabilidad geográfica de estos impactos resalta la necesidad de estrategias diferenciadas de mitigación y adaptación según la región.

### **6.5 ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN**

Para minimizar los impactos de los eventos pluviales extremos, se han implementado proyectos de reforestación y conservación de los bosques ribereños para dar protección y estabilidad en áreas inundables y de alta escorrentía superficial, planificación de uso de suelos y fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana, aunque se necesita un esfuerzo continuo para adaptarse al cambio climático que intensifica estas precipitaciones.

En la siguiente ilustración se muestra un esquema de la interacción de la cuenca del río Tempisque con diversos tipos de bosques, actividades productivas y estructuras

geológicas, lo que respalda que una mejor gestión del suelo disminuiría el impacto de los eventos pluviales extremos.

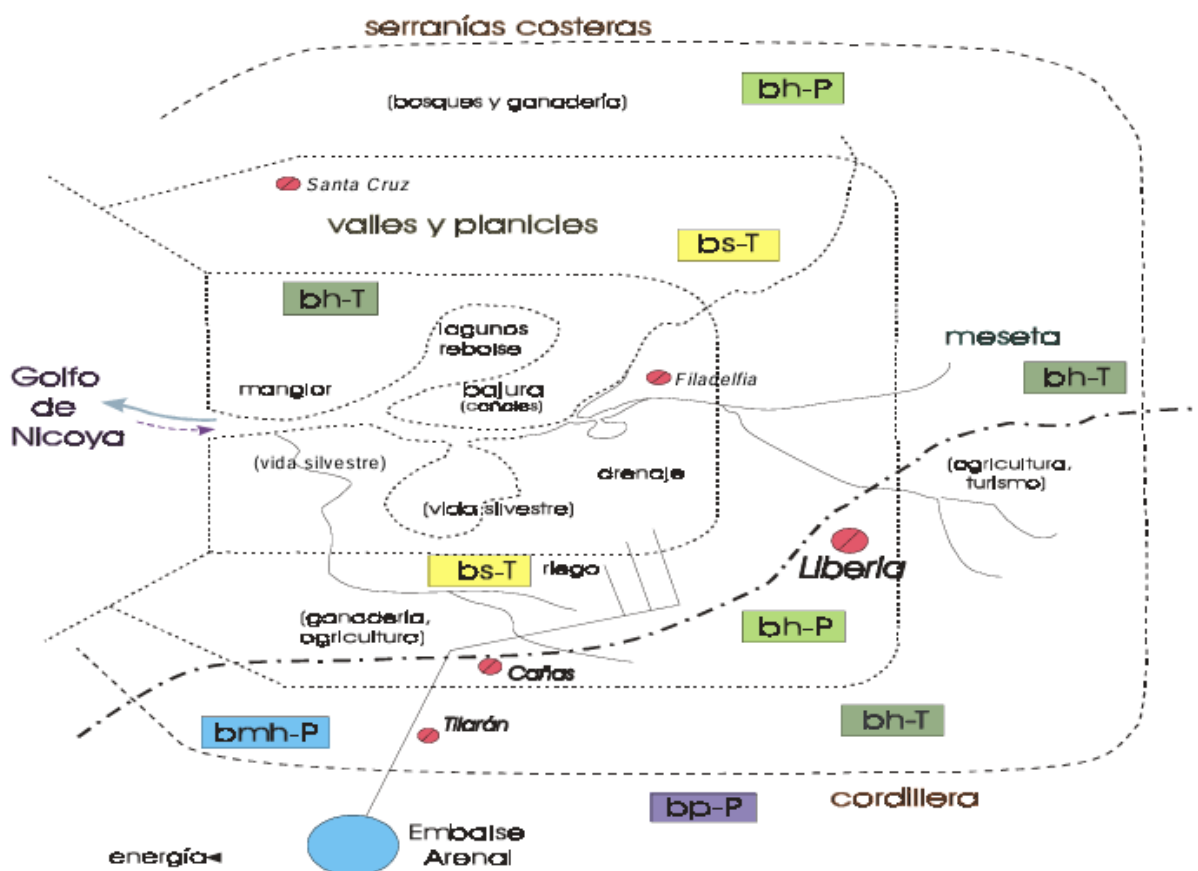


Figura 60. Representación esquemática de las interacciones en la cuenca del río Tempisque.<sup>3</sup>

Fuente: Alfonso Mata, en (Jiménez & González, 2021)

Debe considerarse la importancia de la articulación de diversos sectores públicos, privados y de la sociedad civil para el desarrollo integral de la cuenca, donde los diferentes actores participen en la toma de decisiones.

Otras estrategias para mitigar el impacto de los eventos pluviales extremos son:

<sup>3</sup> Siglas utilizadas en el esquema:

bs-T: Bosque seco tropical

bh-T: Bosque húmedo tropical

bp-T: Bosque pluvial tropical

bmh-P: Bosque muy húmedo premontano

- **Construcción de diques y presas:** Se han edificado estructuras para el control de inundaciones en la cuenca baja del río Tempisque, con el objetivo de sostener una economía próspera, prevenir la pérdida de vidas y preservar el medio ambiente.
- **Planes de acción locales:** El cantón de Cañas ha desarrollado un Plan de Acción para la Adaptación Climática 2023-2030, que incluye medidas específicas para enfrentar las inundaciones y otros efectos del cambio climático. La Municipalidad de Santa Cruz podría tomar como referencia este plan.
- **Proyectos de desarrollo regional:** Se han propuesto proyectos integrales en la cuenca del río Tempisque que contemplan el control de inundaciones, la gestión de recursos hídricos y el desarrollo sostenible de la región.
- **Investigaciones académicas:** La academia ha contribuido al mejoramiento de la gestión local mediante la implementación de modelos de gestión integral con las poblaciones de los humedales de la cuenca baja del río Tempisque, enfocándose en la adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo.
- **Análisis de medidas de adaptación:** Se han evaluado escenarios para el manejo de inundaciones, como el aumento de la altura de los diques y la apertura anticipada de desembocaduras, con el fin de reducir el impacto de las inundaciones en la región.

Estas estrategias reflejan un enfoque multidisciplinario y colaborativo para abordar las inundaciones en la cuenca del río Tempisque, integrando infraestructura, planificación local, investigación y adaptación al cambio climático.

Por otra parte, para reducir los impactos de los eventos pluviales extremos en la cuenca del río Tempisque, es esencial adoptar medidas con un fuerte enfoque geográfico, tales como:

- **Zonificación del riesgo:** Implementación de mapas de vulnerabilidad hídrica que identifiquen áreas críticas y guíen decisiones de uso del suelo.
- **Reforestación y restauración ecológica:** Protección de bosques ribereños y promoción de coberturas vegetales en áreas propensas a la erosión.

- **Infraestructura resiliente:** Construcción de diques, drenajes mejorados y canales de desviación en las zonas de mayor riesgo.
- **Monitoreo meteorológico y sistemas de alerta temprana:** Expansión de estaciones hidrometeorológicas para prever eventos extremos y emitir alertas oportunas en comunidades vulnerables.

## 7. CONCLUSIONES

La ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos se caracteriza por la presencia de riesgos socioambientales que impactan la sociedad y la economía en Costa Rica.

La geografía de la cuenca del río Tempisque juega un papel crucial en la manifestación y el impacto de los eventos pluviales extremos. La interacción entre la topografía, el uso del suelo y los patrones climáticos determina las zonas más afectadas y las estrategias más adecuadas de mitigación. Comprender estos factores geográficos es clave para desarrollar políticas públicas y estrategias de adaptación que reduzcan la vulnerabilidad de la región ante futuros eventos hidrometeorológicos extremos.

El análisis de la precipitación y patrones climáticos en la cuenca del río Tempisque es clave para entender cómo el cambio climático podría intensificar la vulnerabilidad del país, afectando tanto el suministro de agua como el riesgo de desastres naturales. Este estudio contribuye a una mejor toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos y en el diseño de estrategias de adaptación climática.

Costa Rica, al estar al sur de las principales trayectorias de los huracanes en el Caribe, tiende a experimentar los efectos indirectos de los ciclones tropicales. Sin embargo, las lluvias intensas generaron inundaciones, deslizamientos, daños a la infraestructura y actividades productivas, y pérdidas humanas, por lo que destaca la necesidad de medidas de mitigación en un contexto de cambio climático que intensifica los fenómenos meteorológicos extremos.

Debido a su aislamiento y menor capacidad adquisitiva, las zonas rurales son más vulnerables a los impactos de los eventos pluviales extremos, por lo que la respuesta gubernamental y comunitaria es crucial para atender a las personas desplazadas y mitigar mayores consecuencias del evento. Por otra parte, la experiencia adquirida en

manejo de desastres asociados a estos eventos ha permitido la recuperación paulatina de las zonas más vulnerables.

Los daños asociados a eventos pluviales extremos son mucho más costosos que las medidas de prevención para evitarlos, tales como análisis de caudal ecológico, diseño y construcción de infraestructura resiliente (puentes, carreteras, diques) y adaptada a cambios bruscos de caudal, actualización de los planes de ordenamiento territorial, y construcción de viviendas elevadas.

Otras formas para prevenir el riesgo ante desastres por inundaciones son:

- respetar del uso del suelo,
- evitar los asentamientos humanos cerca de ríos y áreas de inundación natural,
- promover la reforestación para favorecer la captación del agua de lluvia,
- informar sobre los riesgos a través del pronóstico basado en impactos,
- acatamiento de las indicaciones de las entidades oficiales (IMN, CNE, Municipalidad),
- implementación de sistemas de alerta temprana mediante celulares, que permitan a la población informarse en tiempo real de eventos extremos que puedan generar inundaciones y crecidas en áreas cercanas, alertando de precipitaciones intensas en las partes altas, media y baja de la cuenca.

¿Qué podemos hacer para prevenir las consecuencias de la intensificación de los eventos climáticos?

- Descarbonizar el sector energético.
- Reducir la demanda de energía.
- Mejorar la eficiencia energética.
- Desarrollar las energías renovables.
- Transporte sostenible.
- Reducir la deforestación.
- Utilizar combustibles bajos en carbono y abandonar los fósiles.
- Promover la economía verde.





## 8. RECOMENDACIONES

Algunas limitaciones de este estudio estuvieron relacionadas con el uso de Sistemas de Información Geográfica, donde se correlacionarán pendientes, tipos de suelo y áreas de inundación, a través del uso de imágenes satelitales y la aplicación de modelos de inundación de cuencas.

Dado el impacto de los eventos pluviales extremos en la cuenca del río Tempisque, futuras investigaciones podrían enfocarse en:

- **Modelado hidrológico avanzado:** Integrar herramientas de simulación espacial para predecir escenarios futuros de inundación.
- **Impacto del cambio climático:** Evaluar cómo los cambios en la temperatura y precipitación afectarán la dinámica de la cuenca en las próximas décadas.
- **Relación entre uso del suelo y mitigación de riesgos:** Analizar la efectividad de prácticas de conservación del suelo en la reducción de la escorrentía y sedimentación.
- **Percepción comunitaria del riesgo:** Realizar estudios sociogeográficos sobre la percepción de la población respecto a las amenazas hídricas y la efectividad de las estrategias de mitigación.

## REFERENCIAS

- AEMET. (11 de Diciembre de 2022). *Teleconexiones climáticas (I): Explicando la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y la Oscilación Ártica*. Obtenido de <https://aemetblog.es/2022/12/11/teleconexiones-climaticas-i-explicando-la-oscilacion-del-atlantico-norte-nao-y-la-oscilacion-artica/>
- Alvarado, L. (2005). *Boletín Meteorológico Octubre 2005*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- Alvarado, R. (2003). *Dirección de Gestión Municipal: Sección de investigación y desarrollo*. Obtenido de Regiones y cantones de Costa Rica: <https://ccp.ucr.ac.cr/bvp/pdf/proye/regiones-cantones.pdf>
- Asamblea Legislatvia. (2016). *Ley de ordenamiento y manejo integral de la cuenca del río Tempisque*. San José: Gobierno de Costa Rica.
- Ávila, K. (2012). *Análisis del comportamiento de eventos extremos de precipitación en la zona centro y sur de Chile continental*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, E., Casanoves, F., Di Rienzo, J., & Robledo, C. (2008). *Manual del usuario: InfoStat*. Córdoba, Argentina: Brujas.
- Campbell Scientific. (13 de Julio de 2024). *Campbell Scientific*. Obtenido de <https://www.campbellsci.com/cr1000>
- CFIA. (17 de Julio de 2024). *Revista del CFIA*. Obtenido de <https://revista.cfia.or.cr/guanacaste-es-la-provincia-que-registra-mayor-intencion-de-metros-cuadrados-de-construccion-2/>
- Chacón, D. (20 de Agosto de 2019). *Universidad de Costa Rica*. Obtenido de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/08/20/conoce-usted-cuales-son-los-tipos-de-areas-silvestres-protegidas-del-pais.html>
- Chinchilla, G. (2009). *Boletín Meteorológico Noviembre 2009*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- Chinchilla, G., & Naranjo, J. (2010). *Boletín Meteorológico Noviembre 2010*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.

- Climate Service Center Germany & Instituto Meteorológico Nacional. (2020). *Ficha Informativa Climática Regional: Cuenca Alta del Río Tempisque*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- Córdoba, D., & Robalino, J. (2023). *Análisis trimestral de la economía – IV trimestre 2023 y proyección para el 2024*. Obtenido de Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas: <https://iice.ucr.ac.cr/tag/inflacion/>
- Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica. (2010). *Boletín Meteorológico Setiembre 2010*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- Fernández, H. (2019). Elección de autoridades municipales en Costa Rica. *Revista Derecho Electoral*, 47-73.
- Flores Silva, E. (2001). *Geografía de Costa Rica*. San José: EUNED.
- Gobierno de Costa Rica. (15 de febrero de 1985). *Reforma División Regional del Territorio de Costa Rica*. Obtenido de Sistema Costarricense de Información Jurídica: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=59724&nValor3=66813&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=59724&nValor3=66813&strTipM=TC)
- Gobierno de Costa Rica. (24 de agosto de 2015). *Constitución Política de la República de Costa Rica*. Obtenido de Sistema Costarricense de Información Jurídica: [https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=871](https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=871)
- González, C. (1998). *Geografía física de Costa Rica: Antología*. San José: EUNED.
- Holdridge, L. (1967). *Ecología basada en las zonas de vida*. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- INEC. (2023). *Costa Rica en cifras*. San José: INEC.
- INEC. (2023). *Estadísticas demográficas: Indicadores demográficos (datos preliminares)*. San José.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2011). *Estudio de las Cuencas Hidrográficas de Costa Rica: Análisis biofísico, climatológico y socioeconómico*. Obtenido de Instituto Meteorológico Nacional: <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/estudio-de-las-cuencas-hidrograficas-de-costa-rica/>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2023). *ENOS*. Obtenido de <https://www.imn.ac.cr/enos>

- Instituto Nacional de Aprendizaje. (s.f.). *Capítulo 4: Vegetación de Costa Rica*. Obtenido de [https://www.inapide.ac.cr/pluginfile.php/19801/mod\\_resource/content/1/Vegetacion%20de%20Costa%20Rica%20%28v-asec%29.pdf](https://www.inapide.ac.cr/pluginfile.php/19801/mod_resource/content/1/Vegetacion%20de%20Costa%20Rica%20%28v-asec%29.pdf)
- Iza, M. (30 de Noviembre de 2020). *¿Ha impactado La Niña en la hiperactiva temporada de huracanes?* Obtenido de <https://www.eltiempo.es/noticias/ha-impactado-la-nina-en-la-hiperactiva-temporada-de-huracanes>
- Jiménez, J., & González, E. (2021). *La cuenca del río Tempisque: Perspectivas para un manejo integrado*. 2021: Organización de Estudios Tropicales.
- Juárez, J. (14 de Noviembre de 2014). *Qué es la oscilación ártica y como influye en la temporada de frentes fríos?* Obtenido de <https://climaya.com/2014/11/que-es-la-oscilacion-artica-y-como-influye-en-la-temporada-de-frentes-frios/>
- Mateo, J. (2021). Características generales de la cuenca del Río Tempisque. En A. Jiménez, *La cuenca del Río Tempisque: Perspectivas para un manejo integrado*. San José: Organización de Estudios Tropicales.
- Mena, M. (19 de 10 de 2012). *¿Qué es la Zona de Convergencia Intertropical y cómo afecta Costa Rica?* *El Observador*.
- Mendez, S. (2022). Interacción de fenómenos naturales y actividades antropogénicas en la Cuenca del Río Tempisque en la Provincia de Guanacaste, Costa Rica. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 54-74.
- Municipalidad Santa Cruz. (07 de Julio de 2024). *Municipalidad Santa Cruz*. Obtenido de <https://www.santacruz.go.cr/>
- Naranjo, D. (2017). *Boletín Meteorológico Octubre 2017*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- Naranjo, D., & Poleo, D. (2012). *Boletín Meteorológico Octubre 2012*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- NOAA. (Mayo de 2013). *Ciclones tropicales*. Obtenido de [https://www.weather.gov/media/owlie/ciclones\\_tropicales11.pdf](https://www.weather.gov/media/owlie/ciclones_tropicales11.pdf)
- Nunez, C. (30 de Enero de 2024). *¿Qué es la corriente en chorro y cómo influye en el clima?* Obtenido de <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/01/que-es-la-corriente-en-chorro-y-como-influye-en-el-clima>

- Poleo, D. (2017). *Impact of atmospheric oscillations of low (AMO, PDO, ENSO) and high frequency (MJO) in the rain in Mesoamerica, in the fishing of shrimp, bean and rice crops in Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Poleo, D. (2020). *Boletín Meteorológico Mayo 2020*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- Poleo, D., & Stolz, W. (2012). *Boletín Meteorológico Agosto 2012*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- Poleo, D., León, E., & Stolz, W. (2014). La Oscilación atmosférica Madden-Julian (MJO) y las lluvias en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 55-78.
- Programa Estado de la Nación. (2023). *Informe Estado de la Nación 2023*. San José: Programa Estado de la Nación.
- Rodrigues, R. (2015). *Eventos pluviales extremos na Amazonia Meridional: Riscos e impactos em Rondonia*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.
- SINAC. (2019). *Áreas de Conservación*. Obtenido de [https://www.snitcr.go.cr/Metadatos/full\\_metadata2?k=Y2FwYT06U0IOQU6OmFyZWZfX2NvbnNlcnZhY2lvbg==](https://www.snitcr.go.cr/Metadatos/full_metadata2?k=Y2FwYT06U0IOQU6OmFyZWZfX2NvbnNlcnZhY2lvbg==).
- Solano León, E. (22 de Junio de 2015). *Análisis del comportamiento de los períodos caniculares en Costa Rica en algunas cuencas del Pacífico Norte y del Valle Central entre los años 1981 y 2010*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Solano, J., & Villalobos, R. (2001). Aspectos fisiograficos aplicados a un bosquejo de regionalización geografico climático de Costa Rica. *Tópicos Meteorologicos y Oceanograficos*, 26-39.
- Solano, J., & Villalobos, R. (s.f.). *Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica*. Obtenido de Instituto Meteorológico Nacional: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>
- Stolz, W. (2007). *Boletín Meteorológico Octubre 2007*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- Stolz, W. (2008). *Boletín Meteorológico Mayo 2008*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.

Stolz, W. (2008). *Boletín Meteorológico Setiembre 2008*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.

Vargas, G. (2006). *Geografía de Costa Rica*. San José: EUNED.