



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

“IDENTIFICACIÓN DE LOS RÍOS ATMOSFÉRICOS Y SUS
IMPACTOS EN MÉXICO DE 2016 – 2021”

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA

DANIELA FERNANDA CUAUHTÉMOC VARGAS

DIRECTORA DE TESIS
DRA. LETICIA GÓMEZ MENDOZA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, 2023





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central

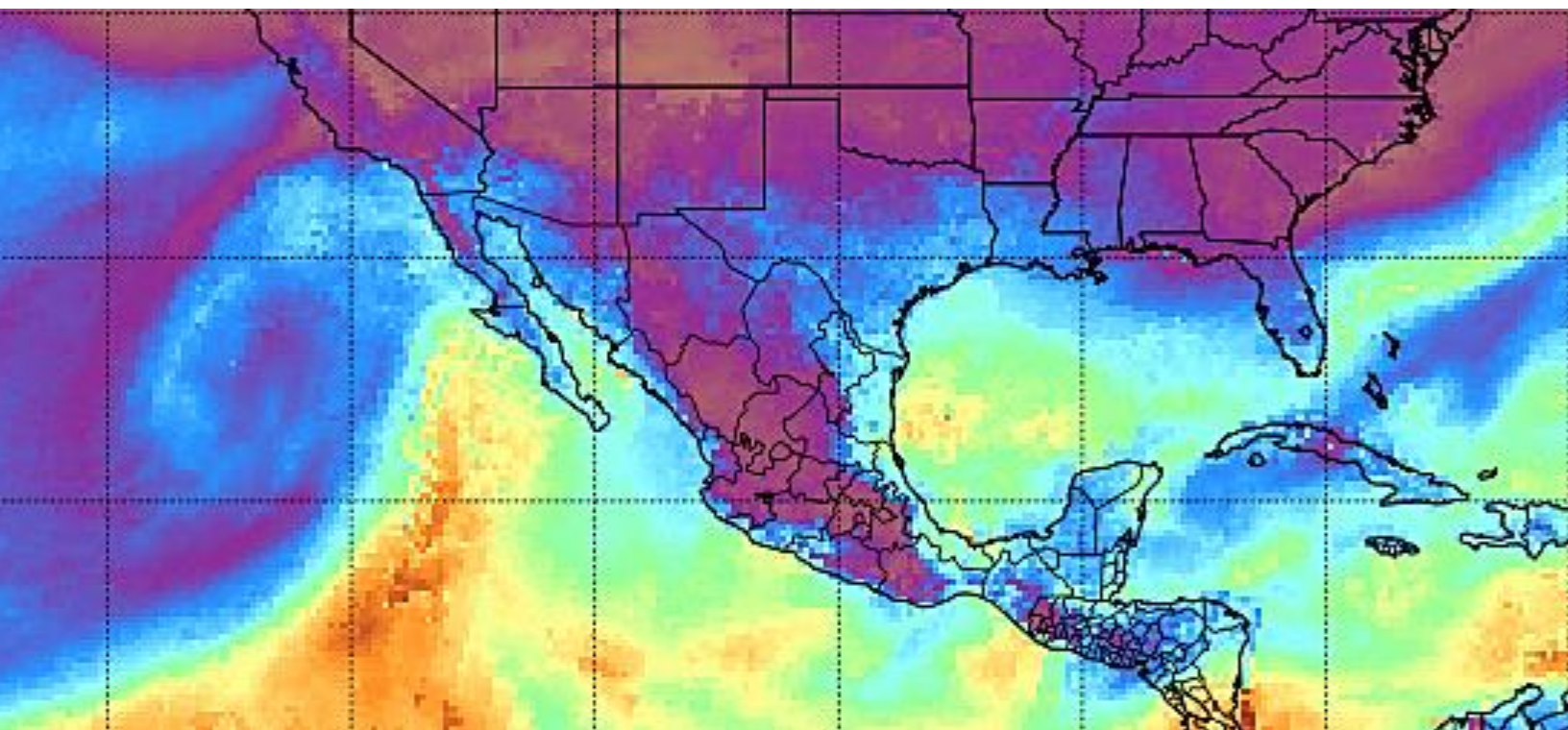


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



“Per Aspera Ad Astra”

[A través de las dificultades, hasta las estrellas]



GRACIAS

A mi madre, por ser mi soporte y darme los valores suficientes para ser la mujer que soy, además de brindarme educación como la mejor herencia.

A mis hermanos por ser mi apoyo y mi ejemplo.

A mis amistades por ser alegría y aliento.

A los y las profesoras que me han enseñado tanto de geografía y de la vida misma.

A todos y todas los que he tenido la fortuna de conocer para enriquecer mi camino y colorear mi vida.

A esta Universidad que me ha dado tanto desde niña.

A la vida que me ha permitido llegar hasta aquí.

MUCHAS GRACIAS.



Identificación de los Ríos Atmosféricos y sus Impactos en México de 2016 – 2021

Índice

Resumen.....	12
Abstract.....	13
Introducción	14
a) Planteamiento del Problema.....	14
b) Justificación.....	15
c) Preguntas de Investigación	17
d) Hipótesis.....	17
e) Objetivos de la Investigación.....	17
f) Marco Teórico – Conceptual.....	18
g) Glosario.....	21
h) Metodología	25
i) Variables de Respuesta	27
Capítulo 1. Definición y Detección de los Ríos Atmosféricos.....	29
1.1 Definición.....	29
1.1.1 Características generales.....	29
1.2 Antecedentes	32
1.3 Climatología de los ríos atmosféricos	34
1.4 Escala de los ríos atmosféricos.....	37
1.5 Impactos de los ríos atmosféricos.....	40

1.6	Herramientas de detección y estudio.....	42
1.6.1	Identificación satelital de estructuras de RA.....	46
1.6.1.1.	Discusión sobre algoritmos de detección	52
Capítulo 2. Identificación de Ríos Atmosféricos en México		56
2.1	Los Ríos Atmosféricos en México	60
2.1.1	Descripción general de duración, estacionalidad, distribución espacial e intensidad de la precipitación de RA en México	61
2.2	Impactos asociados a los ríos atmosféricos en México	67
2.3	Análisis Estadístico de los Eventos Identificados	76
Capítulo 3. Influencia y peligro hidrometeorológico de los Ríos Atmosféricos en México		80
3.1	Condición geográfica de México ante los ríos atmosféricos.....	80
3.2	Climatología	81
3.2.1	Regímenes pluviométricos	86
3.3	Grado de significancia pluviométrica.....	93
3.4	Propuesta de categorización de peligro hidrometeorológico de ríos atmosféricos para México	98
3.5	Cartografía nacional de exposición a ríos atmosféricos	103
Capítulo 4. Recomendaciones para el seguimiento de ríos atmosféricos en México.....		106
Discusión		108
Conclusiones.....		111
Anexos.....		113
Referencias		146

Índice de Tablas

Tabla 1. Intensidad de la precipitación.....	23
Tabla 2. Escala para categorizar fuerza e impactos de ríos atmosféricos ..	38
Tabla 3. Duración, Estacionalidad e Intensidad por Evento de RA en México	61
Tabla 4. Duración de Eventos de ríos atmosféricos en México.....	62
Tabla 5. Ocurrencia Mensual de ríos atmosféricos en México.....	63
Tabla 6. Ocurrencia estacional de ríos atmosféricos en México	63
Tabla 7. Precipitación Máxima y Anual Estimada por Año (2016 - 2021).....	65
Tabla 8. Intensidad de la precipitación máxima por evento de RA.....	66
Tabla 9. Impactos por eventos de ríos atmosféricos en México	73
Tabla 10. Climas muy secos de México (INEGI)	82
Tabla 11. Climas Secos de México (INEGI)	83
Tabla 12. Tabla 12. Otros climas (INEGI)	83
Tabla 13. Datos de identificación de estaciones muestra	86
Tabla 14. Datos de la estación 02038 en Tijuana, Baja California (SMN)	87
Tabla 15. Datos de la estación 02104 en Ensenada, Baja California (SMN) ..	88
Tabla 16. Datos de la estación 03019 en Mulege, Baja California Sur (SMN).	89
Tabla 17. Datos de la estación 26028 en Hermosillo, Sonora (SMN).....	90
Tabla 18. Datos de la estación 25161 en Culiacán, Sinaloa (SMN)	91
Tabla 19. Datos de la estación 08034 en Madera, Chihuahua (SMN)	92
Tabla 20. Eventos relevantes de RA por Estado	94
Tabla 21. Datos pluviométricos por estado de un evento relevante de RA, Precipitación Normal Mensual y Máxima Histórica.....	95
Tabla 22. Porcentaje de lluvia asociada a RA respecto a la precipitación normal y máxima histórica.....	96
Tabla 23. Intensidad de precipitación de un RA según clasificación el SMN	98
Tabla 24. Propuesta de intensidad de precipitación de RA.....	99
Tabla 25. Semáforo de lluvias por río atmosférico	100
Tabla 26. Semáforo de peligro por río atmosférico	101

Tabla 27. Matriz de frecuencia de ríos atmosféricos por estado (2016 - 2021)

..... 105

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema metodológico	28
Figura 2. Esquemas de un río atmosférico	30
Figura 3. Distribución de publicaciones de ríos atmosféricos	33
Figura 4. Frecuencia de RA a escala global (1997-2014)	35
Figura 5. Meses de máxima frecuencia de RA en California.....	36
Figura 6. Condiciones de un evento de RA por categoría	39
Figura 7. Escala de categorización de ríos atmosféricos	40
Figura 8. Vapor de Agua Integrado (IWV) de un evento del 7 de noviembre de 2011	42
Figura 9. Estudio de los ríos atmosféricos	43
Figura 10. Plataformas e instrumentos de detección de RA	45
Figura 11. Transporte de vapor de agua integrado y viento (28 de diciembre de 2011).....	46
Figura 12. Producto satelital de vapor de agua en la banda 9 de ABI GOES-17 West (NOAA) del 14 de febrero de 2019	47
Figura 13. Productos satelitales que muestran imagen infrarroja, vapor de agua y agua precipitable total para detección de RA del 7 de noviembre de 2006	48
Figura 14. Agua precipitable Total (TPW) global del 28 de diciembre de 2011	49
Figura 15. Herramientas útiles para la detección y visualización de RA.....	50
Figura 16. Observaciones satelitales para RA	50
Figura 17. Herramientas de Pronóstico para RA, IVT y TPW del CW3E	51
Figura 18. Características del ciclo de vida de un RA.....	54
Figura 19. Evolución de las detecciones de IVT y RA según diferentes algoritmos.....	55

Figura 20. Imagen interpretada del SMN del día 4 de febrero de 2020.....	57
Figura 21. Imagen interpretada del SMN del día 7 de marzo de 2020.	57
Figura 22. Precipitación Total Acumulada estimada por evento de RA en México.....	67
Figura 23. Imagen interpretada del SMN del 14 de febrero de 2019.....	69
Figura 24. Agua Precipitable Total de CIMSS del 14 de febrero de 2019.....	69
Figura 25. Impactos del evento de RA del 13-14 de febrero de 2019.....	70
Figura 26. Cantidad de impactos reportados en eventos de RA en México..	72
Figura 27. Impactos totales por evento de RA en México.....	75
Figura 28. Duración, precipitación e impactos por evento de RA.....	76
Figura 29. Precipitación Total Acumulada e Impactos asociados por evento de RA en México.....	77
Figura 30. Correlación entre la precipitación total acumulada y los días de duración por evento de RA.....	78
Figura 31. Correlación entre la Precipitación Acumulada Total y la cantidad de Impactos por evento de RA.....	79
Figura 32. Mapa de Precipitación Media Anual en México.....	84
Figura 33. Mapa de Regímenes de Precipitación en México.....	85
Figura 34. Pluviograma de la estación 02038 en Tijuana, B.C. (SMN).....	87
Figura 35. Pluviograma de la estación 02104 en Ensenada, Baja California (SMN).....	88
Figura 36. Pluviograma de la estación 03019 en Mulege, Baja California Sur (SMN).....	89
Figura 37. Pluviograma de la estación 26028 en Hermosillo, Sonora (SMN).	90
Figura 38. Pluviograma de la estación 25161 en Culiacán, Sinaloa (SMN).	91
Figura 39. Pluviograma de la estación 08034 en Madera, Chihuahua (SMN).	92

Figura 40. Comparación pluviométrica entre un RA, normal mensual y máxima histórica por estado.....	97
Figura 41. Mapa de Riesgo municipal por Inundación	102
Figura 42. Frecuencia de Ríos Atmosféricos por Entidad (2016 - 2021).	104

Anexos

Anexo - Caso # 1.....	114
Anexo - Caso # 2	115
Anexo - Caso # 3	116
Anexo - Caso # 4	117
Anexo - Caso # 5	118
Anexo - Caso # 6	119
Anexo - Caso # 7	120
Anexo - Caso # 8	121
Anexo - Caso # 9	122
Anexo - Caso # 10.....	123
Anexo - Caso # 11.....	124
Anexo - Caso # 12.....	125
Anexo - Caso # 13.....	126
Anexo - Caso # 14.....	127
Anexo - Caso # 15.....	128
Anexo - Caso # 16.....	129
Anexo - Caso # 17	130
Anexo - Caso # 18.....	131
Anexo - Caso # 19.....	132
Anexo - Caso # 20.....	133
Anexo - Caso # 21.....	134
Anexo - Caso # 22.....	135

Anexo - Caso # 23.....	136
Anexo - Caso # 24.....	137
Anexo - Caso # 25.....	138
Anexo - Caso # 26.....	139
Anexo - Caso # 27.....	140
Anexo - Caso # 28.....	141
Anexo - Caso # 29.....	142
Anexo - Caso # 30.....	143
Anexo - Caso # 31.....	144
Anexo 32. Mapa de Frecuencia de RA por Entidad en México	145

Identificación de los Ríos Atmosféricos y sus Impactos en México de 2016 – 2021

Resumen

Los ríos atmosféricos (RA) son eventos meteorológicos constituidos por cordones de vapor de agua responsables del transporte de humedad concentrada a nivel global. Estos eventos provocan lluvias y nevadas que ayudan a reducir los indicadores de sequía e incendios forestales, y aunque la mayoría son débiles, algunos pueden generar precipitaciones extremas. México por su ubicación geográfica, presenta exposición a estos eventos, sin embargo, no han sido estudiados con anterioridad ni profundidad en el territorio, por lo que, tampoco sus impactos han sido documentados sistemáticamente. El objetivo de este trabajo fue identificar las características sinópticas de los RA y sus impactos en México con base en su temporalidad, duración y volumen de precipitación acumulada diaria en el periodo 2016 – 2021. En la metodología para este estudio, los RA fueron detectados en boletines oficiales del Center for Western Weather and Water Extremes (CW3E) de la Universidad de California y posteriormente se analizó el transporte de vapor de agua integrado (IVT) y agua precipitable total (TPW) por medio de productos satelitales del Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS). Como resultado, se identificaron treinta y un casos de RA dentro del periodo estudiado, se ubicaron sus impactos geográficamente y se catalogaron con base en una división empírica, siendo la Península de Baja California la más expuesta a estos eventos. Este estudio constituye un relevante antecedente en el país ya que, además de proporcionar conocimiento crítico necesario para los tomadores de decisiones y el manejo del riesgo, puede contribuir a identificar áreas de oportunidad de periodos de lluvia que pueden aliviar la sequía. Este estudio y la metodología puede abrir oportunidades de investigación en el campo de la meteorología y la gestión de riesgo a nivel nacional e internacional.

Abstract

Atmospheric rivers (AR) are meteorological events constituted by water vapor bands responsible for the transport of concentrated humidity at a global level. These events cause rain and snowfall that help reduce drought and forest fire indicators, and although most are weak, some can generate extreme precipitation. Mexico, due to its geographic location, is exposed to these events; however, they have not been studied previously or in depth in the territory, so their impacts have not been systematically documented. The objective of this work was to identify the synoptic characteristics of AR and their impacts in Mexico based on their temporality, duration, and daily accumulated precipitation volume in the period 2016 - 2021. In the methodology for this study, ARs were detected in official bulletins from the Center for Western Weather and Water Extremes (CW3E) of the University of California and subsequently the transport of integrated water vapor (IVT) and total precipitable water (TPW) was analyzed by means of satellite products from the Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS). As a result, thirty-one AR cases were identified within the period studied, their impacts were geographically located and catalogued based on an empirical division, with the Baja California Peninsula being the most exposed to these events. This study constitutes a relevant precedent in the country since, in addition to providing critical knowledge necessary for decision makers and risk management, it can contribute to identify areas of opportunity for rainfall periods that can alleviate drought. This study and methodology can open research opportunities in the field of meteorology and risk management at the national and international level.

Introducción

a) Planteamiento del Problema

Los ríos atmosféricos (AR por sus siglas del inglés *Atmospheric River* o RA por sus siglas en español, usado en adelante) se definen como cinturones estrechos de humedad concentrada que se transportan en la atmósfera terrestre de las zonas tropicales a los polos principalmente (AMS, 2019). Estas columnas de vapor de agua forman parte de los fenómenos atmosféricos responsables de producir precipitaciones significativas en diferentes partes del mundo.

De acuerdo con la División de Ciencias Físicas del Laboratorio de Investigación del Sistema Tierra de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA), los ríos atmosféricos son beneficiosos ya que, proporcionan lluvias y nevadas que reducen los indicadores de sequía cuando impactan en la costa oeste de dicho país, principalmente en la costa del estado de California. Por otro lado, aunque la mayoría de los RA son débiles, algunos pueden generar precipitaciones extremas e inundaciones además de causar daños a la infraestructura, generar deslizamientos de laderas y la pérdida de vidas humanas (White, 2018).

México por su ubicación geográfica se encuentra entre los límites de las regiones tropical y extratropical, además de tener la influencia de humedad del Océano Pacífico que es generador de los principales RA que impactan la costa oeste de Norteamérica. La Península de Baja California es la región fisiográfica de México colindante con el estado de California de los Estados Unidos donde se han identificado diversos eventos de RA, y por dicha cercanía se considera cierto grado de exposición a estos eventos.

El estudio de las condiciones atmosféricas y climáticas en México está orientado principalmente en el análisis de los impactos generados por eventos extremos producidos por ciclones tropicales o frentes. Al ser un tema particularmente reciente, el abordaje de su temporalidad estacional, duración,

características de precipitación e impactos en el país no ha sido estudiado con anterioridad y/o profundidad suficiente, así como su posible relación con la ocurrencia de inundaciones en varios estados del país. Es por lo que el presente trabajo de investigación busca brindar un antecedente sobre la presencia y los impactos de los ríos atmosféricos en México, por medio del análisis de casos de estudio identificados en los meses que se comprenden entre octubre a abril del periodo que va de 2016 a 2021.

b) Justificación

Los ríos atmosféricos son un término acuñado en 1994 por los investigadores Reginald Newell y Young Zhu del Instituto Tecnológico de Massachusetts (Zhu y Newell, 1994), así con menos de treinta años de estudios al respecto, países como Estados Unidos, España y Chile analizan los impactos de estos fenómenos debido a los riegos y beneficios que estos pueden generar por sus precipitaciones.

Las investigaciones sobre eventos hidrometeorológicos promueven la trasmisión de avances científicos y nuevas herramientas de pronóstico, útiles para la prevención de riesgos y toma de decisiones; además de ser esenciales para una mejor comprensión de la climatología regional y global. Por lo anterior, es que el estudio de estos fenómenos recién acuñados es relevante, para dar explicación a eventos pasados y futuros que pueden presentarse en el territorio mexicano.

El entendimiento, identificación y análisis de los RA proporciona conocimiento crítico necesario para los tomadores de decisiones como autoridades nacionales o regionales, personal de protección civil, gestores del riesgo, administradores del agua y operadores de recursos hídricos, al tiempo que se pueden aprovechar las precipitaciones como oportunidades para combatir las sequías, incendios forestales, beneficiar los cultivos de temporal y mejorar la gestión hídrica en diferentes países donde ya se realiza el monitoreo y pronóstico de éstos eventos como lo es en Estados Unidos, España, Chile y Corea del Sur.

Desde la geografía de los riesgos, la comprensión del riesgo implica entender una relación social – natural compleja que debe de analizarse desde varios enfoques y que parte desde la definición y tipo de amenaza que se aborda. En este caso, un riesgo hidrometeorológico, que al igual que los huracanes, frentes o tornados, debe de definirse desde la meteorología inicialmente para entenderse con la geografía de los riesgos posteriormente, para reconocer sus impactos y relevancia social. Reconociendo en todo momento que, los elementos que componen la formula del riesgo es una relación de la amenaza (evento adverso) por la vulnerabilidad social. Ésta última como resultado de un proceso complejo, que involucra los aspectos culturales, económicos, políticos e históricos de una sociedad.

Es por ello que, en el presente trabajo se parte de la definición del riesgo (río atmosférico) y su identificación, para realizar un análisis espacial de la exposición que tiene México ante estos eventos, el reconocimiento de sus impactos y la emisión de recomendaciones, destacando la relevancia de su monitoreo y estudio para la creación de alertas tempranas y como parte de la climatología del país desde su relevancia y aplicaciones geográficas. Extendiendo la opción de realizar y profundizar en aspectos que componen la vulnerabilidad social y su capacidad de respuesta para futuros trabajos en geografía de los riesgos.

Adicionalmente, dicho tema académicamente brinda la oportunidad de abrir una nueva área de investigación todavía naciente en el país que vincule el intercambio de información entre diferentes centros de investigación nacional e internacional y que atraiga el interés de profesionistas de diferentes áreas como la hidrología, meteorología, climatología, geofísica, economía, entre otras.

Un ejemplo que evidencia la relevancia del estudio de estos fenómenos es el ocurrido entre los días 19 al 22 de diciembre del año 2016, donde se identificó la presencia de un RA que impacto a los estados de Baja California, Baja California Sur y Sonora. Durante cuatro días se registraron precipitaciones que alcanzaron

su pico el 22 de diciembre de dicho año, con un valor máximo de hasta 180 mm de precipitación acumulada en 24 horas, de acuerdo con datos de CHIRPS, sobre la Ciudad de Ensenada, Baja California. Tener registro de estos eventos constituye una base importante para conocer cuáles son las afectaciones potenciales y beneficios que traen consigo estos fenómenos al país.

c) Preguntas de Investigación

¿Existe presencia de ríos atmosféricos en México? y ¿qué impactos generan los ríos atmosféricos en el territorio?

d) Hipótesis

Existen condiciones atmosféricas que evidencian la presencia de ríos atmosféricos en México que pueden generar impactos en algunas regiones del país.

- **Hipótesis nula (Ho):** No existe presencia de ríos atmosféricos en México que generan impactos en el territorio.
- **Hipótesis alternativa (Ha):** Existe presencia de ríos atmosféricos en México que generan impactos en el territorio.

e) Objetivos de la Investigación

General:

Identificar las características sinópticas de los ríos atmosféricos y sus impactos en México considerando su temporalidad, duración y volumen de precipitación acumulada diaria dentro del periodo 2016 – 2021.

Particulares:

1. Documentar las características sinópticas generales e impactos de los ríos atmosféricos a nivel nacional e internacional por medio de la búsqueda bibliográfica.
2. Identificar y describir la duración, intensidad, distribución espacial e impactos de la precipitación durante los eventos de ríos atmosféricos que hayan impactado México dentro de los meses de octubre a marzo del periodo 2016 a 2021 por medio de fichas de identificación.
3. Emitir recomendaciones generales para la identificación de RA en México.

f) Marco Teórico – Conceptual

Los ríos atmosféricos son estructuras alargadas con forma de banda que de acuerdo con observaciones satelitales tienen un ancho promedio de 300 a 600 km, una longitud superior a los 2,000 km y 3 km de profundidad desde la superficie. Los RA ocurren en todo el mundo siendo más comunes en las latitudes medias entre 30° y 60° de ambos hemisferios. Son los principales responsables del transporte meridional, de los trópicos a los polos, de humedad concentrada en la atmósfera a nivel global (Ralph *et al.*, 2004).

Los RA suelen estar asociados a franjas de humedad y regiones de alta temperatura potencial, aunque la existencia de tales condiciones no deriva en un RA. Por ejemplo, la cinta transportadora cálida de un ciclón extratropical es una estructura más ancha y no se considera un RA.

Los RA tienen cierto grado de complicación para su pronóstico a medida que viajan y se desarrollan sobre el océano, debido a la escasez de datos e instrumentos ubicados en el mar. Para estos casos son importantes los productos satelitales, así como el manejo de algoritmos de pronóstico y radiosondeos como los que realiza el Center for Western Weather and Water Extremes (CW3E) y la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) desde aeronaves

cazahuracanes. De acuerdo con la NOAA, los RA generalmente se encuentran en los océanos extratropicales del Pacífico Norte, Atlántico Norte, Pacífico Sudoriental y Atlántico Sur que a menudo tocan tierra en las costas occidentales de América del Norte y del Sur.

Por otro lado, la **geografía de los riesgos** es una rama de la geografía que estudia la relación sociedad - naturaleza que implican los eventos adversos como sequías, incendios forestales, sismos, entre otros (García, 1984). Los **riesgos naturales** son entendidos como "aquellos elementos del medio físico y biológico nocivos para el hombre y causados por fuerzas ajenas a él" (Burton y Kates, 1964).

La **clasificación del riesgo** varía según el punto de vista desde el cual se aborde, ya sea por sus características, causas, origen o efectos. De forma convencional, existen dos grupos en los cuales se clasifican según su origen: geofísicos y biológicos (García, 1984).

Dentro del primer conjunto, de acuerdo con su principal agente causal es posible distinguir entre los que tienen un origen climático o meteorológico (sequías, huracanes, inundaciones, etc.), y los que son generados por factores de carácter geológico o geomorfológico, caso de los terremotos, los deslizamientos de tierras, la erosión, etc.

En el segundo conjunto también puede hacerse una distinción atendiendo a la condición de su agente causal, separando aquellos que presentan un origen filológico (afecciones por hongos, infestaciones) de los que tienen un origen de índole faunística, como una invasión de langosta. (García, 1984, párr. 18-19).

En este sentido, se pueden manejar a los ríos atmosféricos como un riesgo natural de tipo meteorológico, específicamente un **fenómeno hidrometeorológico**, por tener características en su composición y comportamiento la presencia de partículas de agua que pueden estar en suspensión en la atmósfera libre o precipitar sobre la superficie terrestre (SMN, 2020).

Dentro de la fórmula en la composición del riesgo, se considera la amenaza en conjunción con la vulnerabilidad y la exposición que tiene la sociedad a los

peligros, esta receta también explica cómo es la composición de los mal llamados **desastres naturales**. El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) en la Guía *Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos* menciona que:

Equivocadamente se tiene la percepción de que los desastres se deben exclusivamente a los peligros. Se suele señalar, por ejemplo, al huracán o al sismo como el responsable de las pérdidas durante un desastre o emergencia. En realidad, es la sociedad en su conjunto la que se expone con su infraestructura física, organización, preparación y cultura característica al encuentro de dichos fenómenos, manifestando usualmente diversos grados de vulnerabilidad en estos aspectos.

Se concluye, por tanto, que los desastres no son naturales, es decir, son producto de condiciones de vulnerabilidad y exposición derivados en gran medida por aspectos socioeconómicos y de desarrollo no resueltos, como elevados índices de construcciones informales, marginación, pobreza, escaso ordenamiento urbano y territorial, entre otros. (CENAPRED, 2006).

Conviene subrayar que la presente investigación se incorpora en el marco de análisis de la geografía de los riesgos, pero que al ser un tema innovador a nivel nacional y del que no existe suficiente registro previo, se parte desde la meteorología para su completo entendimiento, como la definición del fenómeno; para reconocer sus impactos, relevancia climatológica, distribución espacial y la exposición que tiene México ante los RA, que responden a las preguntas básicas en el quehacer geográfico del *¿qué?*, *¿cómo?*, *¿dónde?* y *¿por qué?*. Abriendo una ventana a la profundización en la comprensión del riesgo y su construcción, en futuros trabajos con aplicaciones geográficas.

Igualmente, es importante señalar que el monitoreo de estos eventos atmosféricos ayudaría a la creación de una **alerta temprana** para la sociedad, entendida como información oportuna y efectiva por parte de instituciones que permita a las personas expuestas a una amenaza llevar a cabo acciones para evitar o reducir el riesgo y prepararse para una respuesta eficaz (INECC, 2020).

Además, el **cambio climático**, que se define como la variación del estado del clima identificable que persiste durante largos períodos de tiempo (30 años aprox.) y que puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos y cambios antropógenos persistentes (INECC, 2020), no puede ignorarse dentro de este contexto de investigación, ya que un estudio de Espinoza (2019) señala que estos eventos se volverán más intensos a medida que se eleve la temperatura global.

A continuación, se presentan un listado de términos en forma de glosario que son importantes tener en cuenta para una mejor comprensión del trabajo.

g) Glosario

Agua precipitable total (TPW): También conocida como “Agua precipitable” o “Total column water vapor” (TCWV) o “Vapor de agua precipitable” (PWV) por sus siglas en inglés; Es el total de vapor de agua presente en una columna atmosférica, está se encuentra expresada en milímetros que tendría de altura en agua líquida si todo el vapor de agua se condensara sobre una región obteniendo el cálculo de la cantidad de vapor de agua precipitable integrado (IPWV) (Coster *et al.*, 1996; Pineda, 2018). El Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS) genera productos satelitales de TPW conocidos como MIMIC-TPW2, y se encuentran disponibles en el sitio web: <http://tropic.ssec.wisc.edu/real-time/mtpw2>

Algoritmo: Se le llama así al conjunto ordenado y limitado de operaciones que permite encontrar la solución o respuesta de un problema (RAE, 2020).

CHIRPS: Por sus siglas en inglés de *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* es un conjunto de datos de precipitación de casi escala global de más 35 años de duración, desde 1981 hasta el presente. También presenta imágenes satelitales de resolución de 0.05° y datos de estaciones *in situ* para crear series cronológicas de precipitación rasterizadas, análisis de tendencias y monitoreo de sequías estacionales (CHC, 2016).

Clima: Se considera así a las condiciones meteorológicas que prevalecen en un periodo largo de tiempo de por lo menos 30 años y que están influenciadas por elementos, fenómenos y factores de la ubicación geográfica, comprendiendo sus valores extremos (NWS, 2020).

Desastre: Es la ocurrencia de agentes perturbadores extremos que se presentan en un tiempo y zona determinada causando daños severos y que por su magnitud exceden la capacidad de respuesta local (INECC, 2020).

Fenómeno hidrometeorológico: Considerado como un agente perturbador que se produce por la acción de otros eventos atmosféricos como ciclones tropicales, sequías, tornados, entre otros y que está ligado con la presencia o ausencia de precipitaciones (INECC, 2020).

Frente frío: Ocurre cuando una masa de aire frío avanza hacia latitudes menores y su borde delantero empuja el aire caliente en contacto con el suelo. Al paso de este sistema, se pueden observar nubes de desarrollo vertical, las cuales podrían provocar lluvias intensas o nevadas (SMN, 2020).

Hidrometeoro: Conjunto de partículas de agua, líquida y sólida en caída o suspensión. Precipitación de partículas acuosas, líquidas o sólidas. Las partículas acuosas pueden estar en suspensión, pueden ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos situados en la atmósfera libre (SMN, 2020).

Intensidad de precipitación: Es la razón de incremento del volumen de agua precipitada respecto al tiempo. Se clasifica en ligera, moderada, fuerte y torrencial según se observa en la tabla (SMN, 2020).

Tabla 1. Intensidad de la precipitación

Categoría	Intensidad de la lluvia (mm/h)
Ligera	Menor a 5.0
Moderada	Entre 5.1 y 15.0
Fuerte	Entre 15.1 y 60.0
Torrencial	Mayor a 60.0

Fuente: Elaborado con base en el Glosario Técnico del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en <https://smn.conagua.gob.mx/es/smn/glosario>

Inundación: Es un evento generado por una intensa precipitación, oleaje, marea de tormenta o falla de alguna infraestructura hidráulica que ocasiona la invasión de agua en zonas bajas o sitios donde usualmente no la hay y, ocasionando daños en la propiedad y vida (INECC, 2020).

Lluvia isotópica: La composición isotópica de la lluvia es como una firma única que permite determinar los componentes, edad y calidad del agua dentro del ciclo hidrológico (Gil, L. y Ortega, L., 2019).

Modelo GFS: El modelo numérico Sistema Global de Predicción (GFS por sus siglas en inglés de *Global Forecast System*) es un modelo de predicción meteorológica creado por los Centros Nacionales de Predicción Ambiental de los Estados Unidos (NCEP) y comúnmente utilizado por la NOAA y sus laboratorios. Es la base para otros 20 modelos de predicción por conjuntos que se denominan como Global Ensemble Forecast System (GEFS) o Medium Range Forecast (MRF). Es el único de los modelos con cobertura global y de dominio público, utilizado por otras agencias, empresas e institutos de meteorología para generar sus propios pronósticos (NCEI, 2013).

Peligro: Se define con relación a la ocurrencia de eventos climáticos y los fenómenos relacionados con el cambio de la temperatura y precipitación, así como las afectaciones sociales y económicas derivadas de las mismas (INECC, 2020).

Península: De origen latín, *casi isla*. Se llama así a una porción de tierra firme rodeada por agua mayormente pero que se encuentra unida a tierra continental por una zona relativamente estrecha (Lugo, 2011).

Precipitación: Hidrometeoro constituido por un conjunto de partículas en diferentes estados (acuosas, líquidas, sólidas, cristalizadas o amorfas) que caen de una nube o de un conjunto de ellas y que alcanzan el suelo. También pueden precipitar otros materiales secos como polvo, arena y polen a lo que se llama precipitación seca (SMN, 2020).

Tendencia estadística: Es un patrón estadístico en un conjunto de datos de una serie histórica, el cual es probable siga apareciendo en un futuro, es útil en la generación de predicciones (Mendenhall *et al.*, 2010).

Tiempo atmosférico: Es el estado de la atmósfera en un momento, influido por diferentes factores de un lugar determinado el cual puede variar en un tiempo relativamente corto de horas a días (INECC, 2020).

Vapor de Agua Integrado (IWV): El vapor de agua integrado (IPWV) es la forma común para la estimación de agua en la atmósfera y se obtiene del volumen de agua líquida que tendría la columna atmosférica de 1m² de ancho en base, sus unidades son milímetros (Epeloa, 2015).

Variabilidad climática: Son las variaciones del estado medio del clima y sus características estadísticas, y que son más amplias que las de los fenómenos meteorológicos en escala espacial y temporal (INECC, 2020).

Warm Conveyor Belts (WCB): En español: *Cinta transportadora cálida*. Es una corriente de aire cálido y húmedo que se encuentra en la capa límite de un ciclón extratropical o que se presenta en los niveles más bajos de la troposfera delante de un frente. Generalmente ascienden hacia el polo norte formando nubosidad debido a la condensación del aire húmedo (Mark Rodwell, et al., 2018).

h) Metodología

Para la realización de la presente investigación se emplearon diversas técnicas metodológicas que se desarrollaron en diferentes etapas del proceso.

1. En un comienzo, se buscó información bibliográfica sobre los RA para la comprensión del fenómeno a estudiar, así como en su descripción y las características sinópticas para su identificación e impactos, consultando artículos científicos y publicaciones tanto internacionales como nacionales.
2. Posteriormente, se realizó la búsqueda en fuentes digitales de centros de investigación y dependencias oficiales que realizaran la detección de estos fenómenos por medio de boletines y pronósticos. Considerando que los RA tienen una mayor frecuencia en los meses de invierno, con base en la bibliografía revisada, se extendió una búsqueda de estos eventos a lo largo de seis meses de octubre a abril de los años de 2016 a 2021. Adicionalmente, los casos identificados se verificaron con base en los productos satelitales diarios de Transporte de Vapor de Agua Integrado (IVT) y Agua Precipitable Total (TPW), del Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS) revisando la región de EPAC o CONUS de MIMIC-TPW2, que permitieron la identificación visual de los eventos informados o que fueron registrados en boletines que tuvieran proximidad o presencia en territorio mexicano.
3. Se consideraron aquellos RA que fueron identificados por el Center for Western Weather and Water Extremes (CW3E) de la Universidad de California, sobre todo aquellos boletines de pronóstico en los que fue identificada presencia o influencia de un evento sobre territorio mexicano, descartándose en caso de no encontrar correlación con las imágenes satelitales de IVT o TPW. Se considero como fuente el CW3E, ya que este centro trabaja realizando un monitoreo constante de la superficie del océano y de la atmósfera de forma integrada, siendo líder y especialista en

investigación, publicación, monitoreo y modelado de los RA a nivel internacional.

3.1 Se consideran como RA aquellos fenómenos visualmente detectables dentro de los productos satelitales de IVT o TPW que tengan la forma de cinturones de humedad con un desplazamiento latitudinal hasta impactar sobre territorio continental, centrándose principalmente en las costas del Pacífico mexicano.

4. Una vez concluida la identificación en el periodo de estudio, con treinta y un casos detectados, se procedió al análisis de estos fenómenos para examinar su distribución espaciotemporal. En una base de datos se vertió la siguiente información de cada evento detectado: año, mes, duración (días), estación del año (otoño, invierno o primavera). Así como los datos de análisis de distribución y descripción de la precipitación acumulada diaria (mm) obtenida de la base de datos de *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS v.2) de resolución de 0.05 °, indicando los estados de la República Mexicana impactados que tuvieron precipitaciones durante la presencia del evento. El rango de precipitación que hubo en cada uno de los días que duro el evento, la precipitación máxima registrada (mm/día) y la clasificación de la intensidad de esta precipitación con base en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ya fuera ligera, moderada, fuerte o torrencial, además de añadir la ubicación donde se registró la precipitación máxima. Para ello se usaron los productos cartográficos de precipitación acumulada diaria obtenidos de CHIRPS que mostraban las zonas de mayores precipitaciones.
5. Después del análisis de cada uno de los eventos y con la información vertida en una base de datos, se procedió con la búsqueda hemerográfica en revistas, periódicos o sitios web sobre posibles impactos generados por precipitaciones ocurridas durante la presencia de un RA en México, como inundaciones, deslizamientos de laderas, nevadas o encharcamientos viales

en los sitios identificados que tuvieron mayores precipitaciones según CHIRPS.

6. Toda la información se plasmó en fichas de identificación de RA, donde se presenta de manera sintética la duración del evento, distribución espacial de la precipitación y los impactos reportados por medios locales durante los días identificados.
7. Posteriormente, se realizó un análisis estadístico de la precipitación, así como un análisis de los impactos reportados para la elaboración de una propuesta de escala de peligro hidrometeorológico por ríos atmosféricos en México.
8. Se elaboró igualmente cartografía que mostrara las regiones de la República Mexicana con mayor exposición a la presencia de estos fenómenos atmosféricos según los eventos identificados.
9. Finalmente, se redactaron los resultados obtenidos y se emitieron recomendaciones para el Servicio Meteorológico Nacional resaltando la importancia de la detección de estos fenómenos en México.

i) Variables de Respuesta

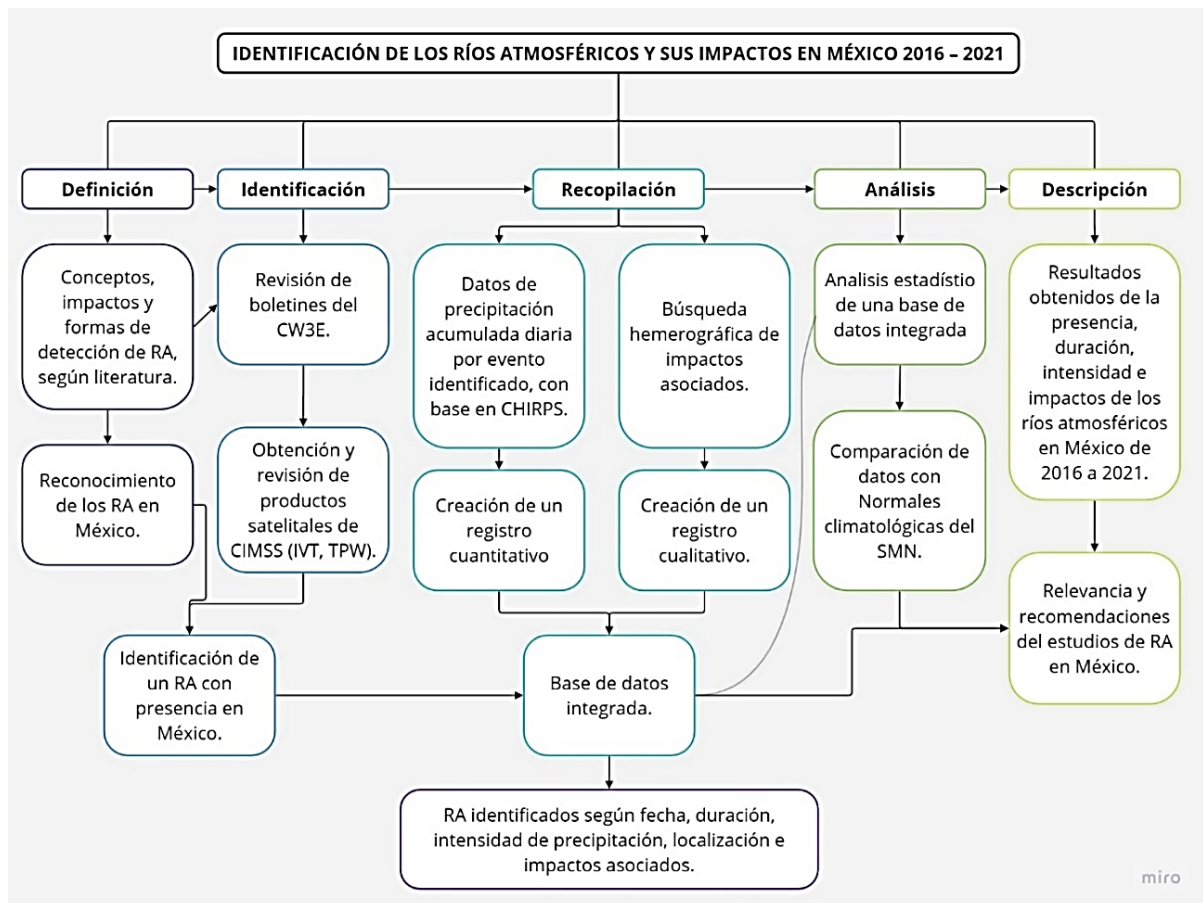
La variable principal es la precipitación acumulada diaria durante los días en los que se identifica la presencia de un RA dentro del territorio mexicano. La identificación de los eventos se hizo mediante los boletines de pronóstico y seguimiento que emite el Center for Western Weather and Water Extremes (CW3E) de la Universidad de California por medio de su sitio web, en ellos se describen las posibles condiciones y sitios dónde impactara un RA, mismo que se verifica con los productos de imágenes satelitales de transporte de vapor de agua integrado (IVT) y agua precipitable total (TPW) MIMIC-TPW2 generados por el Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS).

Una vez identificado el RA, se hizo un análisis espacial del territorio por medio de los datos de precipitación acumulada diaria de CHIRPS v2.0 de la Universidad de California, S.B. con resolución de 0.05°, detectando así los estados

en los que impacto el evento y el rango de precipitación acumulada diaria estimada que generó. Posteriormente, con la información vertida dentro de una base de datos y con la cartografía automática presentada en CHIRPS, se realizó la búsqueda hemerográfica que exponga noticias o reportes sobre impactos producidos por las precipitaciones generadas durante los mismos días de ocurrencia de un RA.

Finalmente, se generaron resultados cartográficos para exponer la presencia de los RA a nivel nacional, así como fichas de cada evento identificado.

Figura 1. Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 1. Definición y Detección de los Ríos Atmosféricos

1.1 Definición

Los ríos atmosféricos son los ríos de agua dulce más grandes del planeta, son identificables al tener forma semejante a cinturones o bandas temporales de humedad concentrada que algunas veces están asociados a una corriente en chorro de bajo nivel antes de un frente o un ciclón extratropical y que impactan en la troposfera baja. Su longitud es superior usualmente a los 200 km de ancho y 2,000 km de largo. El vapor de agua de los RA puede provenir de latitudes de tropicales o extratropicales (AMS, 2019).

Se ha determinado que estas estructuras están asociadas con ciclones extratropicales y zonas prefrontales de frentes fríos conocidas como bandas transportadoras de humedad cálidas **WCB** (*Warm Conveyor Belts*). Su formación puede estar dada por diferentes factores como altos niveles de humedad, fuertes vientos de bajo nivel en la troposfera y un perfil atmosférico húmedo, que en conjunto al presentar un forzamiento orográfico por cadenas montañosas llega a producir precipitaciones locales significativas (AMS, 2019).

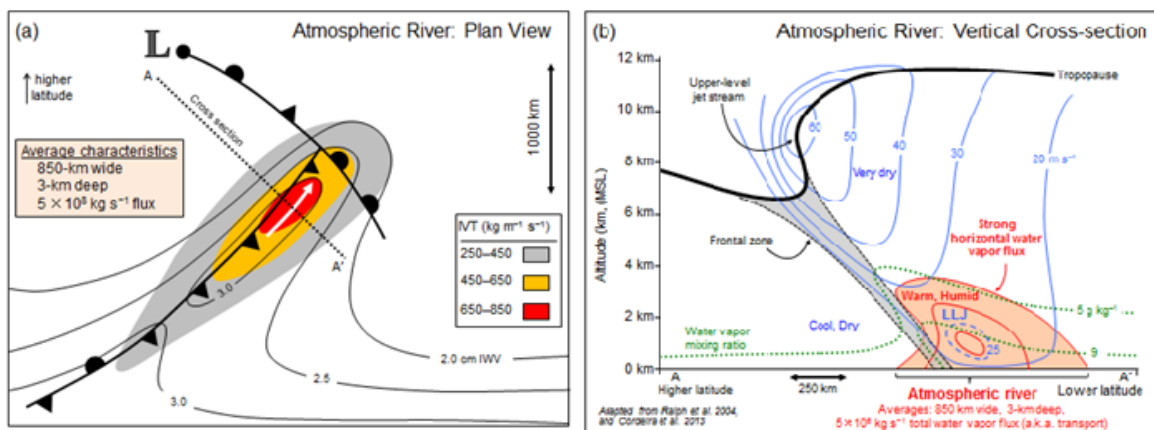
La fuente de humedad de estos fenómenos proviene de las regiones tropicales o extratropicales entre la capa límite marina y el flujo de calor latente de la superficie oceánica subyacente que es transportada a latitudes medias, aunque cabe mencionar que no todos estos eventos siguen una trayectoria meridional horizontal desde el trópico hasta una región costera cercana, ya que normalmente “serpentean” en la atmósfera teniendo una trayectoria diagonal (UCAR/COMET, 2017).

1.1.1 Características generales

Los ríos atmosféricos pueden tener una anchura máxima de hasta 600 km y más de 2,000 km de largo, con 3 km de profundidad vertical promedio (Ralph et al., 2013).

- A. Aproximadamente entre el 30% y 50% de la precipitación anual en la costa oeste de los Estados Unidos de América ocurre en eventos de RA, lo que contribuye al suministro de agua, combate de sequías e incendios, así como al manejo del riesgo por inundaciones.
- B. Un río atmosférico fuerte puede transportar una cantidad de vapor de agua equivalente de 7.5 a 27 veces el flujo promedio de agua que corre por del Río Mississippi. Un ejemplo bien conocido de un RA fuerte que puede impactar en América del Norte es el "Pineapple Express", conocido entre la comunidad científica por la gran cantidad de humedad que transporta desde Hawái hasta costas norteamericanas.
- C. Los RA son los principales responsables del transporte de humedad de los trópicos a los polos en todo el planeta en ambos hemisferios y son parte del Sistema de Circulación General de la Atmósfera. A nivel mundial logran transportar en promedio más del doble del caudal del río Amazonas (AMS, 2019).
- D. Se calcula que existen al menos tres ríos atmosféricos en el mundo en todo momento, aunque su ocurrencia en América del Norte destaca en la temporada de invierno debido a las condiciones climáticas y atmosféricas de la región.

Figura 2. Esquemas de un río atmosférico



Fuente: Obtenidas de Ralph *et al.*, (2013) en http://glossary.ametsoc.org/wiki/Atmospheric_river. Estos esquemas representan un resumen de la estructura y magnitud promedio de un río atmosférico de latitud media basado en mediciones y reanálisis de sondeos aéreos desde aviones de investigación.

Los esquemas anteriores presentados en la Figura 2 pertenecen a F. M. Ralph, J. M. Correia y P. J. Neiman, basados en observaciones de 21 ríos atmosféricos presentados en Ralph, M., *et al.* (2017). Los veintiún casos observados se compararon con miles de RA encontrados en los conjuntos de datos meteorológicos ERA y MERRA-2 durante 37–38 años en la misma región y temporada (Guan, 2018). Se manifestó que los casos observados en aeronaves son representativos del espectro de RA en los reanálisis hechos.

El ancho promedio de un RA está definido por el transporte de vapor de agua integrado verticalmente (IVT) que va desde la superficie hasta los 300 hPa (10 km de altura) aproximadamente y que tiene un umbral límite lateral de $250 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$, mientras que su profundidad corresponde a la altitud por debajo de la cual se produce el 75% del IVT (Ralph, *et al.*, 2017).

La imagen (a) es una vista en planta que muestra un sistema primario de baja presión y los frentes asociados. El IVT se muestra con los colores gris, amarillo y rojo de acuerdo con su magnitud que es mayor en su centro, superando los $650 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ y la dirección del núcleo este marcado con la flecha blanca. Las medidas promedio de los RA estudiados es de 850 km de largo en superficie, 3 km de profundidad y un flujo de humedad de $5 \times 10^8 \text{ kg s}^{-1}$.

Un corte transversal se muestra en la figura (b) que se denota por la línea punteada de la figura previa (A – A'). En esta segunda imagen se incluye el núcleo del transporte de vapor de agua en el RA con contornos y relleno rojo, así como el canal de la corriente en chorro de bajo nivel presente en la tropopausa y sobre la zona frontal del frente frío. Se muestra en las líneas punteadas verdes la relación de mezcla de vapor de agua (g kg^{-1}) e isotacas (contornos azules; m s^{-1}). En el centro de esta figura se muestra que el río atmosférico presenta un intenso flujo de vapor de agua horizontal con humedad cálida y una velocidad aproximada de 25 m s^{-1} .

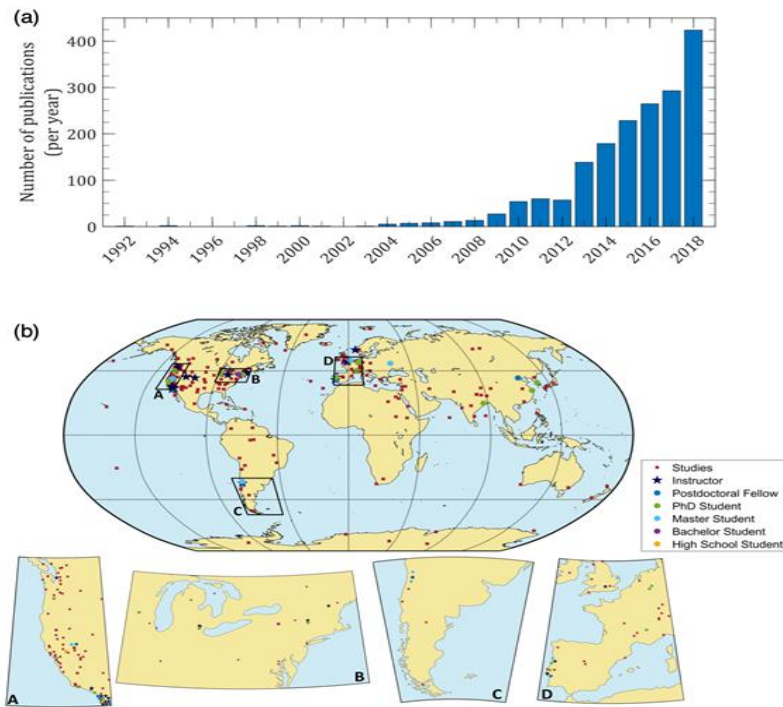
1.2 Antecedentes

El término **Río Atmosférico** (*Atmospheric River*) fue planteado por primera vez en 1994 por los investigadores Reginald Newell y Young Zhu del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) para describir el transporte de vapor de agua atmosférico a través de las latitudes medias (Zhu y Newell, 1994). En junio de 2015 se llevó a cabo el Taller de ríos atmosféricos organizado por el Dr. F. Martin Ralph en el Seaside Forum en la Universidad de California San Diego/Scripps Institution of Oceanography (SIO), y que fue patrocinado por el Center for Western Weather and Water Extremes (CW3E). Este taller reunió a investigadores, profesores y estudiantes de diferentes países para estudiar el estado del arte de los RA a nivel internacional, y así poder organizar la Primer Conferencia Internacional de ríos atmosféricos que se celebró en el verano de 2016 en la Universidad de California (Ralph, 2015) y que desde entonces se realiza cada dos años, en 2018 en la misma sede, en 2020 en la Universidad de Chile de forma virtual y en 2022 igualmente en Chile pero de forma híbrida. En esta última reunión, la que suscribe esta tesis tuvo la oportunidad de presentar los avances de esta investigación.

Como producto de la primera conferencia se presentó el desarrollo de una monografía sobre RA que ha sido el marco de referencia estándar para las próximas investigaciones de los siguientes 20 años sobre el tema (Ralph, 2015).

En el sitio oficial de la Conferencia Internacional de ríos atmosféricos o IARC por sus siglas en inglés de *International Atmospheric River Conference*, se exponen los resultados de un análisis que refleja la cantidad de publicaciones sobre el tema desde 1992 hasta 2018. En dichas imágenes, que se presenta a continuación, es visible que la cantidad de publicaciones ha ido en aumento durante la última década, en particular desde 2013 que superan gráficamente más de 100 publicaciones al año hasta 2018 que rebasan las 400 publicaciones.

Figura 3. Distribución de publicaciones de ríos atmosféricos



Fuente: Wilson *et al.* (2020, pag. 1971). "Número de publicaciones de ríos atmosféricos por año y participantes en la Escuela de Verano de la Universidad de California en 2019. (a) Artículos de revistas de revisión por pares que hacen referencia al tema de los RA publicados por año en Google Scholar. (b) Ubicaciones de los participantes del Coloquio de la Escuela de Verano por nivel de educación, instructores y áreas de estudio de Ras de (a).¹" Obtenido de: <https://cw3e.ucsd.edu>

Es visible en la Figura 3 que México no presenta gran cantidad de publicaciones, estudios, ni citas sobre el tema de ríos atmosféricos en comparación con Estados Unidos u otros países.

El Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre de la NOAA (por sus siglas en inglés ESRL) realiza investigaciones sobre precipitación y las condiciones del tiempo que pueden conducir a inundaciones y promueve la transición de avances científicos y nuevas herramientas de pronóstico atmosférico. Los científicos de ESRL desarrollaron y crearon prototipos en Observatorio de ríos

¹ Wilson A., et al. (2020). Training the Next Generation of Researchers in the Science and Application of Atmospheric Rivers. *Bull. Amer. Meteor. Soc. (BAMS)*, (101), E738 – E743.

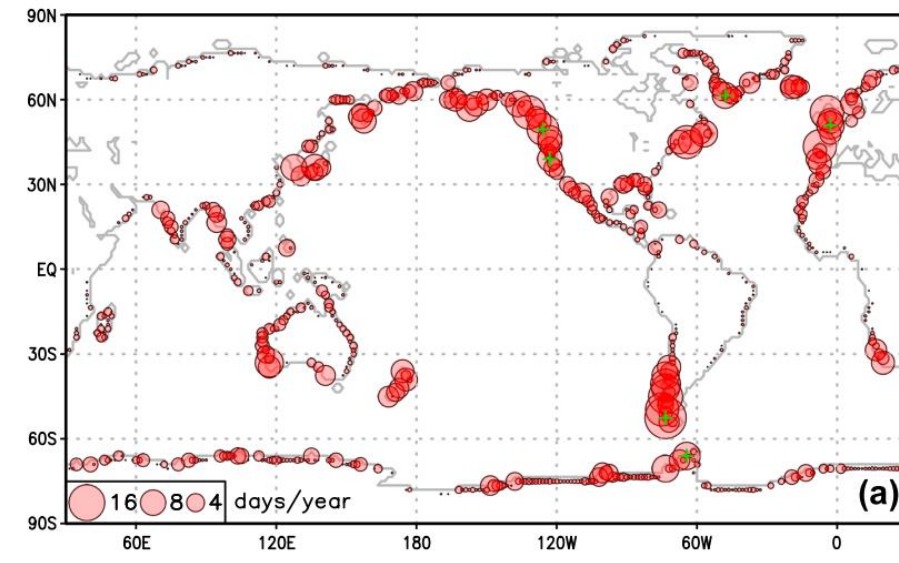
atmosféricos (ARO por sus siglas en inglés) diseñados para ampliar la comprensión del impacto de los RA, y su precipitación en las montañas costeras y la alta sierra de California. Esta red de ARO se implementó a lo largo de los estados de California, Oregón y Washington.

1.3 Climatología de los ríos atmosféricos

De acuerdo con Guan, *et al.*, (2015) los RA ocurren con más frecuencia en las cuencas oceánicas de latitudes medias que sobre masas continentales y latitudes bajas o polares, los centros de mayor frecuencia de formación de RA son el Océano Pacífico norte, Atlántico extratropical, Pacífico sureste y Atlántico sur, por lo que el impacto de estos fenómenos en tierra es más frecuente en las costas occidentales de América del Sur, Norteamérica y Europa. Sin embargo, esto no quiere decir que no se hayan realizado estudios en otras latitudes del mundo como la Antártida o Groenlandia, aunque hay zonas que se han visto poco atendidas para la realización de estudios como lo es Centroamérica y el Caribe. Otros estudios señalan que en todo momento existen entre 4 y 5 ríos atmosféricos por hemisferio en todo el mundo (Zhu y Newell, 1998).

Los RA tienen una mayor ocurrencia en el invierno hemisférico correspondiente cuando los ciclones extratropicales y frentes fríos se presentan, periodo que va de noviembre a febrero para el hemisferio norte y de junio a agosto para el hemisferio sur. De acuerdo con el Center for Western Weather and Water Extremes (CW3E) de la Universidad de California en San Diego, los RA generalmente impactan la costa oeste de los Estados Unidos durante los meses de septiembre a marzo, mientras que las costas del norte los reciben a principios de otoño y en las latitudes del sur durante el invierno. En el estado de California los RA más importantes ocurren en diciembre, enero y febrero (invierno) mientras que en los meses de verano son escasos. Se han observado relación entre la llegada de RA provenientes del Golfo de México con inundaciones en el centro de los Estados Unidos (Moore *et al.*, 2012; Lavers and Villarini, 2013).

Figura 4. Frecuencia de RA a escala global (1997-2014)



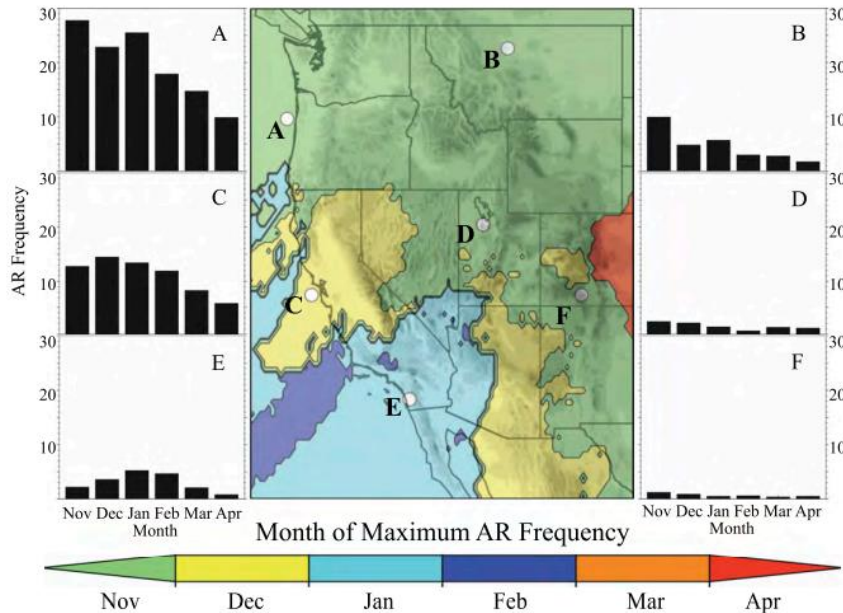
Fuente: Guan, B., Waliser D., y Ralph M., (2015, pag. 12,526). (a) "Frecuencia (días por año) de las llegadas a tierra de RA según todos los meses de 1997-2014. Los valores de frecuencia en días por año se obtuvieron multiplicando la fracción de los pasos de tiempo de 6 horas con las llegadas a tierra de AR (es decir, la probabilidad de que ocurra la llegada a tierra) por 365,2425. Las señales verdes indican los lugares con frecuencias notables de recaladas de RA seleccionados para el análisis en las figuras 8 y 8c." Traducción directa del pie de imagen del artículo citado.

La Figura 4 ilustra perfectamente cual es la posición geográfica y situación de México frente a la influencia oceánica para el impacto de RA, principalmente en las costas occidentales que están en la zona extratropical, aunque también se puede ver presencia a lo largo de casi toda la costa mexicana en ambos extremos litorales durante al menos un día al año entre 1997 a 2014. Esta figura demuestra que es necesario redoblar esfuerzos en el estudio de este tema ya que nuestro país se encuentra geográficamente en una zona de impacto e influencia de estos fenómenos, aunque no existan registros oficiales o sistemáticos de ellos.

Un estudio de Ralph publicado en 2013 expuso que las condiciones atmosféricas típicas de los RA duran alrededor de 20 horas en una zona de costa, al menos en los Estados Unidos de Norteamérica, mientras que otro estudio de Rutz, *et al.*, (2014) señala que la duración media es de 20 horas, pero varía entre las 18 y 25 horas de acuerdo con la proximidad a la costa, la estación del año y la latitud. La Figura 5, obtenida del mismo artículo, muestra una pequeña fracción del

territorio mexicano (Baja California y Sonora) que se encuentran identificados con mayor impacto de RA durante los meses de diciembre y enero, durante la época invernal.

Figura 5. Meses de máxima frecuencia de RA en California



Fuente: Rutz, J. J., Steenburgh, W. J., & Ralph, F. M., (Feb. 2014, pág. 912). "Mes de frecuencia máxima de RA basado en IVT250. Histogramas de la frecuencia de IVT250 AR por mes en ubicaciones costeras seleccionadas (izquierda) e interiores (derecha)."

La fuerza, frecuencia, ubicación e intensidad de precipitación de estos sistemas pueden variar según los patrones climáticos existentes. Estos se mueven respecto a la posición de otros sistemas atmosféricos, hallándose normalmente por delante de las vaguadas de latitudes medias. Se conoce que los RA que causan precipitaciones significativas e inundaciones son aquellos asociados con sistemas estancados o de movimiento lento y que se encuentran con mecanismos de ascenso orográfico (NOAA, 2015).

Se apunta también que la condición de El Niño aumenta la frecuencia de estos eventos, principalmente en regiones subtropicales y extratropicales como el Golfo de México y el Caribe (Guan, *et al.*, 2015) además de que no se descarta el

hecho de que con el aumento de la temperatura global por el Cambio Climático (CC) la frecuencia e intensidad aumenten (Corringham, *et al.*, 2019).

1.4 Escala de los ríos atmosféricos






Para identificar un RA se consideran dos parámetros principales, según Ralph, *et al.*, 2019; El transporte de vapor de agua integrado (IVT) y su duración en horas, siempre y cuando se mantengan las condiciones mínimas definidas de IVT ($IVT \geq 250 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$).

En 2019 el Dr. F. Martin Ralph director del Center for Western Weather and Water Extremes (CW3E) y un equipo de investigadores dirigido por la Institución Scripps de Oceanografía de la Universidad de California en San Diego creó una escala para caracterizar la fuerza y los impactos de los ríos atmosféricos.

La escala determina la intensidad de un RA basado en el transporte de vapor integrado (IVT) y sus impactos. En dicho estudio también se consideró la intensidad y duración de las tormentas, categorizando algunos registros históricos de años anteriores. El pronóstico de una escala para un RA puede cambiar si la duración y/o la intensidad cambia en una ubicación específica.

Esta escala numérica va del 1 al 5, y que se interpreta con los números más altos (4 o 5) que indican RA más intensos y con mayor probabilidad de ser peligrosos, que de acuerdo con registros históricos han producido inundaciones y deslizamientos de tierra. Los números más bajos (1 o 2) indican RA débiles, comúnmente beneficiosos que proporcionan lluvia y nieve necesarias en cantidades notables; en la escala numérica el 3 es un estado de balance entre ser beneficioso y peligroso y se describe como un estado de transición principalmente entre los de mayor y menor impacto.

Tabla 2. Escala para categorizar fuerza e impactos de ríos atmosféricos

Categoría	Color	Intensidad Rango IVT ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$)	Impacto
Débil		≥ 250 –500	Principalmente beneficioso
Moderado		≥ 500 –750 (transitorio)	Principalmente beneficioso, también peligroso
Fuerte		≥ 750 –1,000	Balance de beneficioso y peligroso
Extremo		$\geq 1,000$ –1,250	Principalmente peligroso, también beneficioso
Excepcional		$\geq 1,250$	Principalmente peligroso

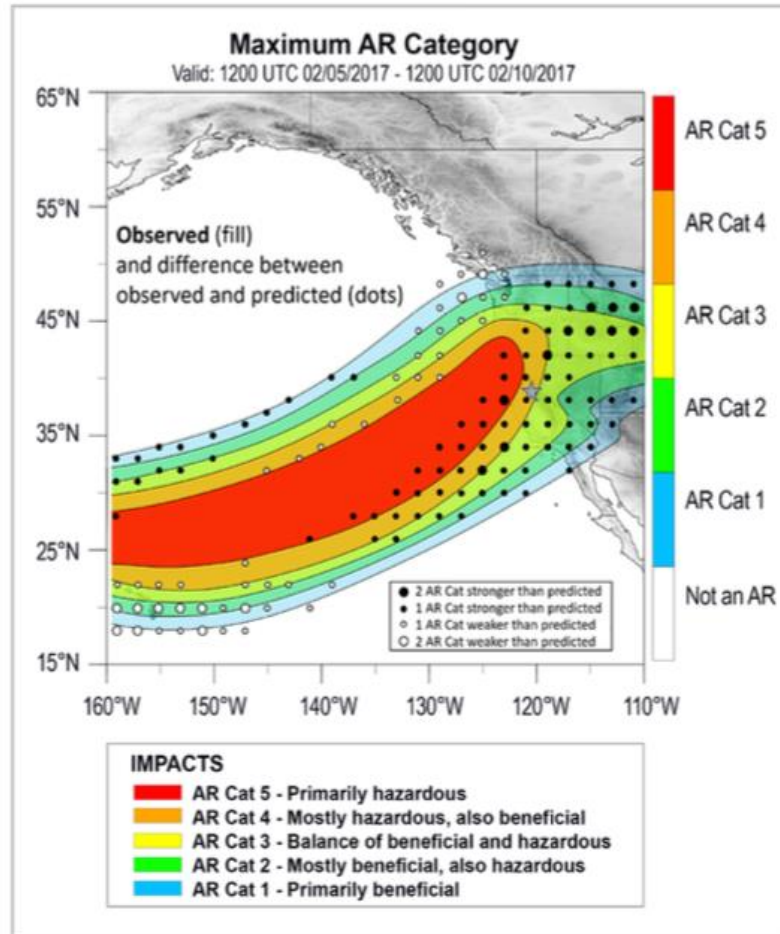
Fuente: Elaborado con base en “A Scale to Characterize the Strength and Impacts of Atmospheric Rivers²” (Ralph et al., 2019).

Por definición un RA tiene características de $\text{IVT} \geq 250 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ y 2.0 cm, pero pueden tener una amplia gama de valores en los reanálisis y radiosondeos realizados. Con base en observaciones y análisis de los RA que han tocado tierra en la costa oeste de los Estados Unidos, se han definido los umbrales de intensidad para la creación de una escala según el transporte de vapor de agua integrado (Tabla 2) (Ralph, *et al.*, 2019).

Se ha identificado que los impactos de precipitación están relacionados con la duración de un evento de río atmosférico. La escala de ríos atmosféricos utiliza una duración de 24 a 48 horas como norma, aunque algunos RA tendrán una duración más corta y otros más larga, así como el hecho de que los impactos de precipitaciones son sensibles a la duración (Ralph, *et al.*, 2013), los impactos hidrológicos de un RA se reducirán si su duración es menor a 24 horas, y aumenta si es superior a 48 horas (Ralph, *et al.*, 2019).

² Ralph, M., et al. (2019). A Scale to Characterize the Strength and Impacts of Atmospheric Rivers. *American Meteorological Society*, (100), 269 – 289 pp.

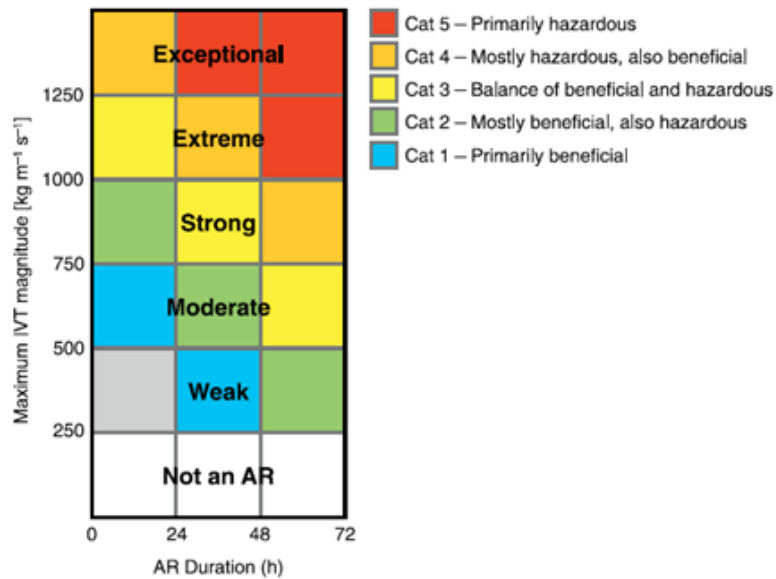
Figura 6. Condiciones de un evento de RA por categoría



Nota: Obtenida de "A Scale to Characterize the Strength and Impacts of Atmospheric Rivers" (Ralph *et al.*, 2019, pág. 275).

La Figura 6 muestra las condiciones de intensidad de un RA asociadas con un evento ocurrido en febrero de 2017 y la escala de categorización e impactos típicos asociados. La figura evidencia como se puede categorizar un evento exclusivamente considerando sus condiciones de humedad, que usualmente son más concentradas en el centro del evento, señalado en rojo.

Figura 7. Escala de categorización de ríos atmosféricos



Nota: “Una escala que categoriza los eventos de RA basada en el valor máximo instantáneo de IVT asociado con un periodo de condiciones de RA (IVT ≥ 250 – $500 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$) y la duración de las condiciones en un punto” (Ralph, et al., 2019; pág. 275).

La Figura 7 muestra la relación de la duración en horas de un RA y su valor máximo de transporte de vapor de agua integrado para categorizar los eventos. Resaltando que entre mayor sea la duración del evento y sus condiciones de humedad, mayor será la categoría del evento y sus impactos.

1.5 Impactos de los ríos atmosféricos

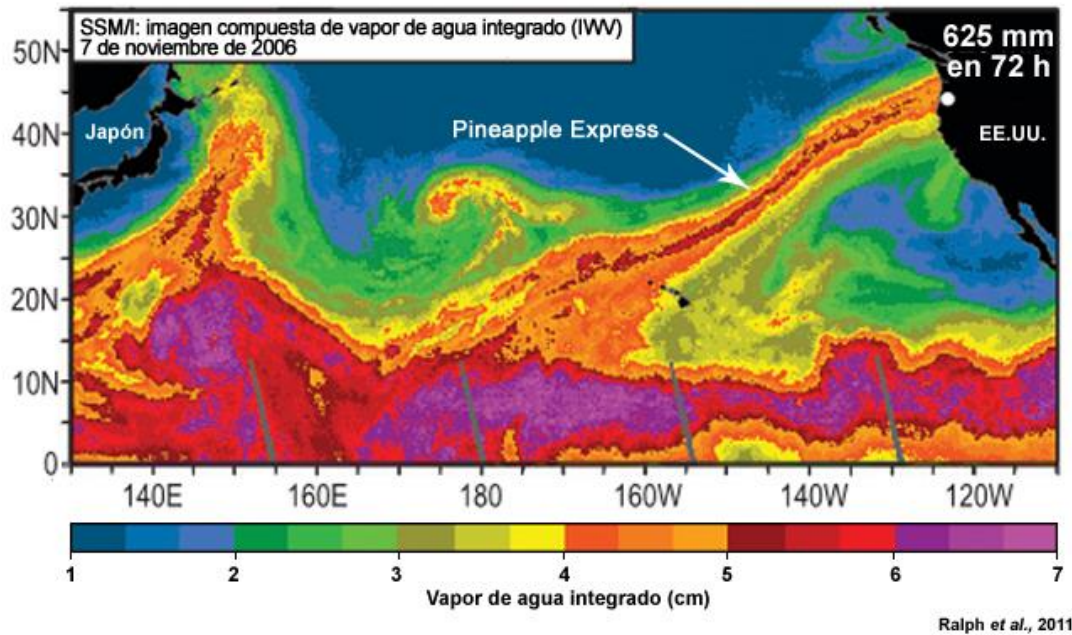
Los ríos atmosféricos juegan un papel importante en la distribución del agua con la generación de lluvia y nieve para algunos estados occidentales de Norteamérica. En Estados Unidos los ríos atmosféricos proporcionan hasta el 85% de las lluvias e inundaciones más intensas de la costa oeste (Ralph *et al.*, 2011).

Si tienen una duración de varios días producen grandes afectaciones, pero también contribuyen hasta con el 60% del suministro de agua de la región. El propósito de institutos de investigación como el CW3E es comunicar mejor los riesgos y beneficios potenciales que un RA puede traer al caracterizar su fuerza, duración e impactos potenciales en una ubicación específica.

El mejorar el monitoreo de estos eventos proporciona conocimiento crítico necesario para gestores, autoridades y operadores de embalses para mitigar los riesgos de grandes inundaciones, al mismo tiempo que se pueden aprovechar las precipitaciones como oportunidades para reducir las sequías e incendios.

En una investigación del Earth System Research Laboratories (ESRL) de la NOAA se usaron datos satelitales para mostrar que durante los inviernos de 1997 a 2016 hubo 217 días en los que los RA impactaron la costa de California (Ralph *et al.*, 2017), además de que las inundaciones, podrán tener mayores costos asociados con los impactos de eventos extremos, que de acuerdo con un reciente estudio de Corringham *et al.* (2019) se descubrió que las tormentas propiciadas con los RA causaron más del 90% de todos los daños por inundaciones en zonas de la costa de Oregón y California. Entre 1954 y 2017, California recibió 83 declaraciones de desastre presidenciales, de las cuales más de la mitad (48) estaban relacionadas con inundaciones. Los diez ríos atmosféricos más extremos causaron casi la mitad de todos los daños por inundaciones en el oeste entre 1978 y 2017, y con un costo cercano a los \$23 mil millones de dólares. En dicho estudio también los autores afirman que el calentamiento global ha intensificado las lluvias de los ríos atmosféricos habiendo indicios de esto respecto al calentamiento observado del Océano Pacífico (Corringham *et al.*, 2019).

Figura 8. Vapor de Agua Integrado (IWV) de un evento del 7 de noviembre de 2011



Fuente: Imagen de Vapor de Agua Integrado (IWV) del 7 de noviembre de 2006. Obtenida de Ralph et al., (2011: pág. 1193).

En la Figura 8 se muestra el Río Atmosférico conocido como el *Pineapple Express*, identificado como uno de los más intensos que parte desde las cercanías de Hawái hacia la costa oeste estadounidense. En este evento se registran valores de 40 a 55 mm, aunque en el Pacífico norte se observan valores típicos de 10 mm o menos y en el trópico los valores superan los 70 mm. A medida que el RA se extiende hacia el noreste su anchura disminuye.

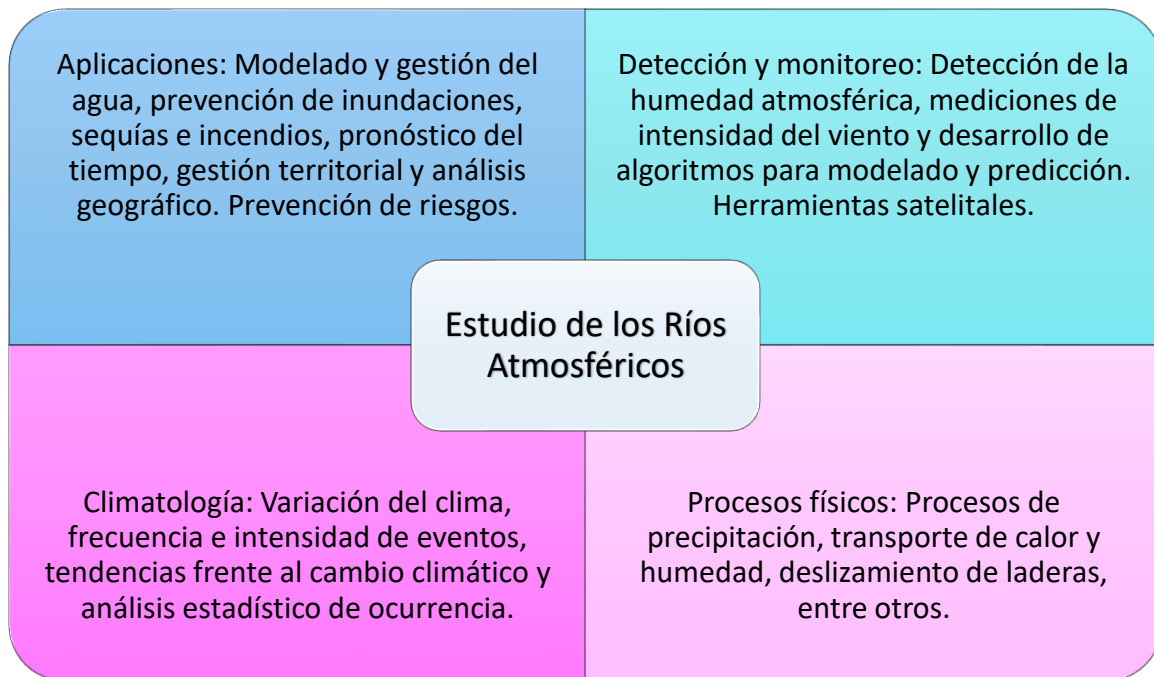
1.6 Herramientas de detección y estudio

Las imágenes satelitales son insumos útiles en el diagnóstico de ríos atmosféricos, las unidades principales de medición y detección son el vapor de agua integrado (IWV, por sus siglas en inglés), agua precipitable total (TPW) y el transporte integrado de vapor de agua (IVT). El IWV es detectado por satélites, en modelos numéricos y se calcula integrando verticalmente la humedad en la atmósfera. Las unidades son típicamente centímetros de agua líquida (la cantidad de agua que se formaría si todo el vapor en la atmósfera se condensará y cayera en la superficie).

El IVT se mide en modelos climáticos y meteorológicos o en observaciones de radiosondas, y se calcula integrando verticalmente la velocidad del viento y la humedad en la atmósfera en $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ (Ralph *et al.*, 2011).

Estas variables al utilizarse en conjunto con modelos numéricos permiten un pronóstico detallado sobre la magnitud, ocurrencia y el lugar de impacto de los ríos atmosféricos. El desarrollo de algoritmos basados en el transporte integrado de vapor de agua ha sido útil para identificar automáticamente estos sistemas en los datos satelitales (Zhu y Newell, 1998). El IVT es la variable que se utiliza con mayor frecuencia para describir la intensidad de un río atmosférico.

Figura 9. Estudio de los ríos atmosféricos



Fuente: Elaboración propia con base en información de página web de GHRC DAAC- NASA. <https://ghrc.nsstc.nasa.gov/home/micro-articles/atmospheric-rivers>.







La Figura 9 expresa las aplicaciones, la detección y monitoreo de ríos atmosféricos, así como los estudios relacionados con la climatología y procesos físicos relacionados según sus áreas de aplicación.

La identificación mediante datos satelitales o modelos en los que se buscan corredores que tengan más de 2,000 km (1,245 millas) de largo y menos de 1,000 km (620 millas) de ancho que tengan al menos 2 cm (0,78 pulgadas) de agua precipitable integrada verticalmente. Cuando un río atmosférico toca tierra son necesarios otros instrumentos y métodos para su seguimiento, como los perfiladores de viento que a menudo se usan para medir las condiciones del viento horizontal en diferentes elevaciones e identificar áreas con fuertes vientos de bajo nivel, así como pluviógrafos y radiosondas para identificar el contenido de precipitación y velocidad del viento con estaciones meteorológicas terrestres (Ralph *et al.*, 2011).

Es importante contar con la magnitud, evolución y propagación de los ríos atmosféricos para dar un pronóstico integral de precipitaciones máximas que pueden afectar a una región tiempo antes de que impacten en el continente.

El CW3E señala que, en el caso estadounidense, cuando un río atmosférico toca tierra por lo general la lluvia más fuerte se produce en el núcleo estrecho del RA. Una vez que toca tierra se desplazan mientras van debilitándose, dejando una amplia franja de precipitación, siendo común que deposite la precipitación máxima cerca de su aterrizaje inicial, con precipitaciones posteriores cada vez menos importantes hasta que finalmente se disipa (Ralph *et al.*, 2019).

Figura 10. Plataformas e instrumentos de detección de RA

GHRC Lightning Instruments			
INSTRUMENTO	PLATAFORMA	TIPO DE PLATAFORMA	APLICACIÓN
Radiómetro avanzado de precipitación por microondas (AMPR)	ER-2	 Aerotransportado	<ul style="list-style-type: none"> Vapor de agua atmosférico Intensidad de precipitación Composición de la nube Velocidad y dirección del viento
Sensor especial de imágenes de microondas (SSM / I)	DMSP F8 DMSP F10 DMSP F11 DMSP F13 DMSP F14 DMSP F15	 Espacial	<ul style="list-style-type: none"> Vapor de agua atmosférico Velocidades del viento oceánico Agua líquida en la nube Intensidad de precipitación Cubierta de nieve y contenido de agua. Cubierta y tipo de hielo marino
Sensor Especial de Imágenes de Microondas / Sonda (SSMIS)	DMSP F16 DMSP F17	 Espacial	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura atmosférica Vapor de agua atmosférico Composición de la nube Velocidades del viento oceánico Intensidad de precipitación Cubierta de nieve y contenido de agua Cubierta y tipo de hielo marino
Tierra-atmósfera capacidad casi en tiempo real para los sistemas de observación de la Tierra (LANCE) Radiómetro avanzado de escaneo por microondas 2 (AMSR-2)	GCOM-W1	 Espacial	<ul style="list-style-type: none"> Vapor de agua atmosférico Velocidades del viento oceánico Intensidad de precipitación La humedad del suelo Temperatura superficial terrestre/marina Cubierta de nieve y contenido de agua. Cubierta y tipo de hielo marino
Pluviómetros	Estación de tierra	 Terrestre	<ul style="list-style-type: none"> Totales de precipitación
Radares	Estación de tierra	 Terrestre	<ul style="list-style-type: none"> Intensidad de precipitación y tipo Dirección y velocidad del viento en la superficie

Nota: Adaptado de GHRC. NSSTC. NASA. (2019). *Atmospheric Rivers*. Obtenida de: <https://ghrc.nsstc.nasa.gov/home/micro-articles/atmospheric-rivers>

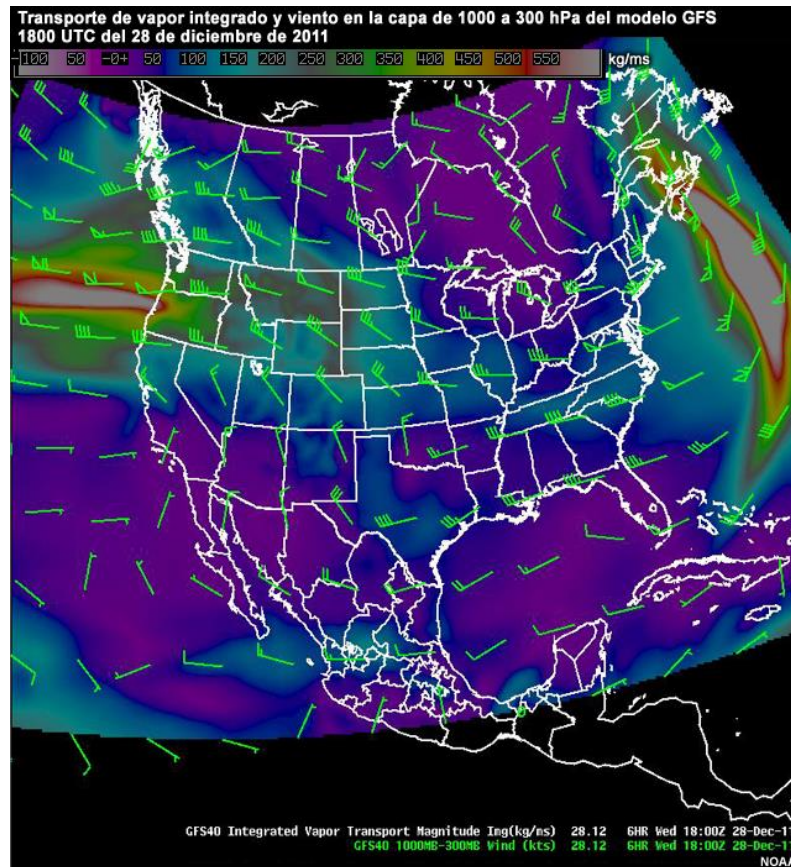
La Figura 10 muestra las plataformas, instrumentos y aplicaciones de detección de RA que utiliza el Global Hydrology Resource Center (GHRC) de la NOAA.

1.6.1 Identificación satelital de estructuras de RA

Los ríos atmosféricos se concentran en largos y estrechos corredores, estos pueden visualizarse verticalmente entre los 300 y 1000 hPa en una imagen de *Transporte de Vapor de agua Integrado (IVT; Neiman et al., 2008)*.

El vapor de agua integrado (IWV) o agua total precipitable (TPW) son términos usados para conocer el vapor de agua atmosférico total contenido en una columna vertical desde la superficie de la Tierra hasta la parte superior de la atmósfera (Ruckstuhl *et al.*, 2007).

Figura 11. Transporte de vapor de agua integrado y viento (28 de diciembre de 2011)

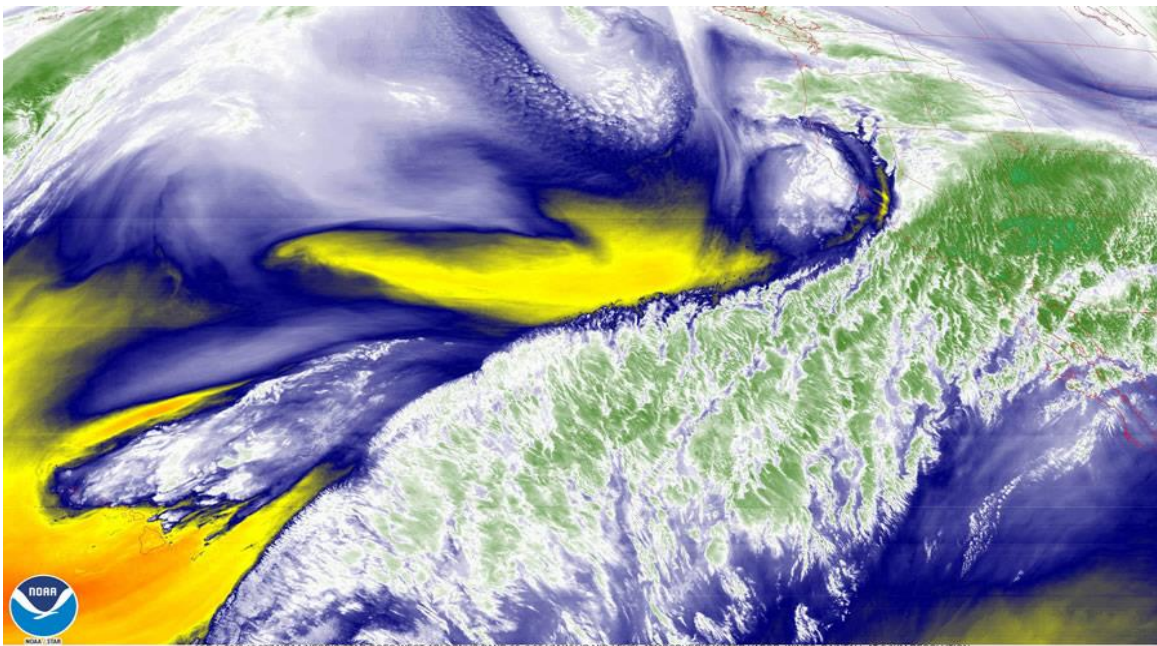


Fuente: NOAA²

La Figura 11 muestra el producto de IVT y barbas de viento en la capa de 1000-300 hPa del modelo GFS para el 28 de diciembre de 2011. Se aprecian dos áreas de vapor de agua integrado de valores muy altos: de oeste a este junto a la costa de Oregón y de sur a norte hacia Nueva Escocia.

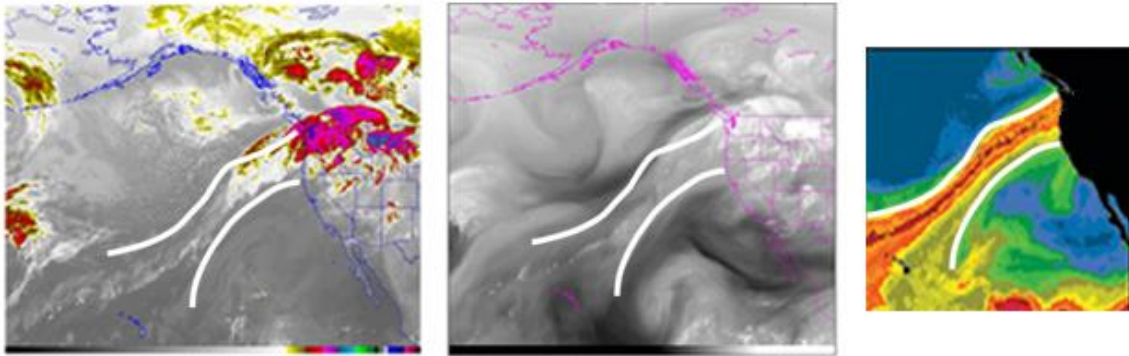
Los satélites GOES están equipados con un instrumento llamado Advanced Baseline Imagen (ABI) que brinda una mejor detección y monitoreo de RA. ABI proporciona imágenes de alta resolución en 16 canales espectrales cada cinco minutos en escalas regionales. Existen tres canales que proporcionan información sobre el vapor de agua atmosférico, entre estos el canal de vapor de agua de “troposfera de nivel medio” (Banda ABI 9, centrada en 6.9 micrómetros) es particularmente útil para observar interacciones de masa de aire y corrientes de chorro.

Figura 12. Producto satelital de vapor de agua en la banda 9 de ABI GOES-17 West (NOAA) del 14 de febrero de 2019



Nota: Imagen de vapor de agua de la banda 9 ABI del GOES West (GOES-17) del 14 de febrero de 2019, muestra un RA que afecta a California a las casi 11:40 am. Los rojos y amarillos representan los valores más cálidos, mientras que los blancos y verdes los más fríos de las masas de aire (NOAA / STAR).

Figura 13. Productos satelitales que muestran imagen infrarroja, vapor de agua y agua precipitable total para detección de RA del 7 de noviembre de 2006



NOAA/Ralph et al., 2011

Nota: Se muestra a) una imagen infrarroja del satélite; b) una imagen de vapor de agua del satélite y c) el producto agua precipitable total (TPW) sobre el océano Pacífico el 7 de noviembre de 2006. En todas las imágenes se identifica el umbral de 20 mm de la imagen de TPW. Fuente: NOAA/Ralph et al., 2011.

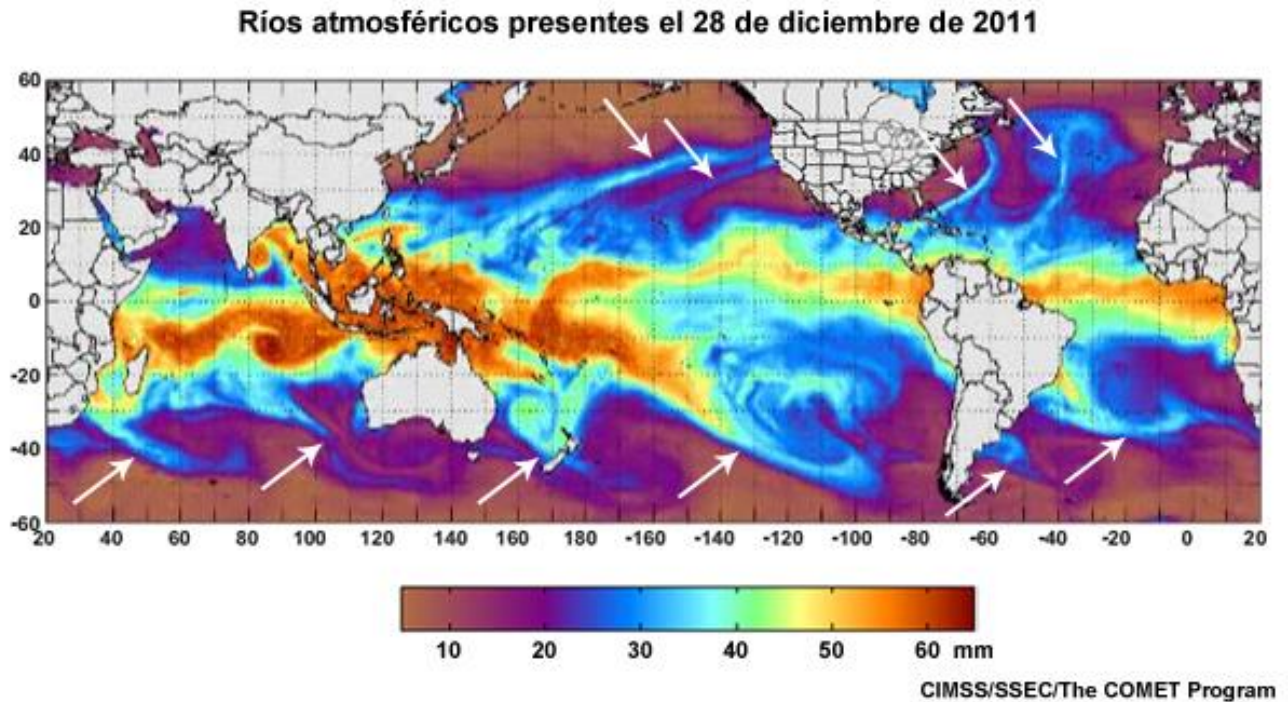
Las Figuras 12 y 13 son ejemplos de productos satelitales usados para la identificación de ríos atmosféricos según el IVT, TPW o Vapor de Agua detectable.

Existen insumos para monitorear ríos atmosféricos que están disponibles combinando múltiples canales ABI, como el producto de *Agua Precipitable Total (TPW)* que combina varios canales infrarrojos ABI para recuperar los perfiles de humedad atmosférica y representa la humedad total integrada en la columna atmosférica desde la superficie hasta la parte superior de la atmósfera; así mismo el *vapor de agua integrado (I WV)* que se deriva satelitalmente.

Estas variables, junto con modelos numéricos, como el GFS, y los productos satelitales, permiten determinar detalles sobre el lugar donde habrá impactos de los ríos atmosféricos (UCAR, 2017).

Los productos satelitales MIMIC-TPW v.2 de agua total precipitable (TPW) del CIMSS son recomendables para identificar las bandas de humedad atmosférica y su circulación, ya que como se muestra en la Figura 13 se clarifican por sobre otros productos satelitales, aunque es conveniente corroborar la información con otros instrumentos satelitales y de superficie.

Figura 14. Agua precipitable Total (TPW) global del 28 de diciembre de 2011

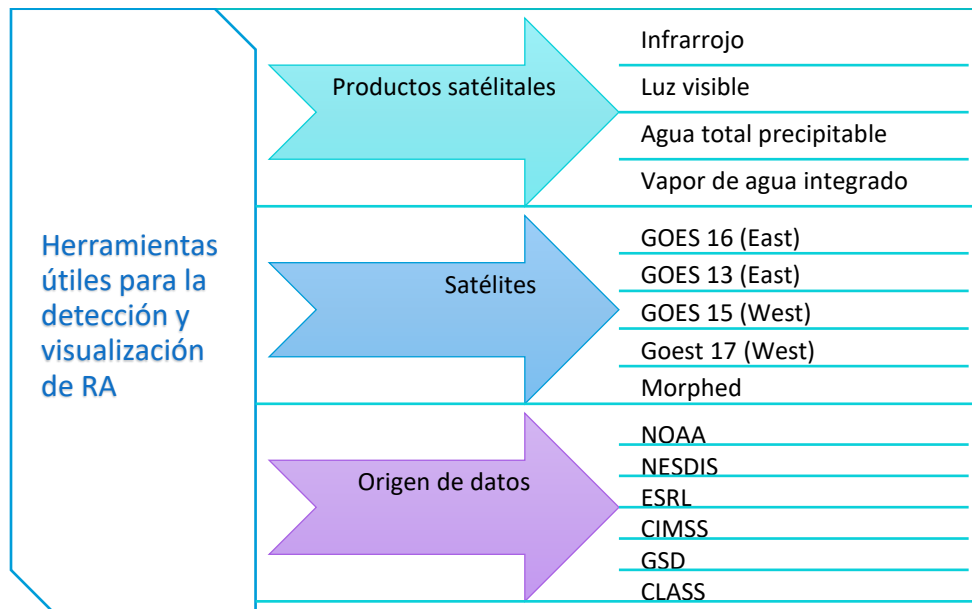


Fuente: CIMSS/SSEC/The COMET Program. Imagen de agua total precipitable (TPW) que muestra todos los ríos atmosféricos presentes el 28 de diciembre de 2011.

La Figura 14 ejemplifica que los ríos atmosféricos son fácilmente identificables con los productos satelitales adecuados según la finalidad de la investigación que se esté realizando. En ese caso con una imagen de agua total precipitable (TPW) que muestra todos los ríos atmosféricos presentes el 28 de diciembre de 2011 en ambos hemisferios. Lo que demuestra que pueden existir ríos atmosféricos en diversas latitudes del planeta, simultáneamente.

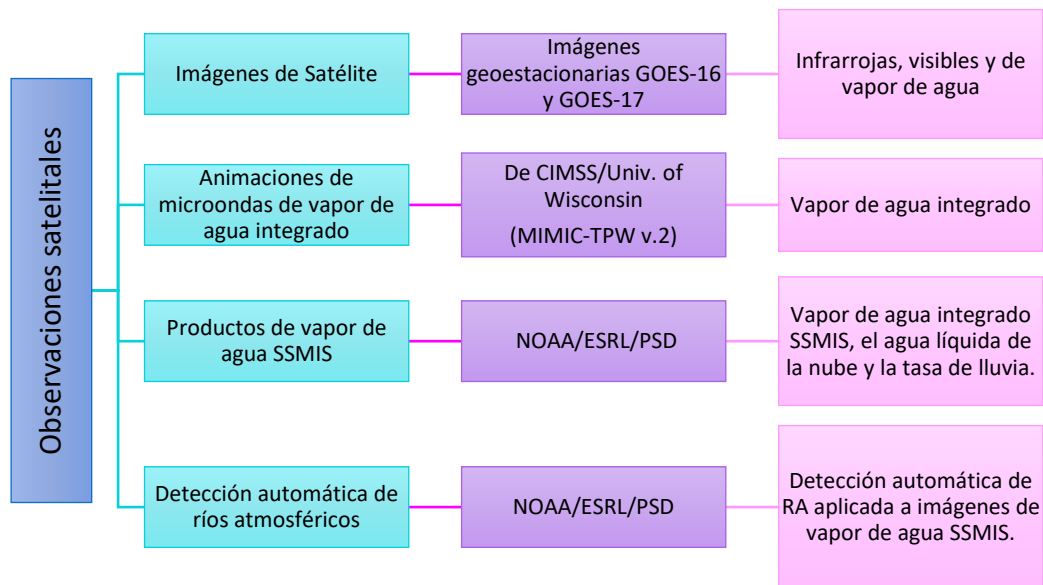
A continuación, se presenta una síntesis de los productos satelitales desde los que se pueden identificar los RA (Figura 15 y Figura 16).

Figura 15. Herramientas útiles para la detección y visualización de RA



Nota: Elaboración propia con base en sitios oficiales de visualización de Imágenes Satelitales de la NOAA, CW3E, CIMSS, ESRL.

Figura 16. Observaciones satelitales para RA



Nota: Elaboración propia con base en información del sitio web <https://cw3e.ucsd.edu> del CW3E.

Por su parte, el Center for Western Weather and Water Extremes (CW3E) en su sitio web (<https://cw3e.ucsd.edu>) pone a disposición pública una serie de

instrumentos y enlaces web útiles de observación para identificar RA en las costas del oeste de Estados Unidos y que algunos, tienen escala global para su reconocimiento.

Igualmente, está disponible una serie de herramientas de pronóstico de RA, transporte de vapor de agua integrado y agua precipitable total que permiten identificar las condiciones vigentes para la costa oeste de Estados Unidos, América del Norte y Atlántico Norte.

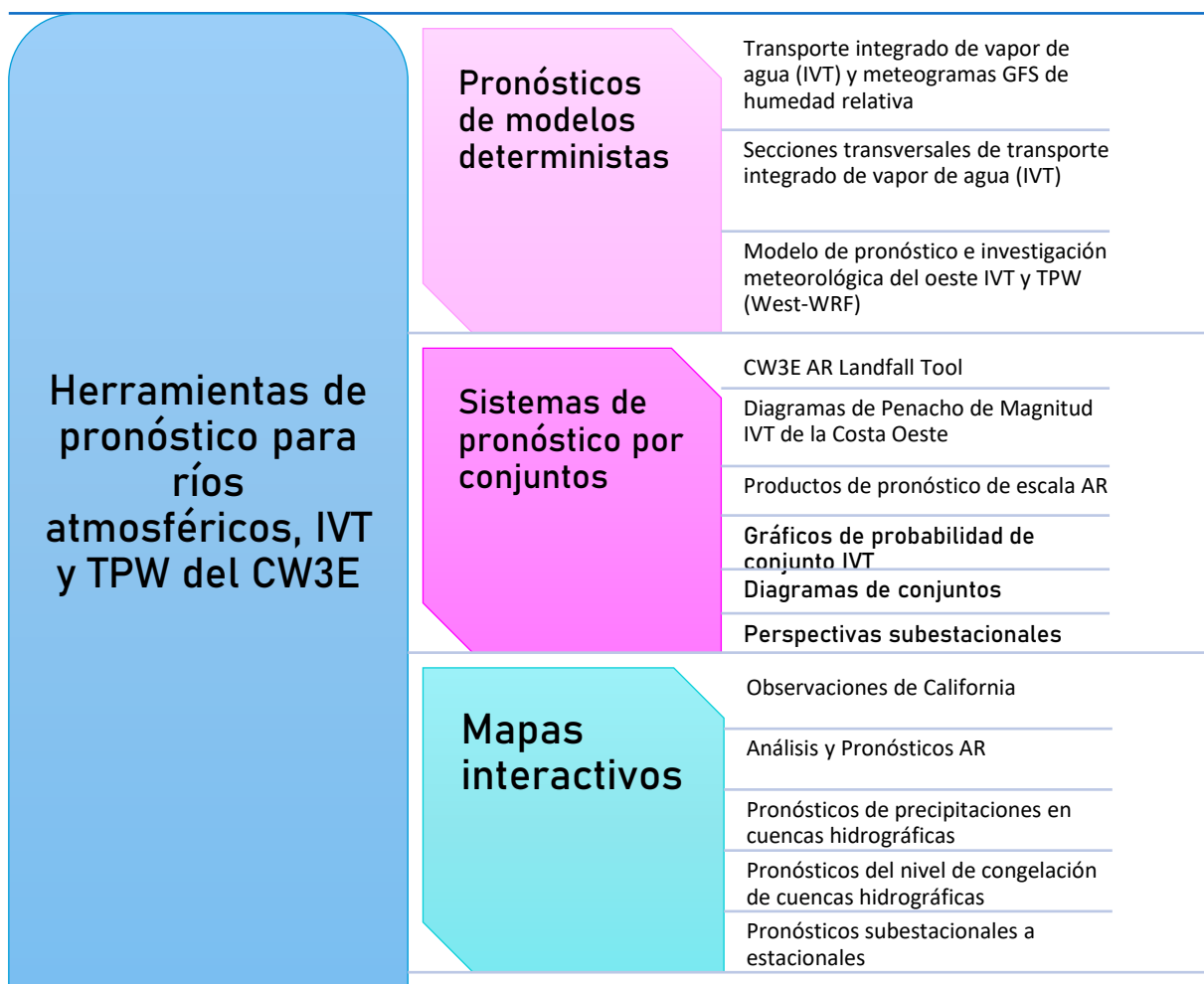


Figura 17. Herramientas de Pronóstico para RA, IVT y TPW del CW3E

Nota: Elaboración propia con base en información del sitio web <https://cw3e.ucsd.edu> del CW3E.

La Figura 17 presenta los productos satelitales que se pueden consultar en el sitio web del centro de investigación.

1.6.1.1. Discusión sobre algoritmos de detección

Actualmente, existe más de una docena de algoritmos y métodos numéricos para la detección de RA que varían según los rangos de valores y objetivos perseguidos. Las fuentes de humedad que alimentan a un RA son principalmente la convergencia local de humedad y la humedad tropical, esta última proviene de regiones tropicales mediante el mecanismo de movimientos de transporte de humedad por los campos de vientos presentes en la atmosfera planetaria (Eiras, 2018).

Como se había mencionado anteriormente, el desarrollo de algoritmos basados en el transporte integrado de vapor de agua (IVT) ha sido útil para la identificación de las estructuras en productos satelitales, aunque no es la única variable considerada de diagnóstico. Eiras (2018) clasifica las metodologías y algoritmos de detección con base en los siguientes parámetros:

- Variable de diagnóstico: IWV o IVT.
- Condiciones longitudinales: 2000 km.
- Condiciones de coherencia del campo.
- Condiciones de persistencia temporal del río atmosférico.
- Condiciones de umbral en las variables de diagnóstico.
- Condiciones latitudinales impuestas en el río atmosférico.

Estos algoritmos varían de estudio en estudio a la falta de consenso sobre los valores, haciendo que la programación de estos sea subjetiva de acuerdo con el criterio de cada investigador. Para su detección se consideran los parámetros primeros del listado anterior dentro de algoritmos de identificación sobre los campos de flujo de vapor de agua (IVT), otros sobre los campos de vapor de agua (IWT) o agua total precipitable (TPW), aunque existen otros algoritmos que exigen que el RA se defina sobre ambas variables.

En el estudio *The detection of atmospheric rivers in atmospheric reanalyses and their links to British winter floods and the large-scale climatic circulation* de Lavers (2011) se propone un algoritmo de identificación de RA, donde la estructura

debe de superar un umbral fijo (espacial y temporal) de la variable de flujo de vapor de agua (IVT) en más de 2000 km de longitud, esto se realiza metodológicamente ubicando los valores máximos de dicha variable respecto a sus vecinos más próximos.

En el año 2015 Eiras y colaboradores propusieron modificaciones a dicho algoritmo, ahí se consideran ambas variables: IVT y IWV, pero se condicionan sobre el percentil 85 que los puntos deben de superar, aunque varía de acuerdo con cada mes del año y su ubicación.

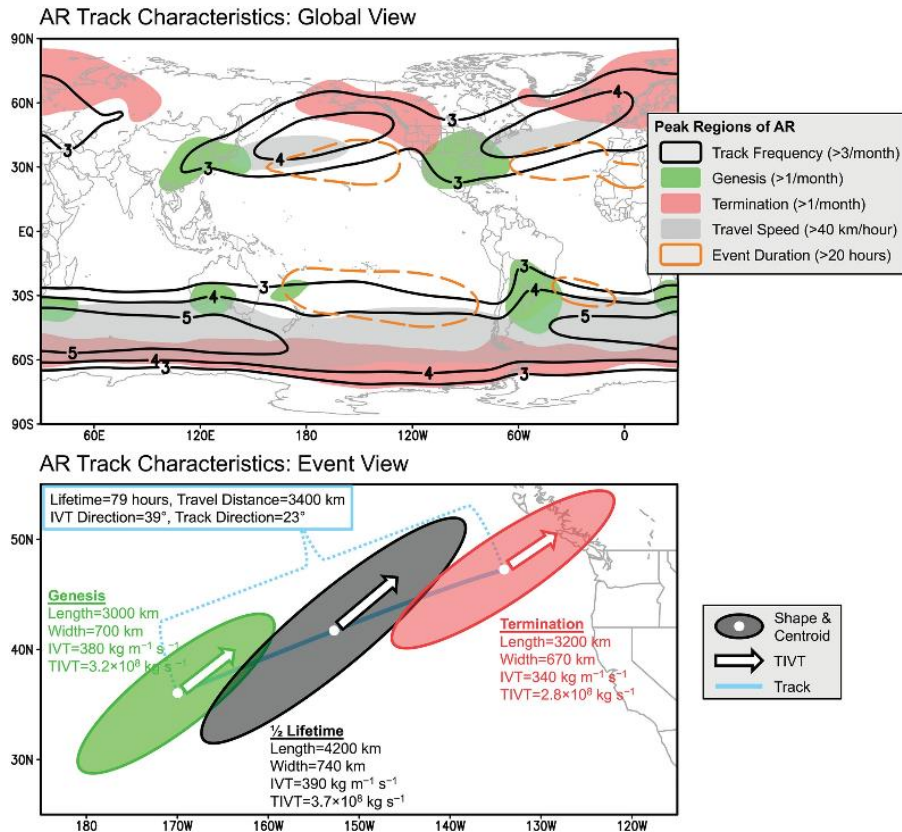
Uno de los objetivos del artículo *Impacto Meteorológico de los ríos atmosféricos en las Precipitaciones Anómalas de Galicia* de Eiras *et al.* (2015); fue analizar el impacto meteorológico de las estructuras de ríos atmosféricos sobre Galicia, España por medio del estudio de su influencia sobre las precipitaciones anómalas a lo largo del periodo 1979 – 2017, además de obtener el porcentaje de eventos de precipitación anómala en coincidencia con la presencia de un RA, así como el porcentaje de estos en la región.

Los resultados de dicho estudio concluyeron en la presentación de mapas de coincidencia que demuestran que, para algunos puntos y meses del año, tan solo el 20% de los RA detectados sobre Galicia producen precipitaciones anómalas con predominancia durante el invierno.

El estudio “Tracking Atmospheric Rivers Globally: Spatial Distributions and Temporal Evolution of Life Cycle Characteristics” presentado en 2019 por Guan y Waliser, aborda sobre algunas de las mejoras implementadas en el algoritmo tARget, que agrega la capacidad de rastrear los ciclos de vida de los RA a nivel mundial. Este algoritmo se considera como uno de los pocos algoritmos de detección de RA global validados y revisados por pares actualmente disponibles que ha sido vital para la realización de diferentes trabajos a nivel internacional. Este estudio brindó resultados sobre la climatología de los RA a nivel global, que comprendía su distribución espacial, evolución temporal y estacionalidad, así como

analizar el ciclo de vida de los RA. Entre los resultados gráficos que se presentan, resalta la identificación de zona de génesis y terminación de RA las costas occidentales de América del Norte.

Figura 18. Características del ciclo de vida de un RA

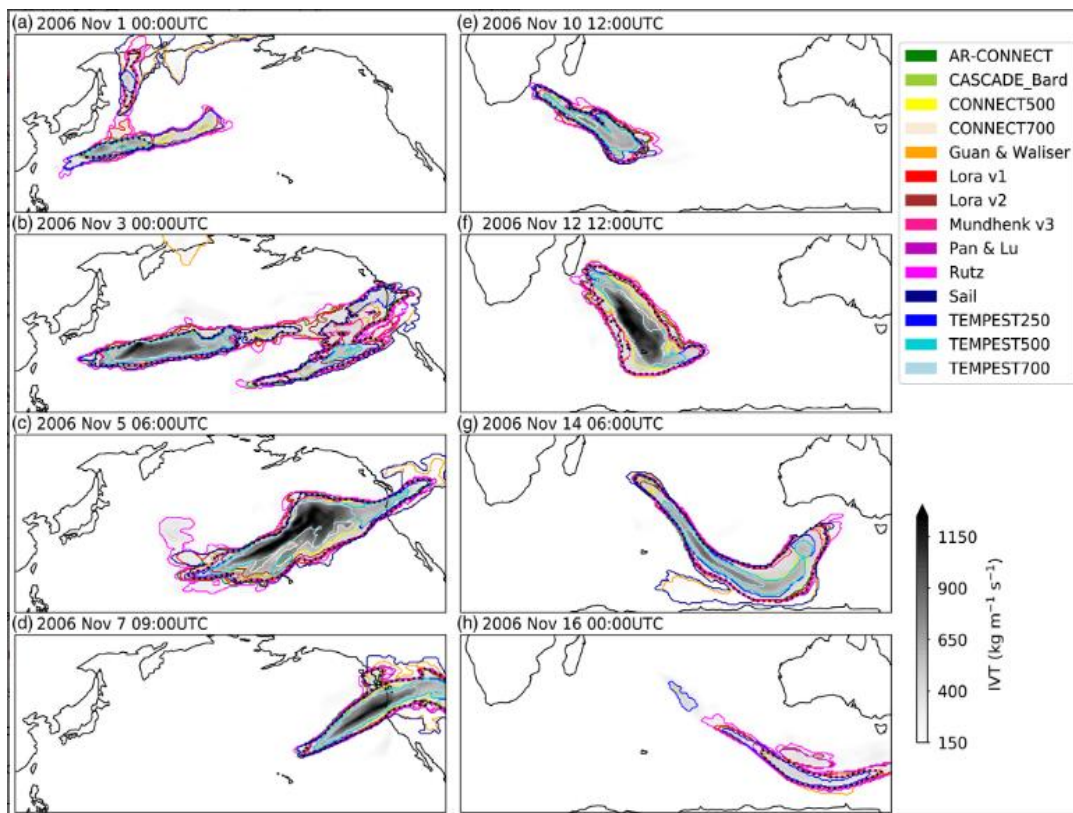


Nota: "Características del ciclo de vida de los AR rastreados por el algoritmo tARget. Figura obtenida de Guan y Waliser (2019; pág. 12,546).

La Figura 18 muestra la distribución espacial de la climatología a largo plazo. Se aplicó suavizado para resaltar las características más pronunciadas (abajo), evolución temporal de un ciclo de vida AR típico/compuesto, las ubicaciones de los centroides AR (puntos blancos) y la trayectoria (curva azul claro) se determinan propagando un centroide AR desde un punto de inicio arbitrario (aquí, 170° O, 36°N) hacia adelante en el tiempo en función de la velocidad/dirección de viaje compuesta en cada etapa de su ciclo de vida. Los resultados se basan en ~126 000 pistas AR en el reanálisis MERRA-2 de la NASA durante 1980–2017 (Guan y Waliser, 2019).

En el artículo de Lora, *et al.* (2020) “Consensus and disagreement in atmospheric river detection: ARTMIP global catalogues” se exploran catorce métodos algorítmicos diferentes aplicados al mismo conjunto de datos estadísticos de más de 35 años, así como dos casos de estudio específicos, con el objetivo de comprender mejor el consenso o desacuerdo resultante sobre la ocurrencia de RA. Se encontró que la mayoría de los métodos tienden a concordar cuantitativamente al detectar características moderadas y fuertes en las que el transporte de vapor de agua es alto.

Figura 19. Evolución de las detecciones de IVT y RA según diferentes algoritmos.



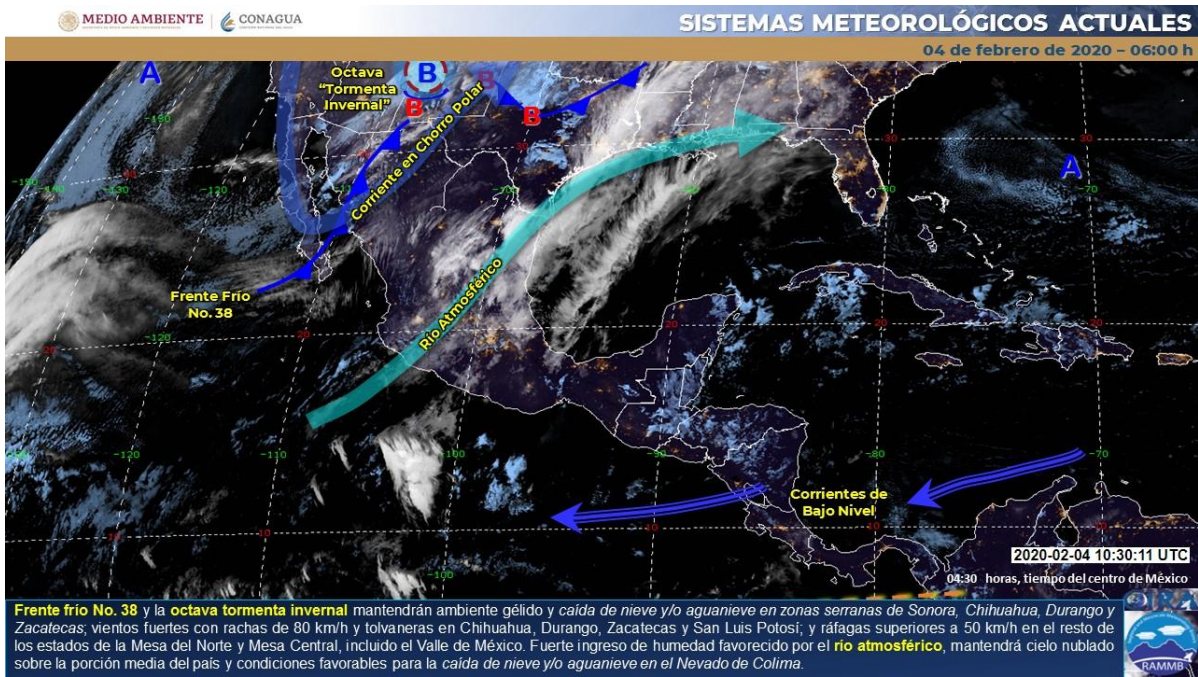
Nota: “Instantáneas de la evolución de las detecciones de IVT y RA en dos regiones en noviembre de 2006. (a–d) Evolución de AR en el Pacífico Norte en el transcurso de una semana. (e–h) Evolución de un RA del Océano Índico Sur en el transcurso de una semana. Magnitud IVT en escala de grises, detecciones individuales en contornos coloreados. Los contornos negros punteados muestran los AR de consenso mayoritario. Tenga en cuenta que el IVT y las detecciones fuera de la función de interés están enmascaradas” Fuente: De Lora et al., (2020; pág. 6).

Capítulo 2. Identificación de Ríos Atmosféricos en México

En México existen escasos estudios y conocimiento general respecto a los ríos atmosféricos, situación visible y comprobable, ya que no ha sido sino que hasta hace apenas el año 2019 que se comenzó a usar este término dentro de *El Reporte del Clima en México* del Servicio Meteorológico Nacional en el reporte anual de 2019, que lo define como “región larga y estrecha en la atmósfera que es responsable de la mayor parte del transporte horizontal de vapor de agua fuera de los trópicos, generalmente produce fuertes precipitaciones en zonas extensas” (SMN, 2020): pág. 15). En la misma publicación se hace mención por tal vez primera ocasión de un evento en México, que tuvo lugar del 26 al 29 de noviembre de 2019 y que estuvo asociado a dos frentes fríos de la temporada, generando precipitaciones intensas en diversos estados del noroeste del país e inundaciones.

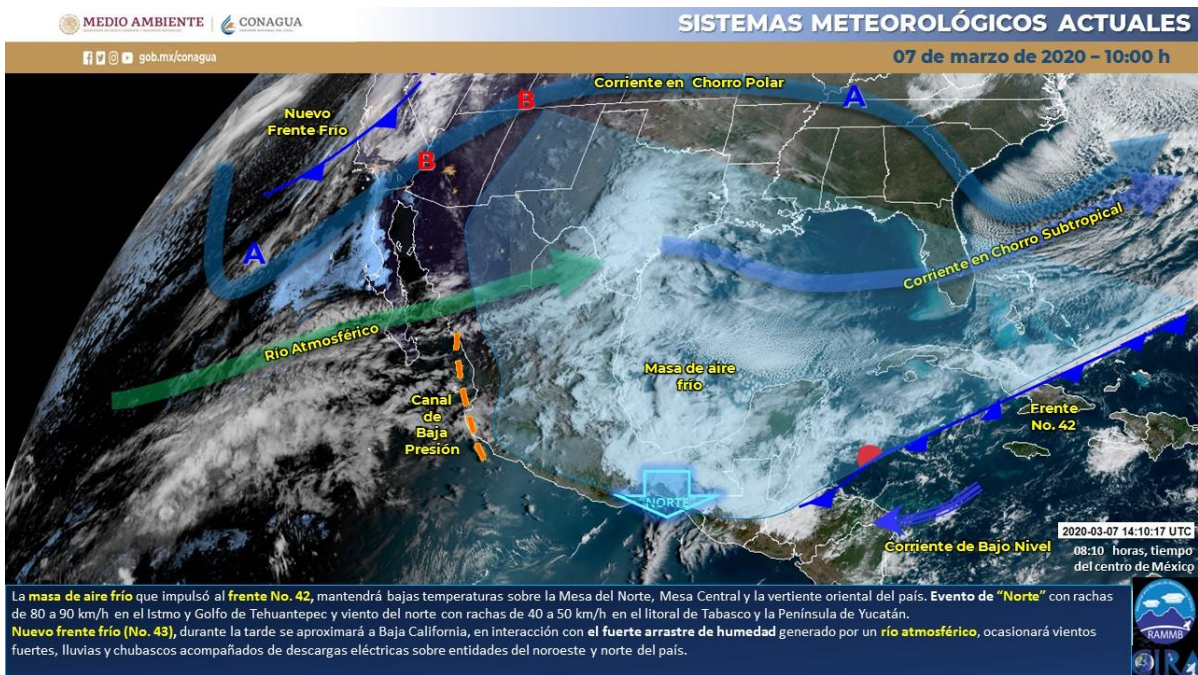
Un año más tarde, en el reporte anual de 2020 del SMN, también se destaca como evento notable un RA durante el 7 de marzo, pero que según el reporte no fue hasta el día 11 de marzo que interaccionando con un frente frío de la temporada 2019-2020 produjo precipitaciones intensas en Baja California Sur y Sonora. Cabe enfatizar que en el reporte se señala como “El único evento de río atmosférico que se registró durante el año 2020” (SMN, 2021: pág. 80) pero que durante el 2020, el 4 de febrero en la imagen satelital interpretada y emitida por el SMN de las 6:00 horas se señaló también la presencia de un Río Atmosférico sobre territorio nacional, sin embargo, no fue contemplado como otros en el reporte anual como evento destacable. Esto puede denotar incongruencia entre las imágenes interpretadas que señalan los RA, los registros y los eventos notables reportados de dicho año.

Figura 20. Imagen interpretada del SMN del día 4 de febrero de 2020.



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (2020).

Figura 21. Imagen interpretada del SMN del día 7 de marzo de 2020.



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (2020).

Adicionalmente, para el siguiente año en el reporte anual de 2021 ya no se reportó ningún evento notable o RA, aunque se dejó la definición de este en el glosario de la publicación. Complementariamente, mediante el seguimiento de estos eventos durante la realización de la presente investigación, se reconoció que en 2022 el SMN no emitió algún aviso o alerta sobre RA, y se dejó de identificarlo en las imágenes satelitales interpretadas diarias, incluso durante la época invernal. Se desconoce las razones y los criterios de definición y detección de las estructuras de RA y por qué no fueron considerados en los reportes o productos satelitales del SMN. Más adelante se presentará un análisis de estos eventos detectados por el SMN según los boletines emitidos por el CW3E de pronóstico de RA y productos de IVT de CIMSS.

Por otro lado, en 2021 González-Hita *et al* publicaron un artículo en la *International Journal of Hydrology* con título "Isotopic composition of rainfall in Baja California Sur, México" expone los resultados de un estudio de la composición isotópica de la lluvia³ en dicho estado con datos de 2018 a 2021. Dicho estudio es relevante porque describe que entre los componentes climáticos y meteorológicos de la zona de estudio están los ríos atmosféricos, además de describirlos brevemente según los autores ya aquí citados previamente. El estudio registra también datos de lluvia de una estación pluviométrica en Loreto, Baja California Sur de un evento de RA ocurrido el 21 de enero de 2021 con una precipitación de 8.38 mm, diferenciando dicha precipitación de otros eventos o sistemas como sistemas tropicales, lluvias invernales, huracanes y lluvia monzónica también analizados en dicho estudio, destacando que:

Cuando la humedad de los AR interactúa con los frentes fríos en Baja California Sur, produce precipitaciones con una fuerte relación isotópica debido a la incipiente lluvia. La interacción de la humedad de un río

atmosférico con un frente frío, en enero de 2021, produjo lluvias en el noroeste de la República Mexicana. (González-Hita *et al.*, 2021; pág. 98).

Se desconoce cuáles fueron los criterios para definir al RA, pero el estudio demuestra un gran avance al definirlo y considerarlos como parte de la climatología del noroeste del país.

En 2022 Martínez-Claros *et al* publicaron el artículo “Vorticity and Thermodynamics in a Gulf of Mexico Atmospheric River” en la revista *ATMOSFERA* que aborda a profundidad la interacción de la humedad tropical en el Golfo de México con un posible río atmosférico basándose en datos de sondas lanzadas desde aviones. Sin embargo, en las conclusiones del mismo artículo se señala que:

La estructura del flujo cerca de los trópicos no está de acuerdo con algunos de los requisitos de apariencia de un río atmosférico, particularmente debido a la ausencia de un flujo de humedad de bajo nivel a lo largo del sistema en esta región. (Martínez-Claros, *et al.*, 2022: pág. 284).

Se propone una forma o idea de estructurar un río atmosférico, pero que presenta vorticidad, que rompe con la definición de un flujo de humedad horizontal y que se presenta en regiones tropicales. La anterior revisión bibliográfica demuestra que existen indicios y propuestas para la identificación de ríos atmosféricos en México, pero que, al no existir una definición consensuada, oficial y clara sobre estos eventos a nivel nacional, resulta complejo comprender su origen, evolución e impactos en territorio nacional. A falta de consenso en la definición, se da una identificación arbitraria y falta de registros suficientes. Cabe mencionar que la presente investigación busca apoyar en la clarificación y reconocimiento de estos fenómenos en México, para que sean mejor comprendidos y estudiados.

2.1 Los Ríos Atmosféricos en México

La identificación de ríos atmosféricos se dio a partir de informes de pronóstico y boletines emitidos por el Center for Western Weather and Water Extremes (CW3E) de la Universidad de California y su posterior análisis por medio de productos satelitales de transporte de vapor de agua integrado (IVT) y agua precipitable total (TPW) generados por el Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS) de la Universidad de Wisconsin. Después de un análisis espaciotemporal de la precipitación acumulada diaria obtenida de la base de datos de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) se conformó una base de datos. Se identificaron un total de 31 posibles eventos de ríos atmosféricos en el país durante el periodo estudiado que comprende los meses de octubre a abril de 2016 a 2021.

Posteriormente, se realizó una búsqueda hemerográfica en revistas, periódicos y sitios web que informaran sobre impactos generados de tipo hidrometeorológico. La información obtenida se plasmó en fichas de identificación de RA, en las que se presentan de manera sintética la duración del evento, distribución espacial de la precipitación y los impactos reportados por medios locales durante los días identificados (Ver anexos).

Se identificaron 31 casos de ríos atmosféricos en territorio nacional, cabe mencionar que los boletines que emite el CW3E son para las costas del oeste de Estados Unidos, por lo tanto, los casos detectados son particularmente para la región de la Península de Baja California y costas del Pacífico.

2.1.1 Descripción general de duración, estacionalidad, distribución espacial e intensidad de la precipitación de RA en México

Tabla 3. Duración, Estacionalidad e Intensidad por Evento de RA en México

Duración, Estacionalidad e Intensidad por Evento de RA					
No. Caso	Fecha del Evento	Estación	Días de Duración	Precipitación Total Acumulada Estimada	Intensidad de la Precipitación Máxima del Evento
1	6—8 de marzo, 2016	Invierno	3	150 mm	Torrencial
2	6—8 de abril, 2016	Primavera	3	85 mm	Fuerte
3	11 de diciembre, 2016	Otoño	1	25 mm	Fuerte
4	19—22 de diciembre, 2016	Invierno	4	265 mm	Torrencial
5	9 y 10 de enero, 2017	Invierno	2	60 mm	Fuerte
6	19—21 de enero, 2017	Invierno	3	145 mm	Torrencial
7	17—20 de febrero, 2017	Invierno	4	195 mm	Torrencial
8	7—9 de enero, 2018	Invierno	3	100 mm	Fuerte
9	14—16 de febrero, 2018	Invierno	3	59 mm	Moderada
10	10—15 de marzo, 2018	Invierno	6	100 mm	Fuerte
11	22 de marzo, 2018	Primavera	1	15 mm	Moderada
12	6 y 7 de abril, 2018	Primavera	2	10 mm	Ligera
13	2 y 3 de febrero, 2019	Invierno	2	80 mm	Fuerte
14	13—16 de febrero, 2019	Invierno	4	200 mm	Torrencial
15	25—29 de noviembre, 2019	Otoño	5	290 mm	Torrencial
16	3—5 de diciembre, 2019	Otoño	3	60 mm	Fuerte
17	7—9 de diciembre, 2019	Otoño	3	50 mm	Fuerte
18	22—24 de diciembre, 2019	Invierno	3	90 mm	Fuerte
19	26 de diciembre, 2019	Invierno	1	20 mm	Fuerte
20	22—25 de febrero, 2020	Invierno	4	88 mm	Fuerte
21	8—13 de marzo, 2020	Invierno	6	405 mm	Torrencial
22	5 de abril, 2020	Primavera	1	10 mm	Moderada
23	5 y 6 de noviembre, 2020	Otoño	2	18 mm	Moderada
24	14 de diciembre, 2020	Otoño	1	4 mm	Ligera
25	3 y 4 de enero, 2021	Invierno	2	20 mm	Moderada
26	19—21 de enero, 2021	Invierno	3	115 mm	Fuerte
27	28 y 29 de enero, 2021	Invierno	2	80 mm	Fuerte
28	12 y 13 de febrero, 2021	Invierno	2	18 mm	Moderada
29	7 y 8 de octubre 2021	Otoño	2	13 mm	Moderada
30	7 de diciembre, 2021	Otoño	1	20 mm	Fuerte
31	21 y 22 de diciembre, 2021	Invierno	2	30 mm	Moderada
	SUMATORIA TOTAL	19 eventos en invierno	84 días	2820 mm acumulados	14 eventos con intensidad máxima Fuerte

Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración. La ubicación de la precipitación se describe detalladamente en los anexos.

Los 31 eventos identificados como posibles ríos atmosféricos tuvieron un rango de entre uno a seis días de duración según lo pronosticado por el CW3E y lo observado en productos satelitales, cabe señalar que días de su llegada al continente variaban, pues dependen de su velocidad de desplazamiento a partir de la fecha de detección y pronóstico, ya que dichos pronósticos estaban emitidos para la costa oeste de Estados Unidos y no para el territorio mexicano, aunque sí se llegaba a mencionar su trayectoria y lugar de llegada al tocar tierra sobre costas del Pacífico de la región de la Península de Baja California.

Tabla 4. Duración de Eventos de ríos atmosféricos en México

Duración de eventos de ríos atmosféricos en México	
Número de días del evento	Número de eventos
1 día	6 eventos
2 días	9 eventos
3 días	9 eventos
4 días	4 eventos
5 días	1 eventos
6 días	2 eventos
<i>Total de eventos:</i>	<i>31 eventos</i>

Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración.

La Tabla 4 muestra que la duración de los eventos varía de entre uno a seis días según lo identificado, siendo los eventos de dos y tres días de duración los más frecuentes, con acumulado 18 eventos en total. Los menos habituales eran aquellos eventos que tenían más de tres días de duración, siendo 7 su ocurrencia distribuida en: 4 eventos con duración de cuatro días, 1 evento con cinco días de duración y 2 eventos con duración de seis días. Los eventos de un día de duración fueron seis y estos obtuvieron los menores impactos reportados, como se describe más adelante en este trabajo.

Tabla 5. Ocurrencia Mensual de ríos atmosféricos en México

Ocurrencia mensual de ríos atmosféricos	
Mes	Número de eventos de RA
Octubre	1
Noviembre	2
Diciembre	9
Enero	6
Febrero	6
Marzo	4
Abril	3
<i>Total de eventos</i>	<i>31 eventos</i>

Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración. La ubicación de la precipitación se describe detalladamente en los anexos.

El periodo de análisis abarco los meses de octubre a abril del periodo de estudio, de los cuales los meses con mayor ocurrencia de eventos fueron diciembre, enero y febrero de cada año, detectando 9 casos en diciembre, 6 en enero y 6 en febrero durante el periodo de años estudiado. Las menores ocurrencias se presentaron en octubre, noviembre y abril, de tal forma que aumenta su ocurrencia en invierno y disminuyen acercándose la primavera según lo observado, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 6. Ocurrencia estacional de ríos atmosféricos en México

Ocurrencia estacional de RA	
Estación del año	No. de casos
Otoño	8 eventos
Invierno	19 eventos
Primavera	4 eventos
<i>Total de eventos</i>	<i>31 eventos</i>

Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración. La ubicación de la precipitación se describe detalladamente en los anexos.

La estación del año con mayor ocurrencia de estos fenómenos es en invierno con 19 eventos detectados, seguida del otoño con 8 eventos y la primavera con 4 eventos, mismos que se muestran con claridad en la Tabla 6.

Los estados que tienen mayor ocurrencia de estos fenómenos son Baja California, Baja California Sur y Sonora, de los que destacan las costas del oeste de Baja California por tener presencia total o habitual de los impactos por ríos atmosféricos en periodo invernal, reflejada esta situación por ser las ciudades de Tijuana y Ensenada las que cuentan con mayores registros de impactos por precipitaciones durante los días identificados con presencia de RA.

Otros estados de la República que tuvieron registro de precipitaciones durante los eventos identificados fueron Sinaloa, Chihuahua y Durango, aunque éstos solo presentaron precipitaciones aisladas sin grandes impactos. Mientras que, otros estados como Nayarit y Coahuila llegaron a tener lluvias aisladas en al menos una ocasión durante un evento de RA según los escasos reportes encontrados.

Respecto a la precipitación registrada durante los eventos, la precipitación máxima acumulada en un día durante un evento de RA fue el del caso no. 4, el día 22 de diciembre de 2016, en el que se estimaron 180 mm acumulados sobre el municipio de Ensenada, Baja California en un evento que duro 4 días y tuvo un total del 265 mm de precipitación acumulada total, de un total de 525 mm anuales generados dicho año por eventos de RA en la región.

El segundo evento extraordinario con mayor precipitación fue en el caso no. 21, del día 12 de marzo de 2020, que tuvo precipitación total acumulada de 160 mm, dentro de un evento que duro 6 días que generó 405 mm de precipitación total acumulada durante los días identificados de los 525 mm distribuidos durante ese año por todos los eventos.

Tabla 7. Precipitación Máxima y Anual Estimada por Año (2016 - 2021)

Precipitación Máxima y Anual Estimada por Año					
Año	No. de Eventos	Estación de los Eventos	Precipitación Total Acumulada Anual Estimada (mm)	Fecha de Precipitación Máxima por Año	Precipitación Máxima Diaria Estimada (mm)
2016	4	Otoño - Invierno - Primavera	525.00	22/12/2016	180.00
2017	3	Invierno	400.00	18/02/2017	100.00
2018	5	Invierno - Primavera	284.00	08/01/2018	40.00
2019	7	Otoño - Invierno	790.00	14/02/2019	110.00
2020	5	Otoño - Invierno - Primavera	525.00	12/03/2020	160.00
2021	7	Otoño - Invierno	296.00	20/01/2021	50.00
RECUESTO	31 eventos de RA	Invierno es la estación predominante	2820 mm totales de precipitación acumulada por los 31 eventos		640 mm totales de precipitación máxima diaria de los 31 eventos

Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración. La ubicación de la precipitación se describe detalladamente en los anexos.

Como se muestra en la tabla 7 el número de eventos anuales varía entre los 3 a 7 por año, predominando su ocurrencia en la temporada invernal entre los meses de diciembre a febrero, registrándose los mayores valores de precipitación acumulada diaria entre los 180 mm y 50 mm entre los meses señalados antes de la primavera.

La precipitación acumulada anual generada por ríos atmosféricos fue de 2,820 mm en total durante para seis años de estudio con base en los datos de CRIRPS.

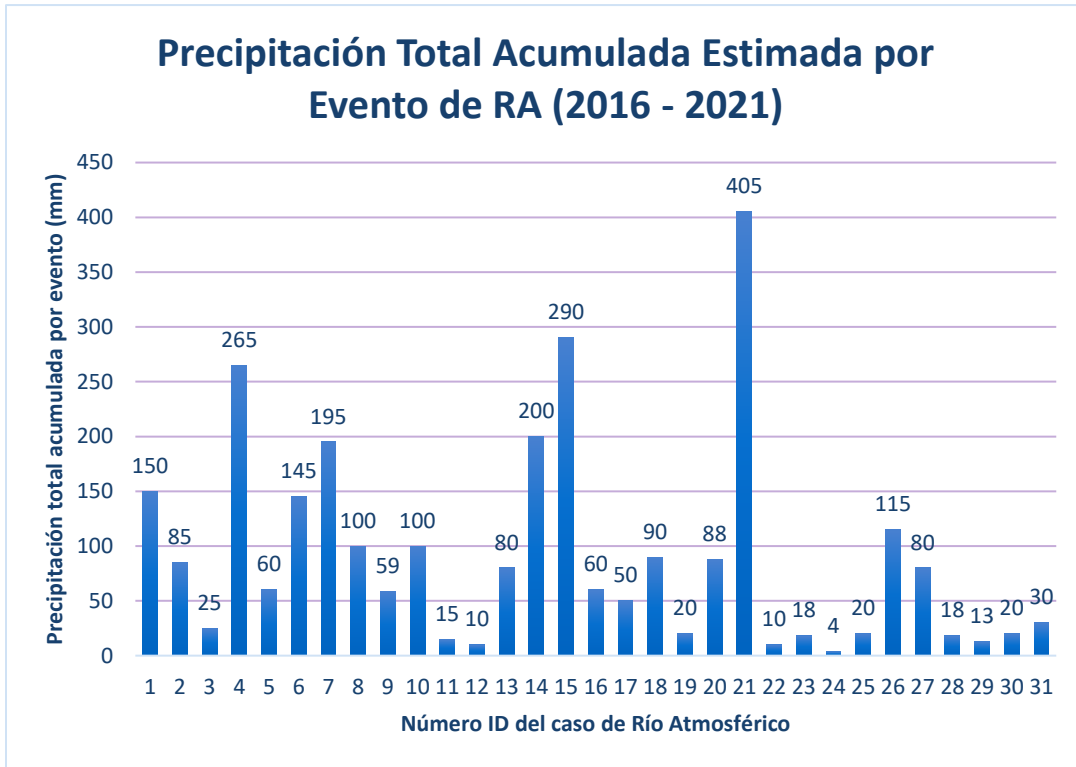
Tabla 8. Intensidad de la precipitación máxima por evento de RA

Intensidad de precipitación máxima por evento de RA	
Intensidad de la precipitación máxima por evento	Número de casos
Ligera (menor a 5 mm)	1 casos
Moderada (entre 5.1 y 15 mm)	4 casos
Fuerte (entre 15.1 y 60 mm)	11 casos
Torrencial (mayor a 60 mm)	15 casos
Total de eventos	31 casos

Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración.

Cabe señalar que la intensidad de la precipitación máxima por evento varió entre moderada (entre 5.1 y 15 mm) y fuerte (entre 15.1 y 60 mm) principalmente, dando entre ambas categorías 22 de los 31 casos totales. Los casos menos comunes eran los de lluvias ligeras (inferiores a los 5 mm) y de lluvias torrenciales (superiores a 60 mm).

Figura 22. Precipitación Total Acumulada estimada por evento de RA en México



Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración.

2.2 Impactos asociados a los ríos atmosféricos en México

La investigación hemerográfica realizada para identificar los impactos ocasionados a las precipitaciones obtenidas de CHIRPS, arrojó que los servicios de Protección Civil Estatales de Baja California, Baja California Sur y Sonora emiten pronósticos y alertas a la población local de las entidades. Estas alertas pueden indicar presencia de precipitaciones intensas, nevadas y vientos fuertes durante la temporada invernal, usualmente atribuidos al ingreso de frentes fríos y tormentas invernales en el noroeste del país.

De los 31 eventos, hubo 5 eventos de los que no se registraron impactos relacionados con precipitaciones durante los días esperados durante la presencia de un río atmosférico, así como 10 casos en los que se emitieron alertas y avisos relacionados con precipitaciones, fuertes vientos y descenso de temperaturas,

pero que pese a las alertas por precipitaciones no se reportaron inundaciones, encharcamientos o deslizamientos de laderas u otros impactos hidrometeorológicos relacionados.

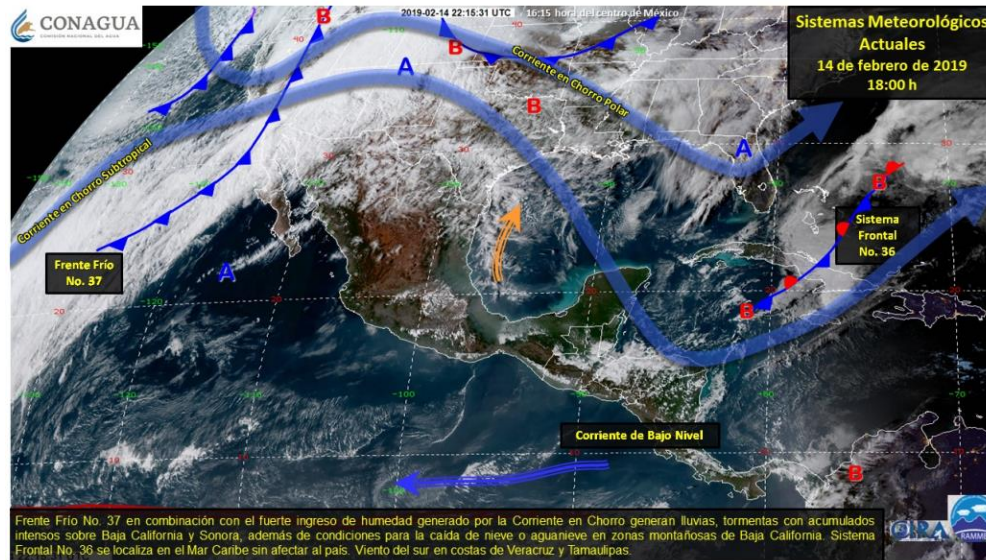
De lo 31 eventos identificados, al menos 16 fueron atribuidos a frentes fríos y tormentas invernales, así como otros relacionados con la presencia de núcleos fríos, sistemas de baja presión, paso de la corriente en chorro subtropical, tormentas locales y uno atribuido al ingreso de flujos de humedad del Océano Pacífico. En ningún caso, el evento que generó precipitaciones fue identificado formalmente como un río atmosférico, aunque en esas mismas fechas se reportaron impactos en ciudades del sur del estado de California, Estados Unidos, y que fueron consecuencia de ríos atmosféricos como ocurrió el 11 y 22 de diciembre de 2016 y 9 de enero de 2018. Esto sugiere que a pesar de que los ríos atmosféricos se presentaron en las mismas fechas tanto para EUA y México, los reportes meteorológicos de ambos países fueron diferentes.

Por otro lado, en algunas ocasiones existían discordancias entre los pronósticos y avisos emitidos entre el Servicio Meteorológico Nacional y los emitidos por las entidades de Protección Civil en los estados del noroeste del país. Estas disparidades se presentaron en el grado de intensidad de las precipitaciones y de los vientos sobre la región de la Península de Baja California. Sin embargo, las mayores discordancias eran en el fenómeno sinóptico que provocaba las condiciones de lluvia, vientos fuertes y nevadas en la región, ya que mientras una instancia estatal lo atribuía a sistemas de baja presión o inestabilidad atmosférica local, el SMN usualmente lo asociaba a la presencia de la corriente en chorro subtropical, frentes fríos y/o tormentas invernales.

Además, en algunas notas periodísticas se mostraban las imágenes satelitales interpretadas del SMN se indicaban la supuesta entrada de frentes fríos y la presencia de la corriente en chorro subtropical sobre regiones del norte del

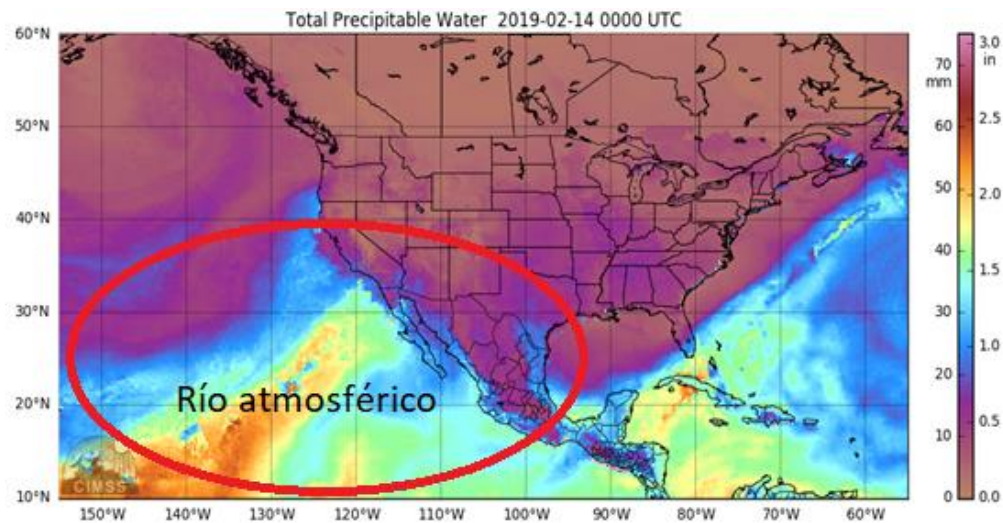
país. Cabe mencionar que dichas imágenes no son suficientes para identificar los sistemas presentes sobre el país como para atribuirlos a corrientes en chorro.

Figura 23. Imagen interpretada del SMN del 14 de febrero de 2019.



Fuente: SMN (2019).

Figura 24. Agua Precipitable Total de CIMSS del 14 de febrero de 2019.



Fuente: CIMSS (2019).

Nota: Las figuras muestran las discordancias entre la identificación de los sistemas atmosféricos. Siendo que el SMN identifica la entrada de un Frente frío y la corriente en chorro subtropical, mientras que el producto satelital muestra la entrada de humedad directa de un río atmosférico. Fuentes: Servicio Meteorológico Nacional y CIMSS.

Figura 25. Impactos del evento de RA del 13-14 de febrero de 2019


Estragos por las lluvias, los mismos

Por Lourdes Laza Romero febrero 16, 2019


CIERRE DE VIALIDADES, ARRASTRE DE PIEDRAS Y LODO, CAÍDA DE ÁRBOLES Y POSTES E INUNDACIONES, FUERON ALGUNAS DE LAS AFECTACIONES QUE DEJARON LAS PRECIPITACIONES A SU PASO POR TIJUANA, SIN REPRESENTAR GRAVEDAD O PÉRDIDA DE VIDAS HUMANAS. AUTORIDADES DE PROTECCIÓN CIVIL ADVIERTEN QUE LAS LLUVIAS CONTINUARÁN DE FORMA MODERADA EL FIN DE SEMANA

AR Event Summary: 13-14 February 2019

For California DWR's
AR Program



Center for Western Weather
and Water Extremes
SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY
AT UC SAN DIEGO



Highway 243 near Lake Fulmore
Photo: Caltrans

I-80 Donner Summit
Photo: Caltrans

Sausalito landslide
Photo Credit: Noah Berger/ San Francisco Chronicle

The high precipitation accumulations and high winds produced by this event led to numerous impacts across the state of California

Flooding associated with the Holy Fire burn area in Riverside led to several evacuations and damage/destruction to several homes (as reported by CalFire)

Numerous roadways throughout the state were closed due to flooding, snow, high winds, and damage

- I-80 over Donner Summit due to snow and high winds
- I-5 northbound in Colusa County due to flooding
- HWY 50 in Sierra due to avalanche mitigation
- HWY 243 in Lake Fulmore due to collapsed roadway
- Visit CalTrans for a more thorough list of roadway impacts

The saturated soils in many areas across the state and intense rainfall created conditions conducive to slope failure

- A shallow landslide that mobilized into a debris flow in Sausalito (Marin County) destroyed three homes

Nota: La Figura 25 se compone de capturas de medios digitales de información que describen los impactos del evento ocurrido del 13-14 de febrero de 2019 en California, EUA y Tijuana, México. Fuentes: Center for Western Weather and Water Extremes y ZETA Tijuana.

Por lo anterior mencionado, se aclara que los impactos reportados por medios locales pueden estar relacionados con la presencia de ríos atmosféricos que fueron identificados según la metodología. Sin embargo, no se debe descartar la presencia de otros sistemas en absoluto, ya que, de acuerdo con su definición y estructura, son sistemas que pueden estar impulsados por sistemas frontales o corrientes en chorro, interaccionando con otros sistemas vigentes sobre el territorio nacional.

Por lo que, a pesar de no ser definidos como RA dentro de los pronósticos, alertas o noticias, su estructura y ocurrencia sí puede estar relacionada.

Entre los impactos reportados por medios locales, se resaltan la ocurrencia de encharcamientos viales, inundaciones y accidentes viales por lluvias moderadas. En casos menos frecuentes con lluvias más intensas, el cierre de tramos carreteros, suspensión de actividades para embarcaciones pequeñas en puertos, deslizamiento de laderas (deslaves), arrastre de vehículos y escombros por corrientes de agua, crecida de ríos y saturación de barrancas, caída de árboles y anuncios espectaculares, así como interrupciones en los servicios de energía eléctrica.

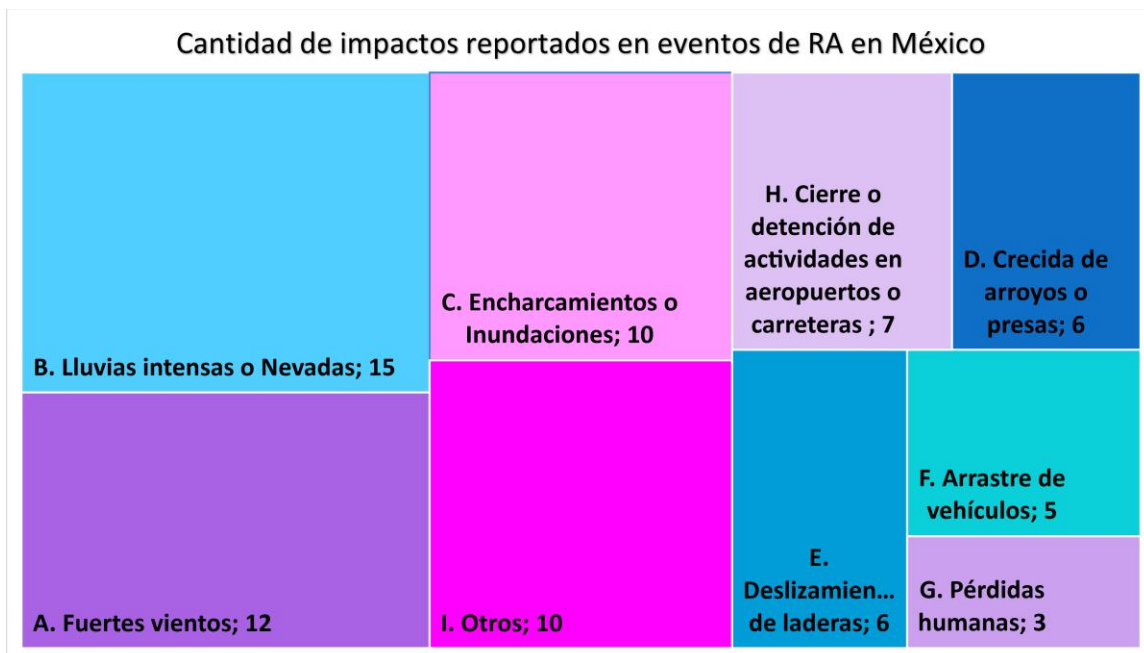
En casos extraordinarios se presentaron el desborde de una presa, zonas habitacionales inundadas, viviendas sepultadas por aludes, interrupción de actividades aeroportuarias y la pérdida de vidas humanas, y la activación de planes de emergencia para la atención de desastres (Plan DN III) así como la solicitud estatal de Declaratoria de Emergencia por lluvias torrenciales (Sánchez, L., 15 de febrero de 2019, "Lluvias dejan inundaciones y deslaves en Tijuana" en Noticieros Televisa). La caída de nieve y agua nieve fueron menos frecuentes en localidades urbanas, aunque sí se registraron en lugares montañosos como en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California (El Universal, "Cierran Parque San Pedro Mártir" 9 de enero de 2018).

Se realizó la categorización de los impactos para los 31 eventos identificados, la categorización se hizo de acuerdo con los impactos reportados con mayor frecuencia en las fuentes hemerográficas y por su definición como impactos hidrometeorológicos. Los impactos se encuentran descritos en las 31 fichas de identificación de RA a mayor detalle en los anexos, descritos los impactos por evento identificado.

Se clasificaron los impactos de forma empírica asignándoles una letra mayúscula según su tipo:

- A. Fuertes vientos (Caída de árboles, cableado eléctrico y anuncios espectaculares)
- B. Lluvias intensas o nevadas
- C. Inundaciones o encharcamientos viales
- D. Crecida del nivel en presas o caudal en arroyos y barrancas
- E. Deslizamiento de laderas (deslaves)
- F. Arrastre de vehículos o materiales diversos
- G. Pérdidas humanas
- H. Cierre o detención de actividades de movilidad en aeropuertos, carreteras o puertos marítimos
- I. Otros (accidentes viales, granizada, descenso de temperatura, caída de techos o bardas, etc.)

Figura 26. Cantidad de impactos reportados en eventos de RA en México



Nota: La Figura muestra una clasificación empírica, asignándole a cada una una letra mayúscula y la cantidad de impactos detectados en total por los 31 eventos de RA. Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración.

Tabla 9. Impactos por eventos de ríos atmosféricos en México

Impactos de RA por Evento														
No. Caso	Fecha del Evento	Días de Duración	Precipitación Total Acumulada Estimada (mm)	Intensidad de la Precipitación Máxima del Evento	Impactos Reportados									Total Impactos
					A	B	C	D	E	F	G	H	I	
21	8—13 de marzo, 2020	6	405.00	Torrencial	X	X	X	X	X	X		X	X	8
15	25—29 de noviembre, 2019	5	290.00	Torrencial		X	X	X	X	X	X	X	X	8
4	19—22 de diciembre, 2016	4	265.00	Torrencial	X	X	X					X	X	5
14	13—16 de febrero, 2019	4	200.00	Torrencial	X	X	X	X	X	X		X	X	8
7	17—20 de febrero, 2017	4	195.00	Torrencial		X		X	X	X	X			5
1	6—8 de marzo, 2016	3	150.00	Torrencial	X	X						X		3
6	19—21 de enero, 2017	3	145.00	Torrencial	X	X	X						X	4
26	19—21 de enero, 2021	3	115.00	Torrencial	X									1
8	7—9 de enero, 2018	3	100.00	Torrencial		X					X	X	X	4
10	10—15 de marzo, 2018	6	100.00	Torrencial									X	1
18	22—24 de diciembre, 2019	3	90.00	Torrencial	X	X	X							3
20	22—25 de febrero, 2020	4	88.00	Torrencial										0
2	6—8 de abril, 2016	3	85.00	Torrencial	X	X								2
13	2 y 3 de febrero, 2019	2	80.00	Torrencial	X	X	X	X	X	X			X	7
27	28 y 29 de enero, 2021	2	80.00	Torrencial		X	X					X		3
16	3—5 de diciembre, 2019	3	60.00	Fuerte		X	X	X	X				X	5
5	9 y 10 de enero, 2017	2	60.00	Fuerte										0
9	14—16 de febrero, 2018	3	59.00	Fuerte										0
17	7—9 de diciembre, 2019	3	50.00	Fuerte	X	X								2
31	21 y 22 de diciembre, 2021	2	30.00	Fuerte										0
3	11 de diciembre, 2016	1	25.00	Fuerte										0
19	26 de diciembre, 2019	1	20.00	Fuerte	X	X	X							3
25	3 y 4 de enero, 2021	2	20.00	Fuerte									X	1
30	7 de diciembre, 2021	1	20.00	Fuerte										0
23	5 y 6 de noviembre, 2020	2	18.00	Fuerte	X									1
28	12 y 13 de febrero, 2021	2	18.00	Fuerte										0
11	22 de marzo, 2018	1	15.00	Moderada										0
29	7 y 8 de octubre 2021	2	13.00	Moderada										0
12	6 y 7 de abril, 2018	2	10.00	Moderada										0
22	5 de abril, 2020	1	10.00	Moderada										0
24	14 de diciembre, 2020	1	4.00	Ligera										0
SUMATORIA TOTAL		84 días	2820 mm		12	15	10	6	6	5	3	7	10	74

Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración.

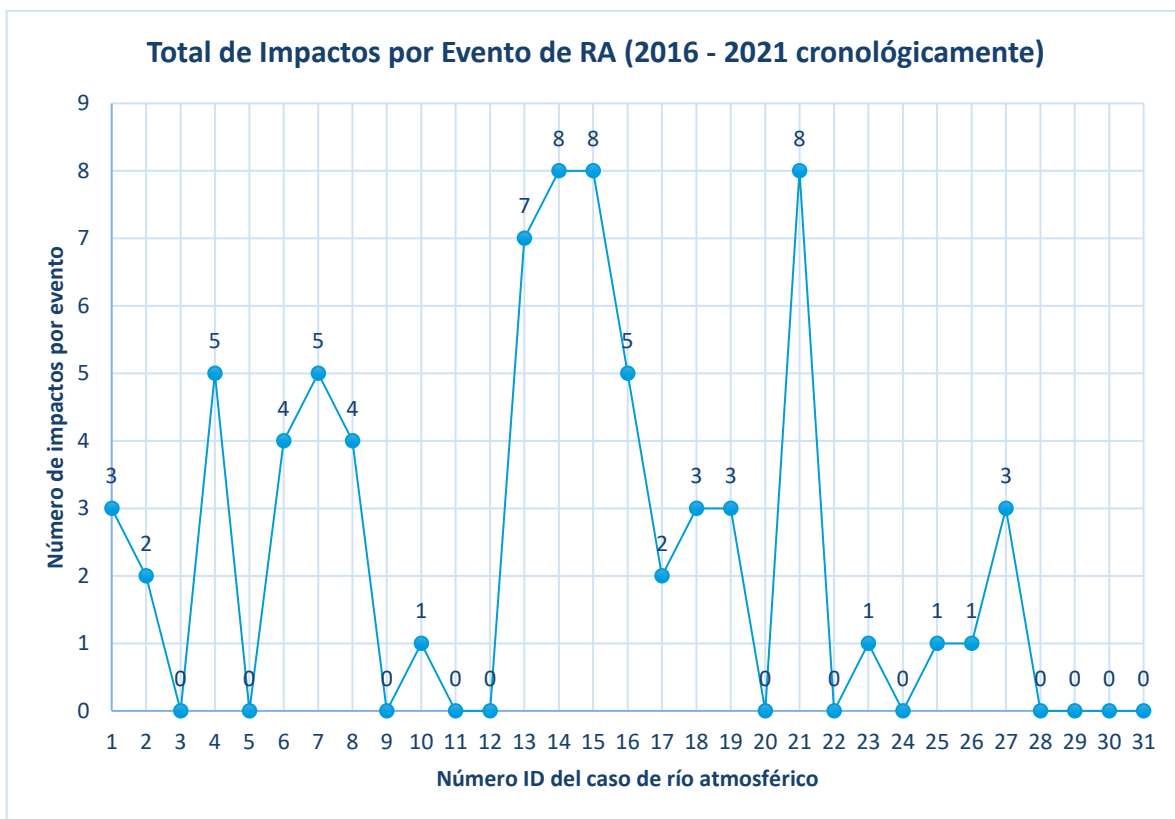
Se reportaron un total de 74 impactos durante los días de presencia de un río atmosférico en conjunto de los 31 eventos identificados, los impactos más comunes reportados fueron las lluvias intensas o nevadas hasta en 15 eventos, seguida de vientos fuertes en 12 eventos y encharcamientos o inundaciones por las lluvias en 10 eventos, así como otros impactos como caída de infraestructura como techos, bardas, descenso de temperatura en otros 10 eventos. Los impactos menos frecuentes fueron aquellos ligados a la pérdida de vidas humanas en solo 3 eventos y el arrastre de vehículos y materiales diversos en 5 casos (Tabla 9).

Los eventos que tuvieron mayor cantidad de impactos fueron los casos:

- Caso #21, que se presentó del 8 al 13 de marzo de 2020, con 405 mm de precipitación acumulada total estimada durante seis días de duración del evento y 8 impactos.
- Caso #15, que se identificó del 25 al 29 de noviembre de 2019, con una precipitación acumulada total estimada de 290 mm durante cinco días de duración y reportando 8 impactos, entre los que se destaca la pérdida de vidas humanas.
- Caso #4, ocurrido entre el 19 y 22 de diciembre de 2016, con cuatro días de duración y 265 mm de precipitación total acumulada estimada, que pese a su elevada precipitación, reportó solo 5 impactos.
- Caso #14, presentado del 13 al 16 de febrero de 2019, con cuatro días de duración y 200 mm y presentó 8 impactos.
- Caso #7, ocurrido entre el 17 y 20 de febrero de 2017, que presentó 5 impactos en los cuatro días de duración del evento con 195 mm.
- Caso #13, presente el 2 y 3 de febrero de 2019, con dos días de duración y una acumulación de precipitación total estimada en apenas 80 mm pero que reportó 7 impactos a diferencia de otros eventos de mayor precipitación y que tuvieron menos impactos reportados.

A modo de conclusión, la mayoría de los casos que tuvieron más impactos reportados tuvieron una precipitación acumulada total estimada superior a los 100 mm y una duración no menor a los tres días, teniendo lluvias de tipo torrencial y fuerte. Sin embargo, hay casos como el No. 13 en los que la precipitación acumulada total no fue superior a los 100 mm y pudo generar más de 5 impactos reportados, siendo posible que existan otras condiciones atmosféricas o sistemas presentes sobre la región que hayan propiciado daños o afectaciones reportadas.

Figura 27. Impactos totales por evento de RA en México.



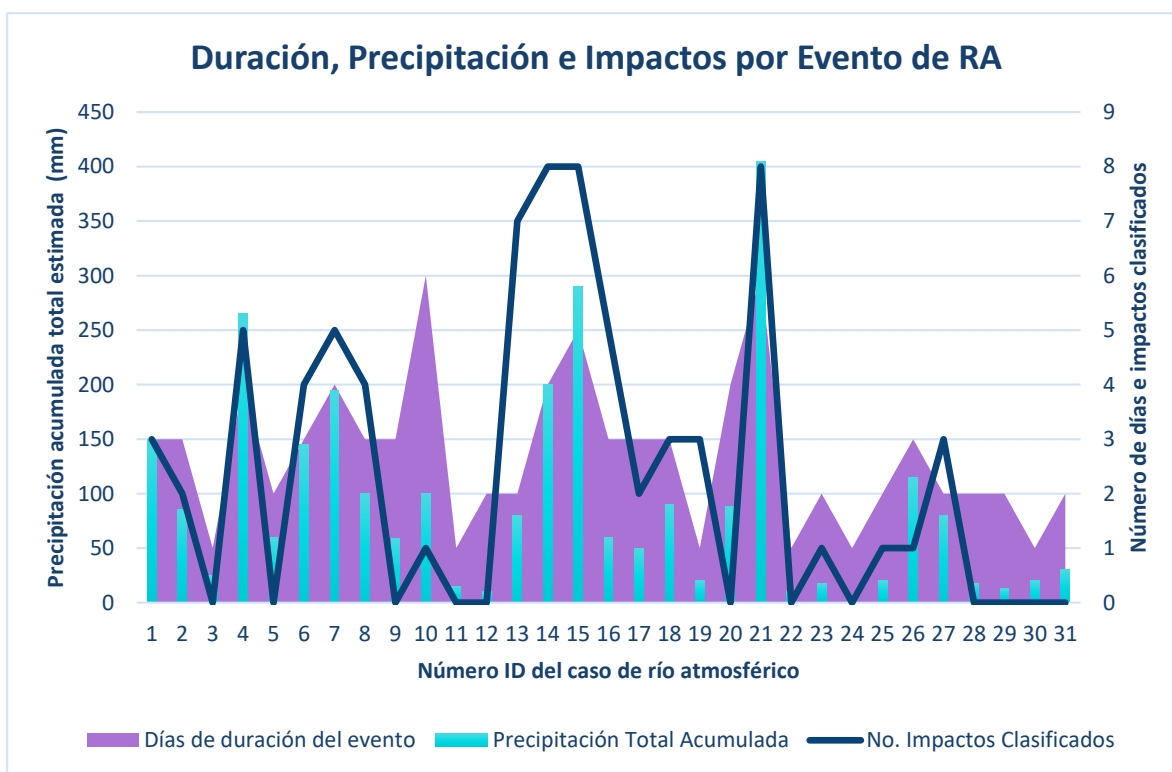
Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración.

La Figura 26 muestra la variación de impactos según los eventos aparecidos a lo largo del periodo de estudio en orden cronológico. En el siguiente apartado se examinará la duración, intensidad e impactos estadísticamente.

2.3 Análisis Estadístico de los Eventos Identificados

Para comprender si existe alguna relación entre la duración, volumen de precipitación e impactos de los eventos se elaboró una gráfica en la que se puede visualizar el comportamiento entre las variables de volumen de precipitación acumulada total, días de duración y cantidad de impactos reportados por evento de RA.

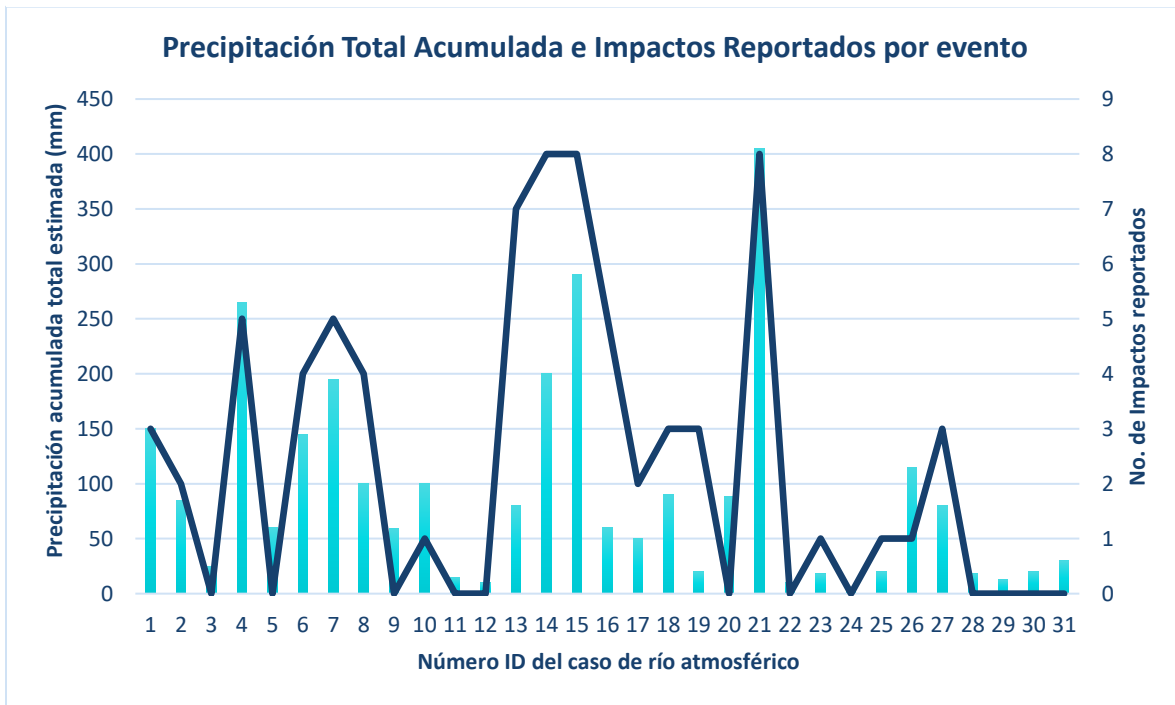
Figura 28. Duración, precipitación e impactos por evento de RA.



Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración.

Existe una relación entre el volumen de precipitación total acumulada y el número de días del evento, así como que los impactos guardan cierta relación también con el volumen de precipitación acumulada (Figura 28).

Figura 29. Precipitación Total Acumulada e Impactos asociados por evento de RA en México.

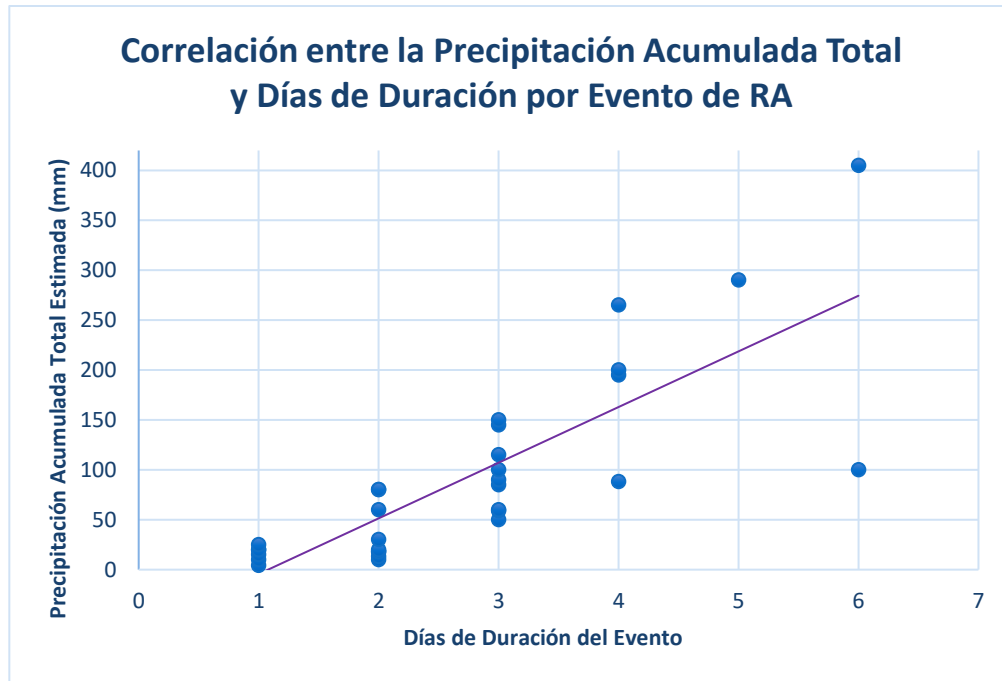


Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración.

Para comprobar si existe una relación entre el volumen de precipitación total acumulada y el número de días de los eventos, se realizó la prueba estadística de coeficiente de correlación r de Pearson en la que se obtuvo un valor de 0.80 (cero punto ochenta) lo que se interpreta como una correlación positiva estadísticamente significativa, misma que se presenta en la Figura 30.

Los resultados indican que existe relación entre el volumen de precipitación total acumulada por evento y los impactos reportados, entre mayor sea el volumen de precipitación acumulada, mayores serán los impactos reportados.

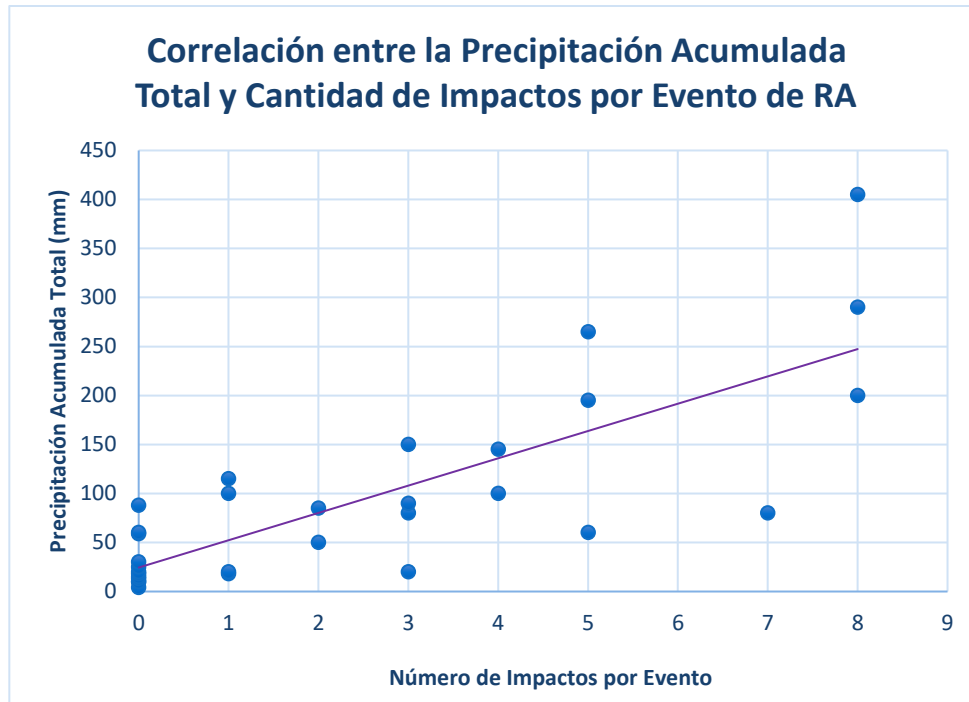
Figura 30. Correlación entre la precipitación total acumulada y los días de duración por evento de RA



Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración.

Igualmente, se realizó la misma prueba estadística de correlación *r de Pearson* para estimar el valor de correlación de las variables de volumen de precipitación total acumulada y número de impactos reportados por evento. Obteniendo de esta segunda prueba un coeficiente de determinación de 0.79 lo que significa una correlación positiva estadísticamente significativa (Figura 30). Ambas pruebas se ejecutaron con un nivel de confianza del 95%, se consideraron correlaciones positivas en cambas y estadísticamente significativas dentro de los valores de las muestras de 31 casos.

Figura 31. Correlación entre la Precipitación Acumulada Total y la cantidad de Impactos por evento de RA



Fuente: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración.

Por lo anterior, se pueden aceptar las siguientes dos hipótesis:

1. Existe correlación entre el volumen de precipitación total acumulada y el número de días del evento. A mayor número de días de duración del evento de RA, mayor será el volumen de precipitación acumulada total.
2. Existe correlación entre el volumen de precipitación total acumulada y el número de impactos reportados por evento. Entre mayor sea el volumen de precipitación total acumulada, mayor serán la ocurrencia de impactos hidrometeorológicos ligados al evento por RA.

No se descarta la posibilidad de que estas muestras se puedan ampliar en el futuro para someterse el mismo procedimiento estadístico y corroborar la correlación entre las variables analizadas.

Capítulo 3. Influencia y peligro hidrometeorológico de los Ríos Atmosféricos en México

3.1 Condición geográfica de México ante los ríos atmosféricos

México se ubica entre las coordenadas extremas de los paralelos $14^{\circ} 32' 27''$ Sur y $32^{\circ} 43' 06''$ Norte, comprendido entre las longitudes Oeste de Greenwich de $118^{\circ} 22' 00''$ y $86^{\circ} 42' 36''$ respectivamente. Además de la ubicación, la vasta orografía, su altitud diversa respecto al nivel del mar, su influencia oceánica y la extensión continental propician que el país presente gran diversidad de condiciones climáticas en su territorio (INEGI, 1991).

México se encuentra ubicado geográficamente entre los límites de la región tropical y extratropical, dividido por el Trópico de Cáncer a los $23^{\circ} 26' 14''$ al norte del ecuador, que cruza los estados de California Sur, Sinaloa, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Tamaulipas; además de presentar la influencia del Océano Pacífico, que es generador de los principales RA que impactan la costa oeste de la región extratropical de Norteamérica.

Por su ubicación geográfica, la Península de Baja California es una región fisiográfica costera de México expuesta al impacto de RA al ser colindante con el estado de California de los Estados Unidos en la región extratropical, y tener la influencia oceánica del Pacífico, así como tener exposición a la interacción de sistemas frontales y humedad oceánica sobre su territorio. Se necesita realizar un análisis más extenso y profundo en otras regiones del territorio mexicano para definir que otras zonas del país tienen exposición o influencia de los eventos estudiados en la presente investigación, así como sus impactos relacionados.

3.2 Climatología

La distribución geográfica de los principales tipos de climas de acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García (2004) señala que los climas cálidos se ubican al sur del país, principalmente en la península de Yucatán y próximos a la costa del Golfo de Tehuantepec, mientras que los climas secos se distribuyen en el extremo norte del país y centro continental del territorio, así como los climas templados que se ubican en las regiones montañosas de las Sierras Madre Oriental, Occidental, del Sur y el Eje Neovolcánico Transversal (INEGI, 1991).

Por las características del fenómeno estudiado y su presencia sobre la Península de Baja California, es importante considerar los climas presentes en la región comprendida en los estados de Baja California y Baja California Sur, además de los estados costeros de Sonora y Sinaloa que tienen proximidad geográfica; los cuatro estados del noroeste se caracterizan por tener principalmente sobre su territorio climas de tipo muy seco, seco y templados subhúmedos, exclusivamente éstos últimos en las zonas montañosas como la Sierra de San Pedro Mártir en Baja California.

El Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) en su publicación "Datos Básicos de la Geografía de México" (1991) señala que los climas muy secos tienen presencia en el 20.8% del territorio nacional, manifestándose principalmente en los estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora, Sinaloa, Baja California y Baja California Sur en regiones subestatales, con temperaturas medias anuales que varían entre los 10 °C y 26 °C, y volúmenes de precipitación total anual entre los 0 y 600 mm según la región.

La principal característica del clima "muy seco" es que la cantidad de evaporación es mayor que la cantidad de precipitación. Su baja humedad está determinada principalmente por la baja precipitación y las temperaturas extremas, permitiendo una vegetación de tipo mediterránea o xerofita. En ocasiones, la lluvia

es torrencial y la temperatura se clasifica como muy extrema porque su oscilación térmica promedio anual es superior a 14 °C, y se encuentra distribuido en los estados y regiones mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10. Climas muy secos de México (INEGI)

Tipo de Clima	Estado	Regiones dentro del Estado	Rango de las Temperaturas medias anuales (°C)	Rango de la Precipitación total anual (mm)
Muy seco	Chihuahua	Norte, oriente y sureste	10 – 22	100 – 300
Muy seco	Coahuila	Occidental y sur	10 – 22	100 – 600
Muy seco	Sonora	Occidental y sur	18 – 26	0 – 300
Muy seco	Sinaloa	Noroccidental	22 – 26	100 – 300
Muy seco	Baja California	Casi todo el estado excepto la región norte	18 – 26	0 – 300
Muy seco	Baja California Sur	Casi todo el estado excepto la región sur	18 – 26	0 – 300

Fuente: Elaborado con base en “Cuadro III. 1.e” (INEGI, 1991).

Los climas secos se distribuyen en el 28.3% del territorio nacional, ocupando los estados ya mencionados y otros de la región sur y central, con temperaturas medias anuales entre los 10 °C y los 26 °C y con precipitación total que va entre los 100 y 1000 mm anualmente. El clima de tipo seco está en el medio en términos de humedad, comparado con el muy seco y semiseco, se considera una transición entre los dos.

Tabla 11. Climas Secos de México (INEGI)

Tipo de Clima	Estado	Regiones	Rango de las Temperaturas medias anuales (°C)	Rango de la Precipitación total anual (mm)
Seco	Chihuahua	Sur y occidental	10 - 22	300 - 600
Seco	Coahuila	Norte y oriente	10 - 22	300 - 600
Seco	Sonora	Norte y oriente	22 - 26	300 - 600
Seco	Sinaloa	Noroccidental	22 - 26	100 - 300
Seco	Baja California	Noroccidental	10 - 18	100 - 300
Seco	Baja California Sur	Sur	18 - 22	300 - 600

Fuente: Elaborado con base en "Cuadro III. 1.e" (INEGI, 1991).

Estos estados también presentan otro tipo de climas como los cálidos subhúmedos y templados subhúmedos, aunque en menor proporción. La precipitación de éstos anualmente varía entre los 300 y 2000 mm, mientras que su temperatura va entre los 0 °C y los 26 °C.

Tabla 12. Tabla 12. Otros climas (INEGI)

Tipo de Clima	Estado	Regiones	Temperaturas medias anuales (°C)	Precipitación total anual (mm)
Cálidos subhúmedo	Sinaloa	Oriente y Sur	18 - 26	600 - 2000
Templado subhúmedo	Chihuahua	Occidental y Sur	0 - 18	600 - 2000

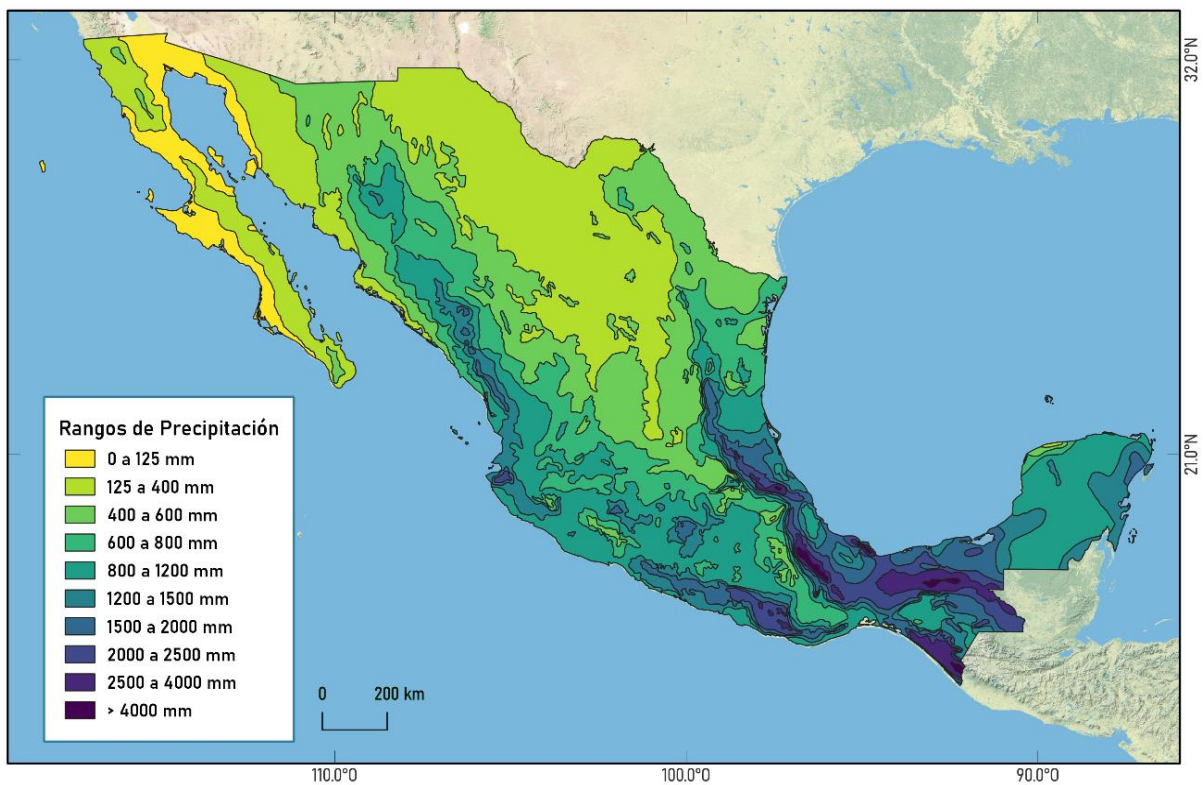
Fuente: Elaborado con base en "Cuadro III. 1.e" (INEGI, 1991).

El clima semiseco es aquel en el que la evaporación es mayor a la precipitación, sin embargo, es menor el grado de evaporación que en los climas muy secos y secos. Los semisecos se consideran como la transición entre los climas secos y subhúmedos de los grupos cálido y templado. Estos climas se caracterizan por tener precipitaciones entre los 300 a 600 mm como media anual, así como temperatura media anual superior a los 18° C siendo cálido semiseco, y si es menor a los 18°C siendo frío semiseco (INEGI, 1991).

Figura 32. Mapa de Precipitación Media Anual en México

Precipitación Media Anual en México

Diseño de mapa elaborado por Daniela F. Cuauhtémoc Vargas con datos de Vidal-Zepeda, R. (1990) a escala 1:4,000,000 obtenidos del Portal de Geoinformación de la CONABIO.



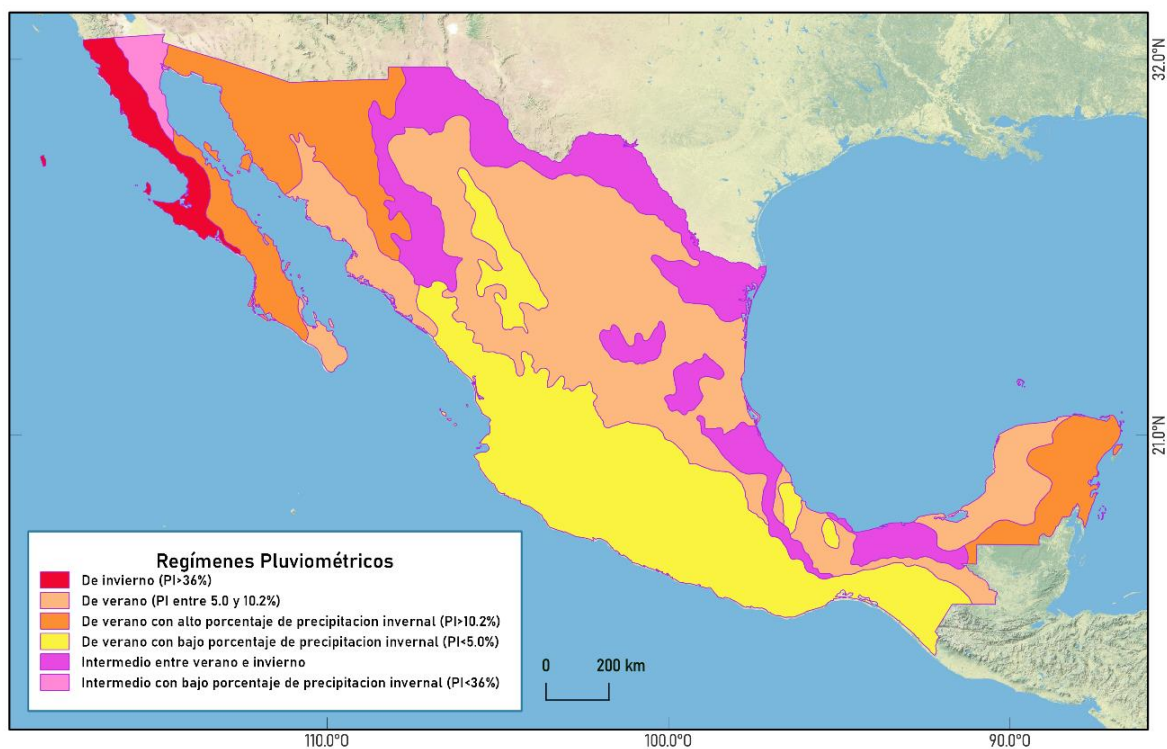
Nota: Diseño de mapa elaborado con datos de Vidal-Zepeda (1990) obtenidos del Portal de Geoinformación de la CONABIO sitio web.

En resumen, el norte del país comprendido en este estudio como la Península de Baja California, así como los estados de Sonora y Sinaloa, se caracterizan por tener precipitaciones escasas y elevadas temperaturas, correspondiendo con climas secos y muy secos principalmente donde la temperatura promedio anual es superior a 18 °C y el volumen de precipitación total anual es menor a 1000 mm en la mayoría de los estados.

Figura 33. Mapa de Regímenes de Precipitación en México

Regímenes de Precipitación en México

Diseño de mapa elaborado por Daniela F. Cuauhtémoc Vargas con datos de García, E., Ma. E. Hernández, T. Reyna-Trujillo (1990) a escala 1:8,000,000 obtenidos del Portal de Geoinformación de la CONABIO.



Nota: Diseño de mapa elaborado con datos de Vidal-Zepeda (1990) obtenidos del Portal de Geoinformación de la CONABIO sitio web.

3.2.1 Regímenes pluviométricos

De acuerdo con el Portal de Geoinformación 2022 del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) de la Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO) muestra el mapa de “Regímenes pluviométricos y Distribución de la precipitación” de García, *et al* (1990) que muestra los regímenes pluviométricos y distribución de la precipitación a nivel nacional a escala 1:8,000,000, es un sistema que considera tres regímenes de lluvia: Invierno (PI >36%), Intermedio (PI < 36%) y verano (PI entre 5 y 10.2%). Fue elaborado con datos de 382 estaciones, en un período de tiempo de 1921 a 1980.

El mapa muestra que gran parte de la región costera del noroeste de la Península de Baja California tiene un régimen de precipitación de invierno, mientras que los estados de Sinaloa y Baja California Sur predomina un régimen de verano con alto porcentaje de precipitación invernal, mientras que Sinaloa y el sur de Baja California Sur es de un régimen con lluvias de verano. La región del Noreste de Baja California es un régimen intermedio con bajo porcentaje de precipitación invernal. Para comprender mejor la precipitación de la región se tomaron los valores pluviométricos de cinco estaciones meteorológicas de los estados que registraron mayor influencia de los RA, dentro de la normal climatológica 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional (Tabla 13).

Tabla 13. Datos de identificación de estaciones muestra

Nombre de la Estación Meteorológica	Clave Sinóptica	Municipio y Estado	Ubicación geográfica (coordenadas)	Normal climatológica	Estado de Operación
PRESA RODRIGUEZ	O2038	Tijuana, Baja California	32° 26'49" N 116° 54'28" W ALTURA: 120.0 MSNM	1951 - 2010	Operando
EI CIPRES	O2104	Ensenada, Baja California	31°47'25" N 116°35'17" W ALTURA: 8.0 MSNM	1951 - 2010	Operando
GUADALUPE	O3019	Mulege, Baja California Sur	26°55'20" N 112°24'30" W ALTURA: 720.0 MSNM	1951 - 2010	Operando
EL CARRIZAL	26028	Hermosillo, Sonora	29°05'31" N 111°44'00" W ALTURA: 49.0 MSNM	1951 - 2010	Suspendida
EL DORADO	25161	Culiacan, Sinaloa	24°19'25" N 107°22'04" W. ALTURA: 10.0 MSNM	1951 - 2010	Operando
COLONIA GARCÍA	O8034	Madera, Chihuahua	29°35'17" N. 108°19'52" W. ALTURA: 2,180.0 MSNM.	1951 - 2010	Suspendida

Nota: La tabla muestra los datos de las estaciones meteorológicas consultadas del SMN.

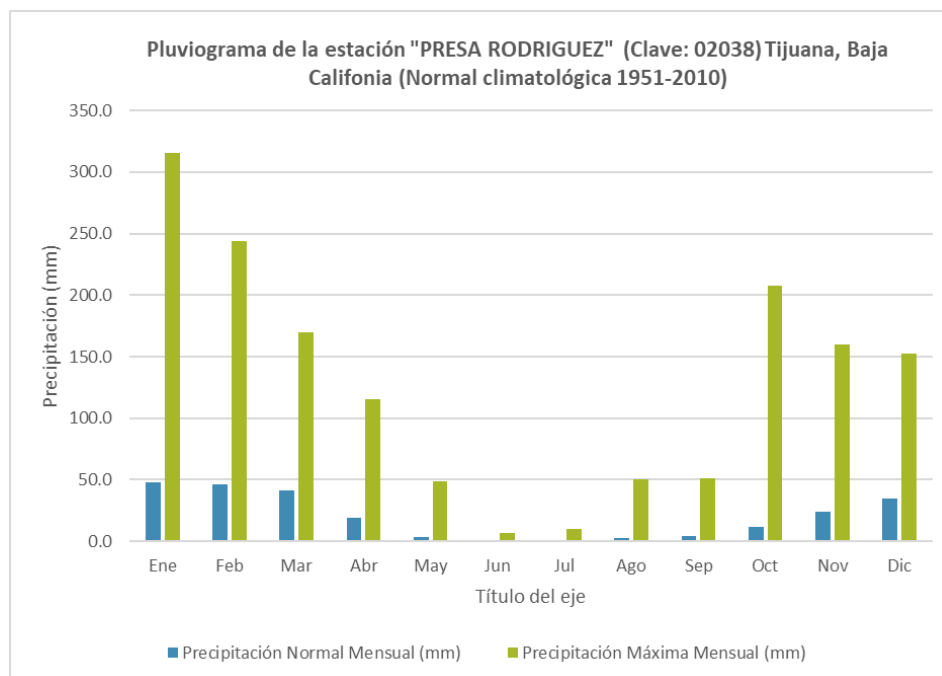
Los valores recuperados de la normal climatológica fueron los datos de precipitación normal mensual y precipitación máxima mensual, año de valor máximo, número de días con lluvia y número de años de datos. Se elaboraron cinco tablas con esos valores que fueron reflejados en cinco pluviogramas respectivamente que proyectan los valores de precipitación normal mensual y precipitación máxima mensual. Este procedimiento se realizó para comparar los valores máximos mensuales de precipitación respecto a la normal.

Tabla 14. Datos de la estación 02038 en Tijuana, Baja California (SMN)

PRESA RODRIGUEZ (02038) Tijuana, Baja California (Normal climatológica 1951-2010)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación Normal Mensual (mm)	47.9	46.3	41.0	18.7	3.8	0.8	0.6	2.4	4.5	11.7	24.4	35.0	237.1
Precipitación Máxima Mensual (mm)	315.2	244.1	169.8	115.7	49.1	6.9	9.8	50.5	50.9	207.9	159.7	152.3	
Año de Máxima	1993	1998	1983	1965	1977	1972	1984	1977	1963	2004	1965	2008	
Número de Días con Lluvia	6.7	6.1	6.5	4.2	1.7	0.6	0.5	0.4	1.1	2.2	4.1	5.7	39.8
Años de datos	60	60	60	60	59	60	60	59	60	60	60	60	

Fuente: Normal Climatológica 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

Figura 34. Pluviograma de la estación 02038 en Tijuana, B.C. (SMN).



Fuente: Normal Climatológica 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

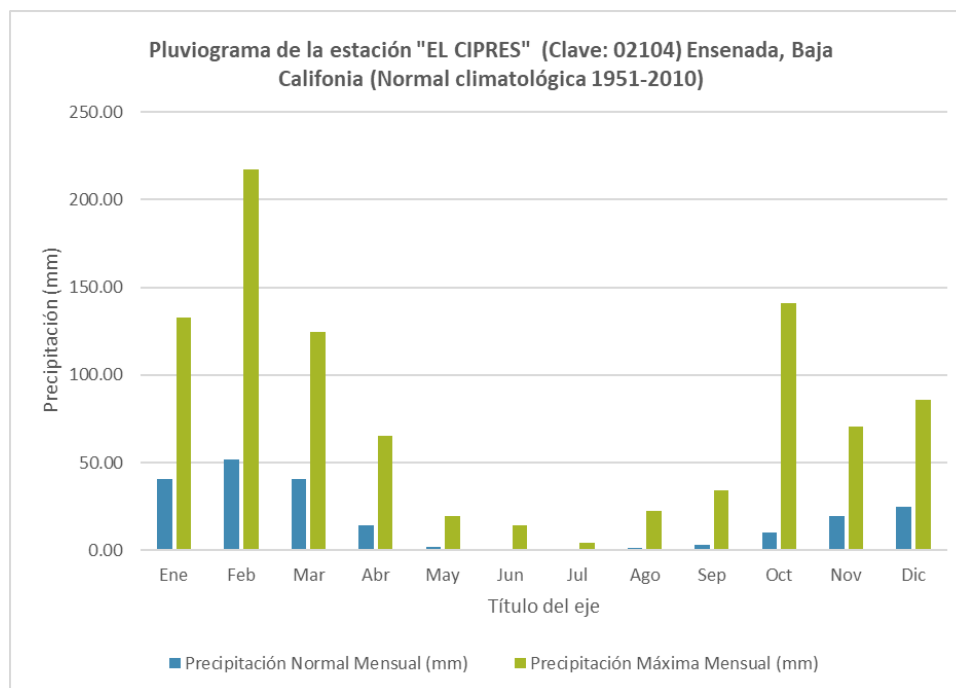
La precipitación en la ciudad de Tijuana, Baja California que se presenta principalmente en los meses de invierno y que su precipitación acumulada anual es de 237.1 mm con un total promedio de 39.8 días de lluvia al año. En el pluviograma de la estación “Presa Rodríguez” se puede identificar que las precipitaciones máximas históricas superan considerablemente las precipitaciones normales mensuales, sobre todo en enero y febrero, que llegan a ser hasta diez veces más que lo normal esperado en precipitación.

Tabla 15. Datos de la estación 02104 en Ensenada, Baja California (SMN)

El CIPRES (02104) Ensenada, Baja California (Normal climatológica 1951-2010)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación Normal Mensual (mm)	40.90	51.70	40.70	14.40	1.80	0.90	0.50	1.50	2.90	10.40	19.70	24.50	209.90
Precipitación Máxima Mensual (mm)	133.0	217.2	124.4	65.0	19.3	14.0	4.5	22.2	34.0	141.0	70.3	85.7	
Año de Máxima	1980	1998	1978	1988	1998	2000	2003	1977	1983	2004	1983	1977	
Número de Días con Lluvia	4.9	5.9	5.0	3.1	1.1	0.8	0.5	0.7	0.7	1.8	2.6	3.3	30.40
Años de datos	30	31	30	30	31	32	30	29	28	29	29	29	

Fuente: Normal Climatológica 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

Figura 35. Pluviograma de la estación 02104 en Ensenada, Baja California (SMN).



Fuente: Normal Climatológica 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

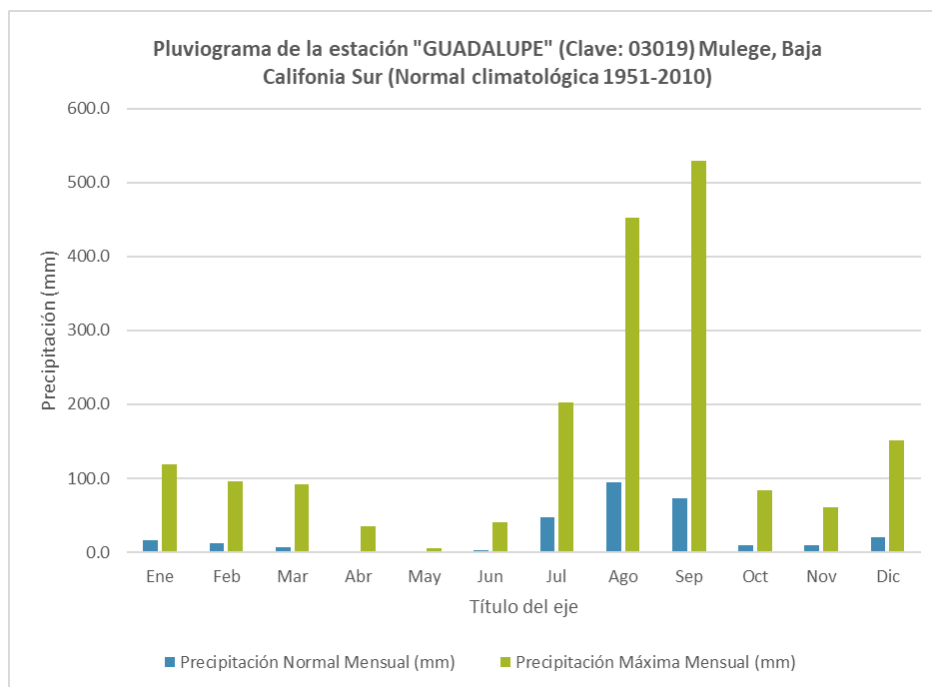
La precipitación en la ciudad de Ensenada, Baja California se da principalmente en los meses de invierno, particularmente en febrero y que su precipitación acumulada anual es de 209.9 mm con un total promedio de 30.4 días de lluvia al año. De la misma forma que su precipitación máxima mensual puede superar los 200 mm de precipitación respecto a la normal apenas superior a los 50 mm.

Tabla 16. Datos de la estación 03019 en Mulege, Baja California Sur (SMN).

GUADALUPE (03019) Mulege, Baja California Sur (Normal climatológica 1951-2010)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación Normal Mensual (mm)	16.3	11.8	6.4	1.7	0.3	2.7	47.1	94.3	73.2	9.2	9.7	20.2	292.9
Precipitación Máxima Mensual (mm)	119.6	95.5	91.5	35.0	5.0	40.0	203.0	452.0	529.0	84.0	60.3	151.0	
Año de Máxima	1993	1991	1992	1986	1956	2001	1984	1992	2009	2006	1994	1994	
Número de Días con Lluvia	1.7	1.6	0.9	0.3	0.2	0.3	3.9	6.0	3.8	1.0	1.1	1.9	22.7
Años de datos	48	47	44	44	42	45	46	44	43	45	46	46	

Fuente: Normal Climatológica 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

Figura 36. Pluviograma de la estación 03019 en Mulege, Baja California Sur (SMN)



Fuente: Normal Climatológica 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

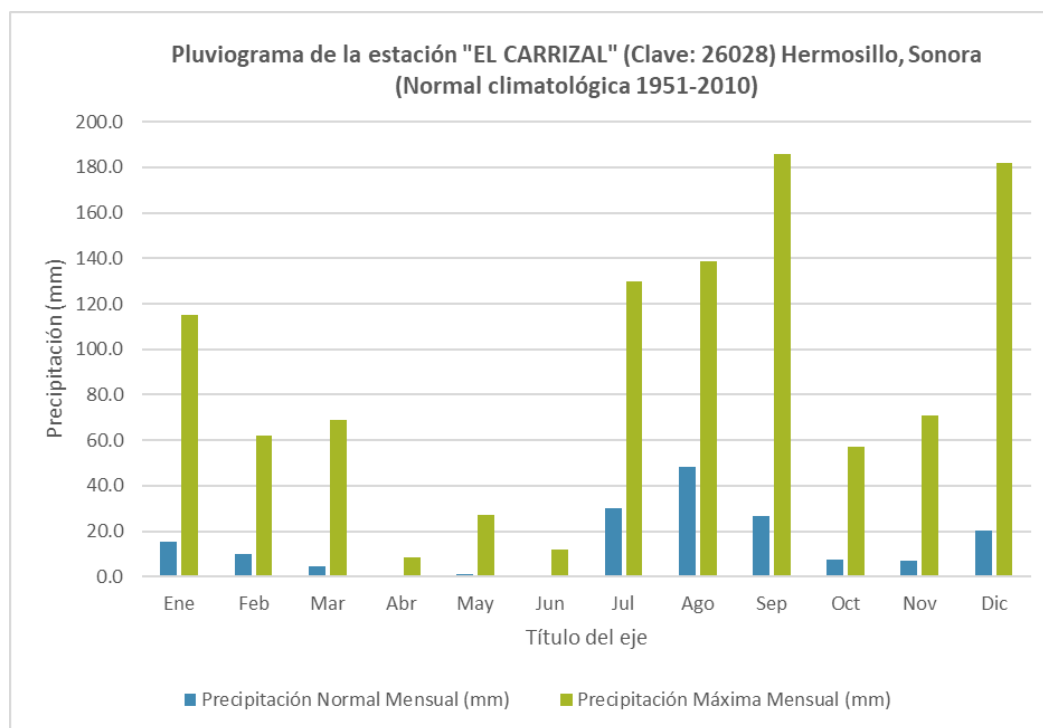
Los datos de la estación “Guadalupe” con clave 03019 reflejan que la precipitación en Múgele, Baja California Sur se dan principalmente en los meses de verano, particularmente en agosto con casi 100 mm de precipitación y la máxima puede llegar a ser superior a los 500 mm en el mismo mes.

Tabla 17. Datos de la estación 26028 en Hermosillo, Sonora (SMN)

EL CARRIZAL (26028) Hermosillo, Sonora (Normal climatológica 1951-2010)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación Normal Mensual (mm)	15.4	9.8	4.5	0.8	1.1	0.9	30.2	48.4	26.7	7.6	7.0	20.5	172.9
Precipitación Máxima Mensual (mm)	115.0	62.0	69.0	8.5	27.0	12.0	130.0	138.5	185.7	57.0	71.0	182.0	
Año de Máxima	1984	1978	1957	2001	1972	1956	1985	1955	1958	1958	1994	1994	
Número de Días con Lluvia	1.7	1.4	0.7	0.2	0.1	0.2	3.3	4.2	2.1	1.0	1.0	2.2	18.1
Años de datos	42	42	41	42	36	39	40	41	41	42	43	42	

Fuente: Normal Climatológica 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

Figura 37. Pluviograma de la estación 26028 en Hermosillo, Sonora (SMN).



Fuente: Normal Climatológica 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

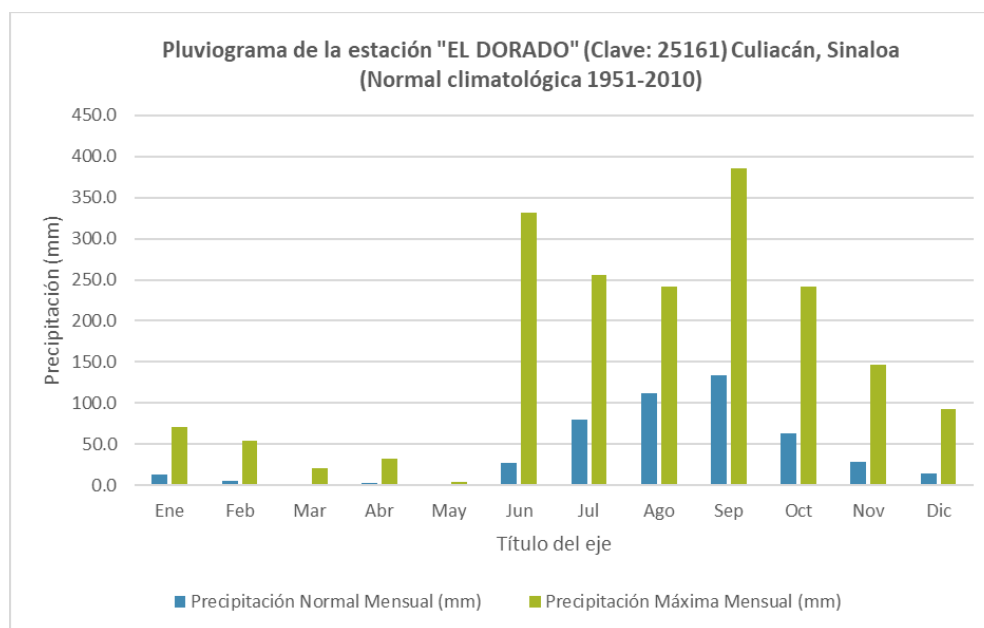
El pluviograma de la estación “El Carrizal” con clave 26028 refleja que la precipitación en Hermosillo, Sonora es de verano, con máximas que pueden lograr los más de 180 mm respecto a la normal de 26.7 mm en el mes de septiembre.

Tabla 18. Datos de la estación 25161 en Culiacán, Sinaloa (SMN)

EL DORADO (25161) Culiacán, Sinaloa (Normal climatológica 1951-2010)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación Normal Mensual (mm)	13.4	5.8	2.0	2.7	0.5	27.1	79.8	111.5	134.5	63.1	28.5	15.3	484.2
Precipitación Máxima Mensual (mm)	71.7	54.1	21.3	33.0	5.0	331.0	255.2	242.1	385.5	241.9	146.7	93.0	
Año de Máxima	1979	1973	1983	1997	1997	1971	1974	1971	2006	1980	1976	1982	
Número de Días con Lluvia	1.6	0.7	0.6	0.4	0.3	1.6	7.9	10.7	8.6	3.0	1.6	1.6	38.6
Años de datos	23	22	25	25	25	24	22	22	20	21	19	20	

Fuente: Normal Climatológica 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

Figura 38. Pluviograma de la estación 25161 en Culiacán, Sinaloa (SMN).



Fuente: Normal Climatológica 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

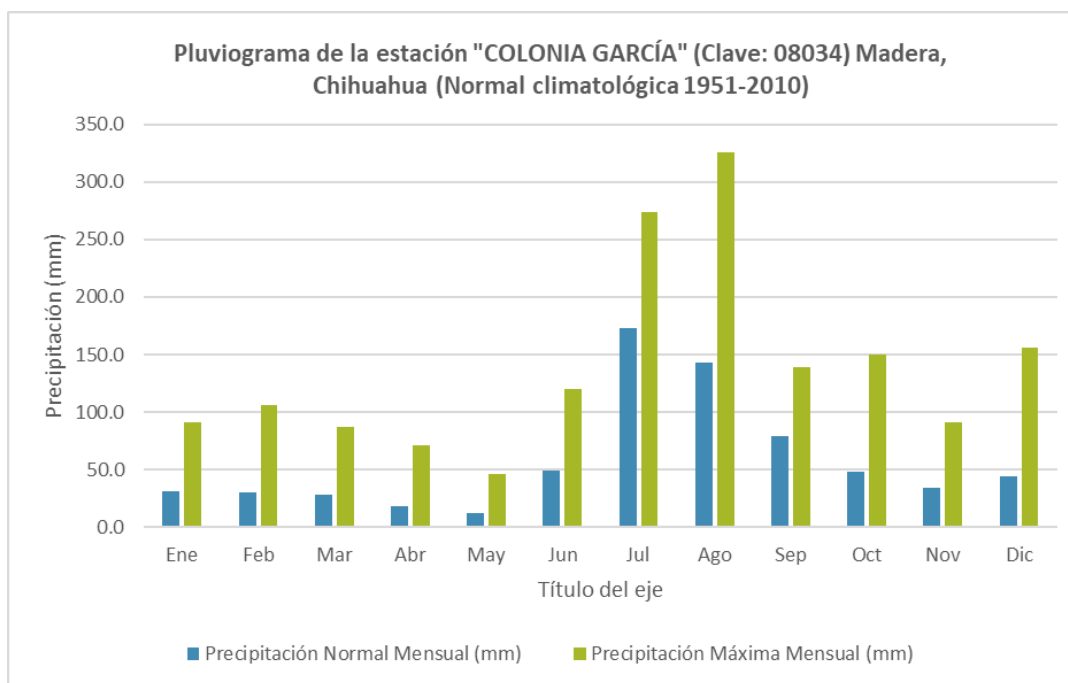
El pluviograma de la estación “El Dorado” en Culiacán, Sinaloa refleja que el régimen de precipitación normal es de verano, con máximas en el mes de septiembre que en promedio superan los 130 mm pero que pueden alzarse hasta los 385 mm en dicho mes.

Tabla 19. Datos de la estación 08034 en Madera, Chihuahua (SMN)

COLONIA GARCÍA (08034) Madera, Chihuahua (Normal climatológica 1951-2010)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación Normal Mensual (mm)	31.6	30.3	27.9	17.9	12.2	49.2	173.1	143.1	78.8	48.4	34.6	44.5	651.6
Precipitación Máxima Mensual (mm)	91.5	106.0	87.0	71.5	46.0	120.0	274.0	326.0	139.5	150.0	91.0	156.0	
Año de Máxima	1979	1973	1970	1987	1976	1986	1976	1984	1983	1972	1983	1984	
Número de Días con Lluvia	5.0	3.9	3.4	2.4	2.0	5.7	18.5	16.4	9.8	4.9	3.3	5.2	80.5
Años de datos	20	21	19	21	21	21	20	21	21	20	20	19	

Fuente: Normal Climatológica 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

Figura 39. Pluviograma de la estación 08034 en Madera, Chihuahua (SMN).



Fuente: Normal Climatológica 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

La última estación recopilada fue la de "Colonia García" en el municipio de Madera, Chihuahua ya que está dentro de la región que puede tener influencia de los ríos atmosféricos según las precipitaciones potenciales analizadas. En el pluviograma se puede destacar que sus lluvias son principalmente de verano pero que tienen una ligera alza en el mes de diciembre y enero.

Todo lo anterior refleja que los regímenes de precipitación están marcados por ser lluvias de verano o invierno en los estados que existen RA identificados, siendo posible que parte de la lluvia invernal presentada en los meses de invierno sea causada por estos fenómenos, sin embargo, se requiere un mayor análisis y volumen de muestras para afirmar esta idea, aunque no se debe de descartar su total influencia en la pluviometría de la región.

3.3 Grado de significancia pluviométrica

La definición y descripción de las características de los ríos atmosféricos resulta un tema relevante para la previsión del tiempo y su consideración en temas de protección civil. Por lo tanto, es importante reconocer y describir sus características meteorológicas para posteriormente reconocerlos en los análisis sinópticos. Esto puede redundar en un mejor análisis hidrológico y de riesgos más profundos a nivel nacional. Sin embargo, la falta de datos de registros históricos de largo plazo en la región de interés, así como su poca accesibilidad, las limitantes tecnológicas y la ausencia de información previa, hacen de la labor de investigación sea una tarea ardua dentro del campo de las ciencias atmosféricas y otras ciencias relacionadas. Se hace esta acotación, ya que los datos de precipitación de los RA identificados en México son aproximaciones o estimaciones hechas con base en información disponible de modelos de precipitación y no son lluvias registradas directamente por una estación meteorológica debido a la falta de datos disponibles.

De los 31 casos de RA identificados en México, destaca el estado de Baja California por tener la mayor ocurrencia de precipitación por estos eventos, seguida de Sonora con 28 eventos de precipitación estimada por RA, mientras que Baja California Sur pese a su cercanía geográfica con el primer estado apenas tiene la mitad de ocurrencia de estos fenómenos, y en menor medida Chihuahua y Sinaloa con apenas 11 y 3 eventos de lluvias estimadas respectivamente (Tabla 20).

Tabla 20. Eventos relevantes de RA por Estado

Estado	No. de eventos de RA (2016-2021)	Evento destacable	Fecha de precipitación máxima	Precipitación máxima estimada en 24 horas (mm)
Baja California	31	Caso no. 4	22/12/2016	180.00
Sonora	28	Caso no. 15	27/11/2019	90.00
Baja California Sur	14	Caso no. 7	18/02/2017	70.00
Chihuahua	11	Caso no. 7	19/02/2017	45.00
Sinaloa	3	Caso no. 15	28/11/2019	50.00

Nota: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración.

La precipitación máxima estimada en 24 horas mostrada por estado identifica a Baja California no solo como el estado más expuesto a la precipitación de estos fenómenos, sino también como el que puede registrar la mayor precipitación en un día. Fue el caso del 22 de diciembre de 2016, con una precipitación estimada en 24 horas de 180.00 mm. La ocurrencia de eventos de RA, disminuye en las entidades de Sonora, B. California Sur, Chihuahua y Sinaloa, así como el máximo de precipitación estimada en 14 horas.

Tabla 21. Datos pluviométricos por estado de un evento relevante de RA, Precipitación Normal Mensual y Máxima Histórica

Estado	No. de eventos de RA (2016-2021)	Evento destacable	Fecha de precipitación máxima	Precipitación máxima estimada en 24 horas (mm)	Precipitación normal mensual según la normal climatológica 1951 - 2010	Precipitación máxima histórica (mm)	Mes de precipitación máxima	Año de máxima histórica	Estación referente
Baja California	31	Caso no. 4	22/12/2016	180.00	35.00	152.30	Diciembre	2008	PRESA RODRIGUEZ (02038) Tijuana, Baja California
Sonora	28	Caso no. 15	27/11/2019	90.00	7.00	71.00	Noviembre	1994	EL CARRIZAL (26028) Hermosillo, Sonora
Baja California Sur	14	Caso no. 7	18/02/2017	70.00	11.80	95.50	Febrero	1991	GUADALUPE (03019) Mulege, Baja California Sur
Chihuahua	11	Caso no. 7	19/02/2017	45.00	30.30	106.00	Febrero	1973	COLONIA GARCÍA (08034) Madera, Chihuahua
Sinaloa	3	Caso no. 15	28/11/2019	50.00	28.50	146.70	Noviembre	1976	EL DORADO (25161) Culiacán, Sinaloa

Nota: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y su duración y datos del SMN.

En la Tabla 21 se muestran los datos de precipitación normal mensual y precipitación máxima histórica mensual según la normal climatológica 1951-2010 del SMN, de acuerdo con el mes de precipitación máxima estimada en 24 horas, según el evento más destacable por año por Estado, valores tomados de la estación meteorológica dentro del Estado identificado.

Tabla 22. Porcentaje de lluvia asociada a RA respecto a la precipitación normal y máxima histórica

Estado	Evento RA destacable	Mes de Análisis	Precipitación máxima estimada en 24 horas (mm) del RA	Valor porcentual respecto a la precipitación normal mensual	Valor porcentual respecto al máximo histórico
Baja California	Caso no. 4	Diciembre	180.00	514.3%	118.2%
Sonora	Caso no. 15	Noviembre	90.00	1285.7%	126.8%
Baja California Sur	Caso no. 7	Febrero	70.00	593.2%	73.3%
Chihuahua	Caso no. 7	Febrero	45.00	148.5%	42.5%
Sinaloa	Caso no. 15	Noviembre	50.00	175.4%	34.1%

Nota: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y datos del SMN.

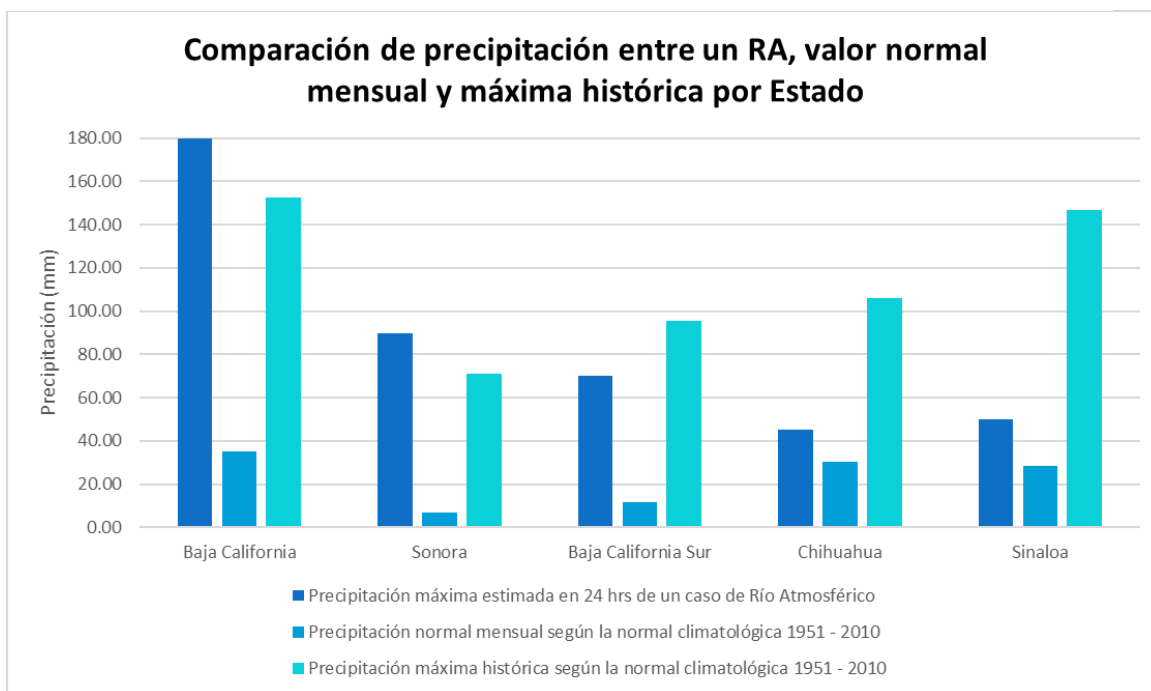
Con los datos de precipitación normal mensual y precipitación máxima histórica, se realizó una comparación porcentual con la precipitación máxima estimada en 24 horas de un RA, como se evidencia en la Tabla 22.

Resultando que, en Tijuana, Baja California Sur donde se destaca el caso no. 4 donde la precipitación máxima estimada en 24 horas del RA, superó la máxima histórica de 1991 (118.2%) y hasta cuatro veces la precipitación normal mensual de la región en diciembre (514.3%).

Algo similar ocurre con Hermosillo, Sonora, donde las precipitaciones de un RA podrían superar hasta seis veces el valor normal mensual de noviembre en 24 horas (1285.7%) y poco más la máxima histórica registrada en 1994 (Tablas 21 y 22).

Los casos de Baja California Sur, Chihuahua y Sinaloa difieren de los estados anteriores, pues la precipitación máxima histórica registrada en 1991, 1973 y 1976 respectivamente, no se superan por precipitaciones en 24 horas de un RA. Sin embargo, en Baja California Sur es posible hasta triplicarse la precipitación respecto a la normal mensual de febrero, mientras que, para Chihuahua y Sinaloa, los estados identificados con menos ocurrencia de estos fenómenos apenas tendrían un aporte del 50% más de la normal mensual esperado en lluvias para los meses de febrero y noviembre correspondientemente de forma estimada.

Figura 40. Comparación pluviométrica entre un RA, normal mensual y máxima histórica por estado.



Nota: Elaboración propia basada en el registro de eventos detectados y datos del SMN.

3.4 Propuesta de categorización de peligro hidrometeorológico de ríos atmosféricos para México

De acuerdo con la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos (2006) de CENAPRED, la identificación de riesgos es el “conocer los peligros y amenazas a los que se está expuesto; estudiar y conocer los fenómenos perturbadores identificando dónde, cuándo y cómo afectan” (CENAPRED, 2006; pág. 7), en el presente apartado solamente se hace un abordaje introductorio sobre la identificación del riesgo por RA según lo observado en los casos para México, de acuerdo con la intensidad de precipitación.

De acuerdo con el SMN se caracteriza la intensidad de lluvia en torrencial, fuerte, moderada y ligera según su volumen por unidad de tiempo (mm/h), siendo así la categorización en la cual se basó para identificar la intensidad de los ríos atmosféricos, con la falta de que fue el volumen de precipitación máxima estimada acumulada durante 24 horas, por lo que el rango de intensidad de lluvias del SMN se vio rebasado para torrencial en la mayoría de las ocasiones (Tabla 23).

Tabla 23. Intensidad de precipitación de un RA según clasificación el SMN

Categoría	Rangos según el SMN (mm/hr)	Número de casos con esa categoría (SMN)	Rango de impactos presentables
Torrencial	> 60.1	15	0 - 8
Fuerte	15.1 - 60	11	0 - 5
Moderada	5.1 - 15	4	0
Ligera	<5	1	0
		Total: 31 casos	

Nota: Elaboración propia basada en el registro de eventos de RA y datos del SMN.

Siendo que la categorización dada por el SMN es limitada en unidad de tiempo para la duración de los RA en México, aquí se proponen las mismas categorías, pero con rangos más amplios de volumen de precipitación máxima acumulable en veinticuatro horas.

De esta forma la distribución de rangos está más acorde con intensidad de las lluvias de los ríos atmosféricos y su relación con los impactos, como se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24. Propuesta de intensidad de precipitación de RA

Categoría	Rangos de precipitación máxima (mm) en 24 horas para RA	Número de casos con esa categoría (Propuesta)	Rango de impactos presentables
Torrencial	> 120.1	7	3 - 8
Fuerte	60.1 - 120	8	0 - 7
Moderada	15.1 - 60	11	0 - 5
Ligera	< 15	5	0
		Total: 31 casos	

Nota: Elaboración propia basada en el registro de eventos de RA y datos del SMN.

Adicionalmente, en este estudio se propone un semáforo de lluvias por ríos atmosféricos para México (Tabla 25), según la escala de intensidad presentada, que va del rojo, anaranjado, amarillo y verde según sea torrencial, fuerte, moderada o ligera la precipitación máxima acumulable en veinticuatro horas, también se presentan los códigos RGB como lo pide la escala cromática a emplearse en la representación de amenaza, peligro, vulnerabilidad y riesgo (SEDATU, 2016).

Tabla 25. Semáforo de lluvias por río atmosférico

Semáforo de lluvias por río atmosférico		
Color	Intensidad de la precipitación	Precipitación máxima acumulable (mm/24 h)
RGB: 230, 000, 000	Torrencial	≥ 120.1 mm
RGB: 245, 150, 000	Fuerte	60.1 - 120 mm
RGB: 255, 255, 000	Moderada	15.1 - 60 mm
RGB: 170, 255, 000	Ligera	≤ 15 mm

Nota: Elaborado en base a "Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos" (SEDATU, 2016).

Además de un semáforo de peligro por intensidad de la precipitación y las posibles afectaciones relevantes que se pudieran presentar según la intensidad de la lluvia, esta clasificación se hizo según lo observado en los casos identificados y los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos (SEDATU, 2016).

Tabla 26. Semáforo de peligro por río atmosférico

Semáforo de peligro por Río Atmosférico			
Color	Intensidad de la precipitación	Nivel de peligro	Posibles afectaciones relevantes
	Torrencial	Peligro elevado	Deslizamiento de laderas, arrastre de vehículos, afectación en actividades aeroportuarias y marítimas.
	Fuerte	Peligro moderado	Encharcamientos e inundaciones, caída de objetos endebles y crecida de arroyos. Nevadas.
	Moderada	Peligro bajo	Caída de ramas y árboles por fuertes vientos.
	Ligera	Sin peligro	Ninguna.

Nota: Elaboración propia basada en datos del SMN y CENAPRED para clasificación de peligros hidrometeorológicos.

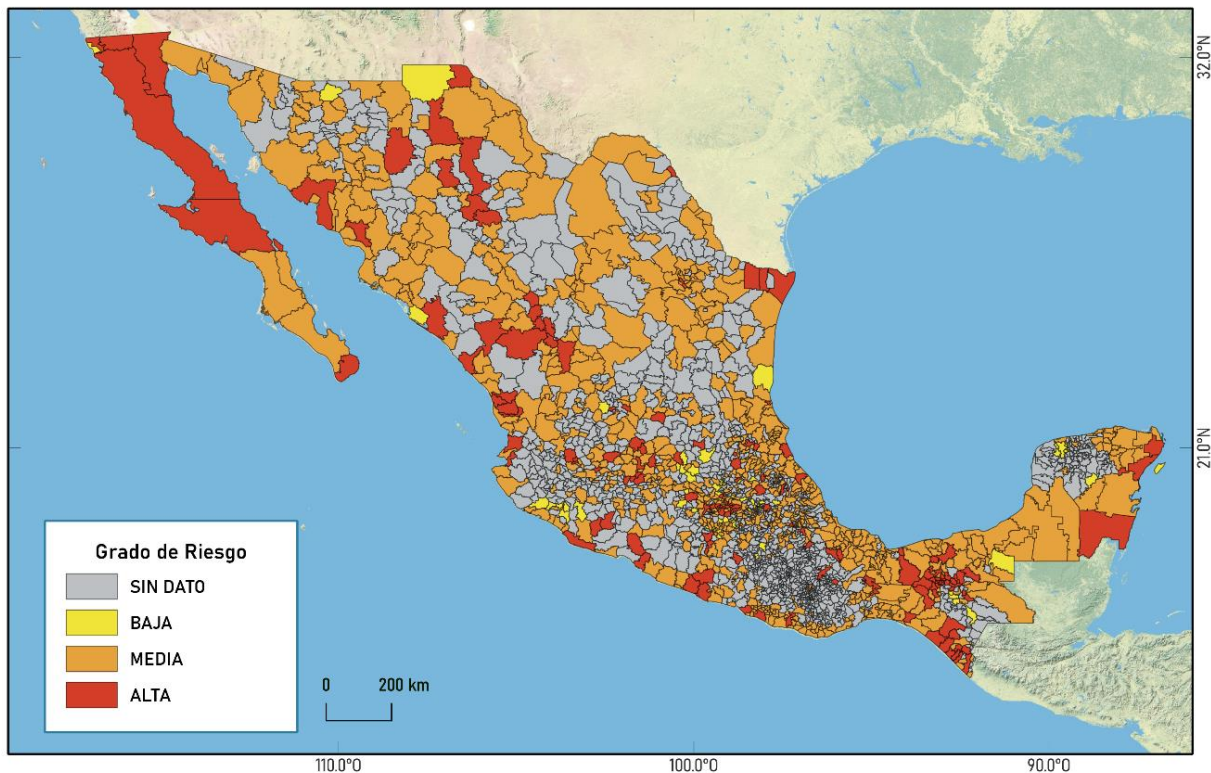
Es importante recalcar que este semáforo (Tabla 26) fue elaborado con base en los estados identificados (principalmente en la Península de Baja California) y que al ser una propuesta, no debe de considerarse como oficial o definitiva para todo México. Es responsabilidad de quién utiliza estos datos para la emisión de alertas o toma de decisiones.

En 2007 el CENAPRED presentó un mapa que “muestra el grado de riesgo por inundaciones por municipio en una clasificación de alto a bajo, en el cual se identifican los municipios de México donde la población es más vulnerable de sufrir afectaciones en caso de inundaciones, dadas las condiciones de la población” (Figura 41).

Figura 41. Mapa de Riesgo municipal por Inundación

Nivel de Riesgo por Inundación por Municipio

Diseño de mapa elaborado por Daniela F. Cuauhtémoc Vargas con datos de Centro Nacional de Prevención de Desastres (2007) a escala municipal obtenidos del Portal de Geoinformación de la CONABIO.



Nota: Diseño de la cartografía basada en datos del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) del 2007, obtenidos del Portal de Geoinformación de la CONABIO.

En la Figura 41 se puede apreciar que los municipios de la Península de Baja California, en su mayoría tienen un alto riesgo de inundación, así como algunos costeros en Sonora y Sinaloa, regiones donde impactan los RA. La mayoría de los municipios a nivel nacional tienen un riesgo medio, según los datos disponibles.

Esta información sirve como referente de lo vulnerable que es el país en términos generales frente a las inundaciones, aunque hace falta considerar la intensidad de la precipitación, las condiciones actuales o particulares del territorio y otros factores sociales para tener una mayor precisión del nivel de riesgo.

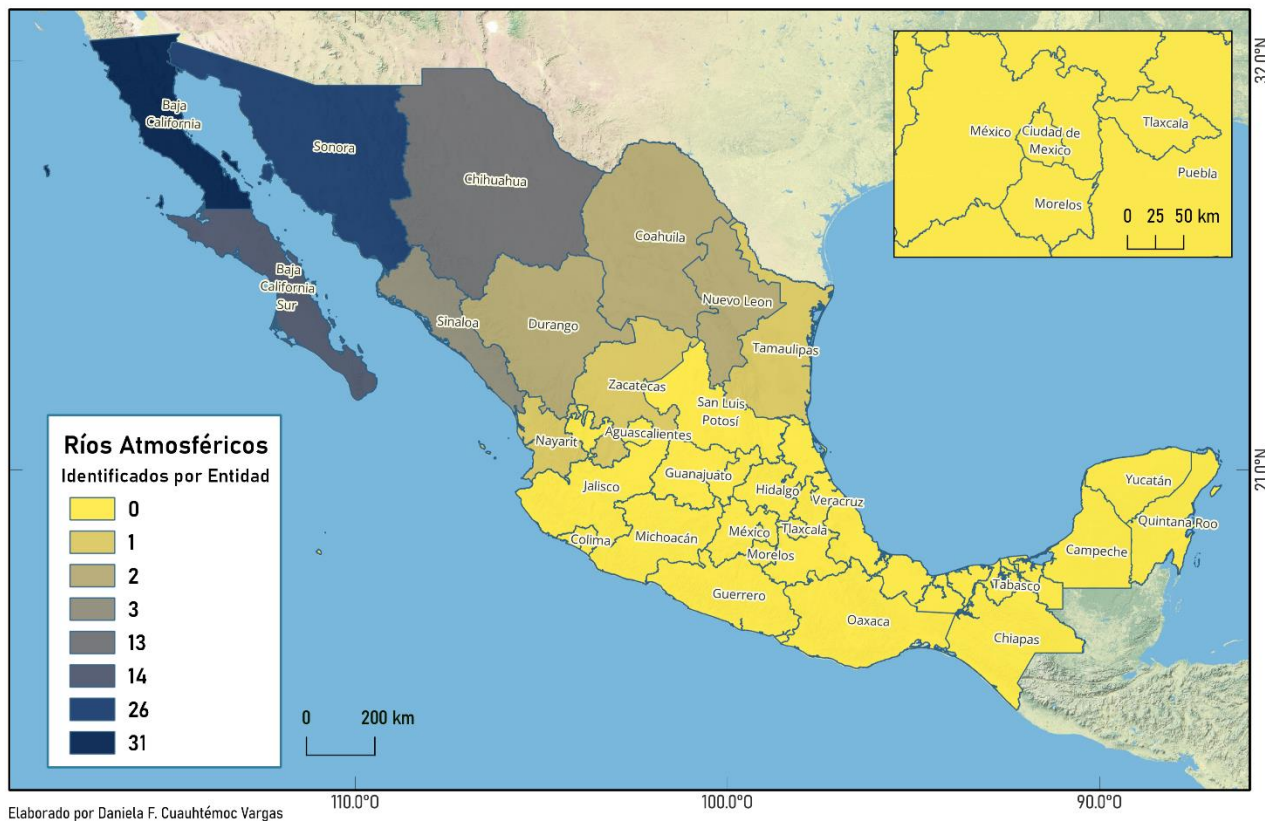
3.5 Cartografía nacional de exposición a ríos atmosféricos

Los ríos atmosféricos pueden impactar en costas nacionales de México, según lo observado en este estudio, identificados en el Pacífico Norte, que han presentado influencia en los estados del noroeste del país, principalmente en Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Sonora y Sinaloa. Aunque también pueden generar precipitaciones y tener influencia en estados del interior del país cuando penetra con suficiente fuerza impulsado o apoyado por un frente y llegan a generar precipitaciones moderadas o ligeras en Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, Zacatecas o Nayarit, aunque son menos frecuentes.

De acuerdo con los ríos atmosféricos detectados en el periodo de estudio, de los 31 casos, todos tuvieron influencia en el estado de Baja California, disminuyendo su frecuencia, descendiendo la latitud geográfica y la longitud hacia el este o el interior del país. Este resultado (Figura 42) es explicable dada la ubicación geográfica de la Península de Baja California, como territorio más expuesto a las condiciones del Océano Pacífico Norte que tiene alta ocurrencia de ríos atmosféricos en invierno. Además de que, la metodología estuvo basada en la identificación de estos fenómenos por el Center for Western Weather and Water Extremes (CW3E) que trabaja exclusivamente hasta el momento para la identificación de los eventos para las costas del oeste de Estados Unidos; Por lo que, se requeriría obtener más fuentes que estudien y detecten estos fenómenos para el Golfo de México, el caribe mexicano o las costas sur del pacífico, así como darles seguimiento para saber su influencia y ocurrencia.

Figura 42. Frecuencia de Ríos Atmosféricos por Entidad (2016 - 2021).

Frecuencia de Ríos Atmosféricos por Entidad (2016 - 2021)



Elaborado por Daniela F. Cuahtémoc Vargas

Fuente: Elaboración propia basada en la identificación de ríos atmosféricos en México.

Nota: Se puede apreciar mejor el mapa en el ANEXO 32.

Cabe mencionar que no se descarta la presencia o influencia de estos fenómenos en el sur y/o este del país, debido a que aún no existen estudios o datos de monitoreo suficientes para determinar si estos eventos impactan en el sur o las costas de otras entidades de México.

El principal problema para reconocer la influencia de estos fenómenos a escala nacional, es la falta de datos disponibles, actualizados y coherentes de monitoreo de la atmósfera que se enfoque en la llegada de humedad y la identificación de ríos atmosféricos a macroescala.

Tabla 27. Matriz de frecuencia de ríos atmosféricos por estado (2016 - 2021)

Matriz de Frecuencia de Ríos Atmosféricos por Entidad (2016 - 2021)													
Caso RA	Baja California	Baja California Sur	Chihuahua	Coahuila	Durango	Nayarit	Nuevo León	Sinaloa	Sonora	Tamaulipas	Zacatecas	Otros Estados	Estados impactados por caso
#1	1		1						1				3
#2	1												1
#3	1								1				2
#4	1	1							1				3
#5	1	1	1						1				4
#6	1	1	1						1				4
#7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		11
#8	1	1							1				3
#9	1	1							1				3
#10	1								1				2
#11	1												1
#12	1												1
#13	1								1				2
#14	1								1				2
#15	1	1	1	1	1		1	1	1				8
#16	1	1	1						1				4
#17	1	1	1						1				4
#18	1	1	1					1	1				5
#19	1	1	1						1				4
#20	1	1	1						1				4
#21	1	1	1						1				4
#22	1												1
#23	1								1				2
#24	1								1				2
#25	1								1				2
#26	1		1						1				3
#27	1	1	1						1				4
#28	1								1				2
#29	1								1				2
#30	1												1
#31	1								1				2
Total por entidad	31	14	13	2	2	1	2	3	26	1	1	0	

Nota: Elaboración propia basada en la identificación de ríos atmosféricos en México.

Capítulo 4. Recomendaciones para el seguimiento de ríos atmosféricos en México

Los ríos atmosféricos en México, como se ha evidenciado a lo largo de todo este trabajo de investigación, son un reto para estudiar, principalmente por la ausencia de datos y registros históricos que los documenten formalmente. Así como el desconocimiento general sobre estos fenómenos en las definiciones meteorológicas y climáticas del país, sin olvidar su poco abordaje aún en la academia, reconocimiento en el gobierno e inexistente en el conocimiento colectivo de la sociedad.

El tema en sí es una oportunidad para que las entidades académicas, gubernamentales y sociales giren la mirada hacia un nuevo término que analizar para comprender mejor las condiciones físicas bajo las cuales estamos influenciados y expuestos, principalmente considerando las prioridades futuras a salvaguardar como los recursos hídricos ante el cambio climático.

Con base en los resultados de este estudio, se emiten las siguientes recomendaciones para que los ríos atmosféricos puedan ser abordados por instituciones o cualquier interesado en el tema.

Se recomienda de forma general:

- A. Que las instituciones de investigación gubernamentales o públicas inviertan en instrumental meteorológico que permita la obtención de datos de la atmósfera, para tener una base eficiente, actualizada y disponible que pueda ser consultada para los fines correspondientes a la investigación y prevención de riesgos.
- B. Incentivar las alianzas académicas y gubernamentales como oportunidad para la apertura a la innovación tecnológica y científica que requiere México en este tema.

- C. Mantenerse actualizado respecto a los estudios más recientes entorno a los RA, pues es fundamental para comprender mejor su definición, dinámica e importancia tanto a escala global como regional.

Metodológicamente se recomienda:

- A. Comprender en profundidad las formas de identificación, pronóstico y seguimiento de los eventos de ríos atmosféricos, consultando publicaciones recientes sobre el tema, para proponer o verificar otros métodos más sofisticados o recientes.
- B. Consultar diversos productos satelitales y de teledetección que permitan una completa identificación de la estructura de vapor de agua que transporta un RA, para ser comparadas simultáneamente con datos verificables de estaciones meteorológicas en campo de la región o zona de presencia del fenómeno en territorio continental o altamar.

Recomendaciones particulares al Servicio Meteorológico Nacional:

- A. Mantener sus canales de comunicación y consulta de datos meteorológicos abiertos al público en general, además de brindar datos actualizados de forma clara y eficiente; Ya que durante este trabajo hubo deficiencias para la obtención de datos de precipitación a nivel nacional, a pesar de la solicitud para consulta de estos en varias ocasiones, para así lograr una mayor profundidad en los objetivos de esta investigación.
- B. Reanalizar los casos de ríos atmosféricos expresados en sus boletines de previsión del tiempo meteorológico, como en los recuentos de eventos destacables de clima por año de 2019 y 2020, ya que son poco claros respecto a su identificación y su discordante seguimiento en los años más recientes. Además de clarificar su definición para el territorio nacional.

Discusión

Los resultados de esta investigación indican que en México existe evidencia de la presencia e influencia de ríos atmosféricos en temporada invernal, principalmente en los meses de diciembre y enero, en los que estos fenómenos pueden presentarse en los estados del noroeste del país, como lo son Baja California, Sonora, Baja California Sur y Sinaloa. Aunque también pueden ocasionar lluvias ligeras o moderadas en estados como Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Nayarit, Zacatecas y Tamaulipas.

Se identificaron treinta y un eventos de ríos atmosféricos en el periodo estudiado de 2016 a 2021 durante los meses de octubre a marzo de dichos años. De los cuales cinco eventos fueron de intensidad ligera (precipitación máxima acumulable estimada en 24 horas, menor o igual a 15 mm), once de intensidad moderada (15.1 a 60 mm), ocho de intensidad fuerte (60.1 a 120 mm) y siete de intensidad torrencial (igual o superior a los 120.1 mm) según la escala de intensidad de precipitación propuesta en este mismo trabajo.

Según la intensidad de la precipitación se presentan diferentes impactos en el territorio, como el deslizamiento de laderas, arrastre de vehículos, afectación en actividades aeroportuarias y marítimas, encharcamientos e inundaciones, caída de objetos endebles, crecida de arroyos y nevadas, principalmente en ocurrencia de lluvias torrenciales o fuertes.

De los treinta y un eventos identificados, tres de ellos generaron ocho impactos totales según la clasificación empírica asignada, así como otro caso que tuvo siete impactos, tres eventos que generaron cinco impactos en la sociedad y nueve eventos que generaron entre tres a cinco afectaciones, seis que generaron entre uno a dos impactos y doce que no generaron ninguna afectación reportada. Siendo que, la mayoría de los casos que tuvieron más impactos reportados tuvieron

una precipitación acumulada total estimada superior a los 100 mm y una duración no menor a tres días, con lluvias torrenciales y fuertes.

Se comprueba, además, mediante la prueba estadística de correlación r de Pearson, que existe una relación entre el volumen de precipitación total acumulada estimada en veinticuatro horas y el número de días de los eventos, que fortalecen que exista mayor número de impactos asociados entre mayor duración tenga el evento y mayor sea la precipitación total acumulada.

Con los datos de precipitación de diferentes estaciones muestra del Servicio Meteorológico Nacional, ubicadas en los estados que tuvieron casos destacables de ríos atmosféricos por intensidad de la precipitación (Baja California, Sonora, Baja California Sur, Chihuahua y Sinaloa), se realizó una comparación porcentual entre la precipitación máxima estimada de un día de un evento de RA destacable y la precipitación normal mensual y el máximo histórico de precipitación registrado en la región. Resultando que, por ejemplo, en municipios como Tijuana, Baja California Sur, el caso no. 4 de RA superó la precipitación máxima histórica de 1991 y hasta cuatro veces la precipitación normal mensual de la región en diciembre. Aunque hay otros estados que con menor ocurrencia de estos fenómenos apenas podrían aportar 50% más de lo normal mensual de forma estimada y no superar los máximos históricos registrados.

Adicionalmente, se expone un semáforo de lluvias por ríos atmosféricos para México de acuerdo con la intensidad de la precipitación; que tiene el rojo, anaranjado, amarillo y verde según sea torrencial, fuerte, moderada o ligera, la intensidad de la lluvia. Conjuntamente, para determinar el peligro de estos eventos, se propone una categorización del peligro, en cuatro niveles: elevado, moderado, bajo y sin peligro, basada en los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU).

Todo lo anterior descrito permite establecer la evidencia de que existe la ocurrencia de ríos atmosféricos en México, y que generan impactos en la sociedad, habiendo relación entre la intensidad de la precipitación de éstos con la cantidad de impactos que causan, y cómo su volumen de precipitaciones diarias genera una diferencia en algunas regiones del país al superar las normales mensuales o históricas de precipitación registradas. Además de apoyar en la generación de insumos para el manejo de los riesgos de tipo hidrometeorológico y abrir oportunidades en la investigación de estos fenómenos en el país.

Sin embargo, las limitaciones del presente trabajo se derivan de la poca disponibilidad de datos completos, recientes y accesibles para determinar el transporte de humedad que ingresa a escala nacional en todo el territorio. Siendo una estimación los valores de precipitación según el modelo CHIRPS v2.0 utilizado para determinar los aportes de precipitación en el país por estos eventos, así como los impactos dados por dichas precipitaciones en fechas identificadas de la posible presencia de un río atmosférico en el territorio según los boletines de pronóstico y monitoreo de la Universidad de California para las costas del oeste de los Estados Unidos.

No se descarta la posibilidad de que exista influencia de estos fenómenos en otras regiones del país como las costas del sur y el caribe, sin embargo, tendría que usarse otra metodología y bases de datos más completos de transporte de humedad y precipitaciones para determinarlo.

El presente trabajo es una aproximación y acercamiento inicial al conocimiento de estos fenómenos y sus impactos en México, descubriendo que aún existe mucho trabajo por hacer en el campo para reconocer su relevancia en todo el territorio mexicano.

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye lo siguiente:

Primero, según la metodología aplicada se identificaron treinta y un eventos de ríos atmosféricos en el país, dentro del periodo de estudio comprendido entre 2016 a 2021 de los meses de octubre a marzo de dichos años. Las entidades identificadas con mayor presencia de estos fenómenos atmosféricos son Baja California con 31 eventos detectados, Sonora con 26 eventos, Baja California Sur con 14 eventos y Chihuahua con 13 eventos, seguidos de Sinaloa con tres eventos, Coahuila, Durango y Nuevo León con dos eventos cada una, Nayarit, Tamaulipas y Zacatecas con un único evento registrado por entidad en el periodo estudiado.

Segundo, quince de los treinta y un ríos atmosféricos detectados en este estudio generaron precipitaciones superiores a los 60 mm de precipitación acumulada diaria estimada; ocho de intensidad fuerte (60.1 a 120 mm) y siete de intensidad torrencial (igual o superior a los 120.1 mm) según la escala de intensidad de precipitación propuesta en este mismo trabajo.

Tercero, once de los quince eventos de ríos atmosféricos que tuvieron precipitaciones superiores a los 60 mm generaron mínimo tres impactos en el territorio mexicano según la precipitación total acumulada diaria estimada, como deslizamiento de laderas, arrastre de vehículos, afectación en actividades aeroportuarias y marítimas, inundaciones, crecida de arroyos y nevadas, entre otros.

Cuarto, en respuesta a las preguntas de investigación, se demuestra que el territorio mexicano ha tenido el impacto de ríos atmosféricos durante el periodo de estudio, que produjeron precipitaciones fuertes o torrenciales, en estados del noroeste del país, como Baja California y Sonora, aceptándose la hipótesis

alternativa que afirma que existe presencia de ríos atmosféricos en México que generan impactos en el territorio.

Quinto, existe una relación positiva entre la cantidad de impactos asociados a ríos atmosféricos y su volumen de precipitación total acumulada por evento, así como con sus días de duración. Siendo que, entre mayor sea la duración de días del evento de RA en territorio mexicano, mayor será su precipitación total acumulada y por tanto, los impactos que pudiese ocasionar.

Sexto, la ubicación geográfica de México lo hace estar expuesto a estos fenómenos y por ende, a sus impactos como ya se han identificado, en consecuencia, la generación de propuestas de semáforos de lluvia y de peligro por río atmosférico, son insumos iniciales para contribuir en el manejo de los riesgos hidrometeorológicos a nivel nacional.

Finalmente, el estudio supone una contribución en la comprensión de la circulación general de la atmósfera y su influencia en México, por medio del transporte de vapor de agua proveniente del océano Pacífico traído por los eventos de ríos atmosféricos, que poco han sido considerados en la climatología del país, así como para reconocer el nivel de peligro de estos fenómenos atmosféricos y los impactos que pueden causar en la sociedad.

De cara a futuros estudios, sería conveniente analizar y profundizar más en estos fenómenos en el país, combinando metodologías cualitativas y cuantitativas a diferentes escalas espaciotemporales, además de integrar en el campo a diferentes disciplinas científicas y sociales que aborden a los ríos atmosféricos como parte de la geografía y climatología de México.

Las siguientes páginas están destinadas a mostrar las treinta y un fichas de identificación de los ríos atmosféricos detectados en México dentro del periodo 2016 a 2021. Se señala brevemente su temporalidad, ubicación, distribución e intensidad de precipitación, así como los impactos generados a su paso en los estados identificados en territorio nacional, además de mostrar productos satelitales de Transporte de Vapor de Agua Integrado (IWT), Agua Precipitable Total (TPW) y Precipitación Total Acumulada Estimada según el modelo matemático de CHIRPS v.2. que se utilizaron para su identificación. Adicionalmente, se muestra el mapa de frecuencia de ríos atmosféricos por entidad en México como resultado de esta investigación.

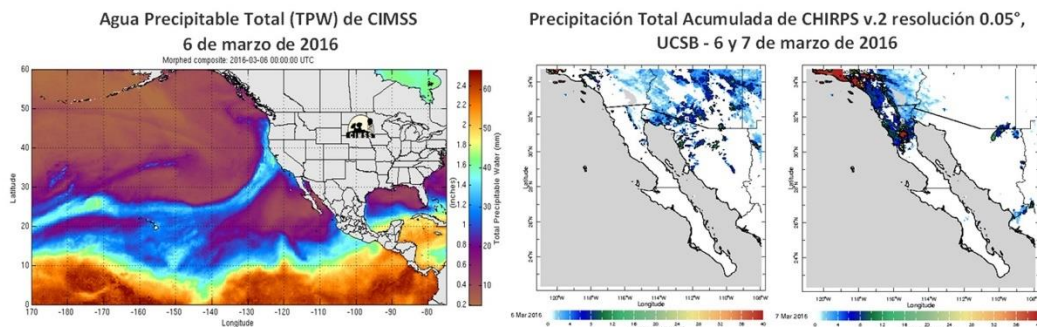
Ficha de Identificación de Río Atmosférico #1

Fecha:	Estación:	Estados impactados:
6–8 de marzo, 2016	Invierno	B. California, Sonora y Chihuahua
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (4 de marzo, 2016) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-5-7-march-2016-outlook/
3 días	150 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima* (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
06/03/2016	0 - 10	Moderada	10.0	Municipio General Plutarco Elías Calles, Cd. Sonoyta, Sonora
07/03/2016	0 - 110	Torrencial	110.0	Cerro Picacho del Diablo, B. California
08/03/2016	0 - 30	Fuerte	30.0	Área de Protección de Flora y Fauna Campo Verde, Chihuahua

Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UCSB/.CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.



Impactos reportados durante el evento:

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) pronosticó para el 6 de marzo vientos fuertes de hasta 60 km/h para siete estados del norte del país, entre ellos los de la Península de Baja California, Sonora y Chihuahua. El pronóstico regional señaló que la Península de B. California tendría 60% de probabilidad de lluvias aisladas. Dos días después, el 8 de marzo, Protección Civil del estado de Chihuahua informó de una nevada en 17 municipios en la zona noroeste de la entidad, así como municipios de Durango y Sonora que registraron caída de nieve y aguanieve, provocando el cierre de cuatro tramos carreteros en Chihuahua por la acumulación de hasta 20 cm de nieve; además se emitió un aviso por posibles precipitaciones al norte de Ciudad Juárez. Las causas de los eventos se atribuyeron al ingreso del **frente frío no. 44, asociado a la tormenta invernal 11** (Coria, 2016).

Referencias:

- Coria, C. (8 de marzo de 2016). *Tormenta invernal causa nevadas en Chihuahua, Sonora y Durango*. EXCELSIOR. Recuperado de <https://www.excelsior.com.mx/nacional/2016/03/08/1079590>
- NOTIMEX. (6 de marzo de 2016). *Alerta sobre posibles torbellinos en 8 estados del norte del país*. EXCELSIOR. Recuperado de <https://www.excelsior.com.mx/nacional/2016/03/06/1079144>

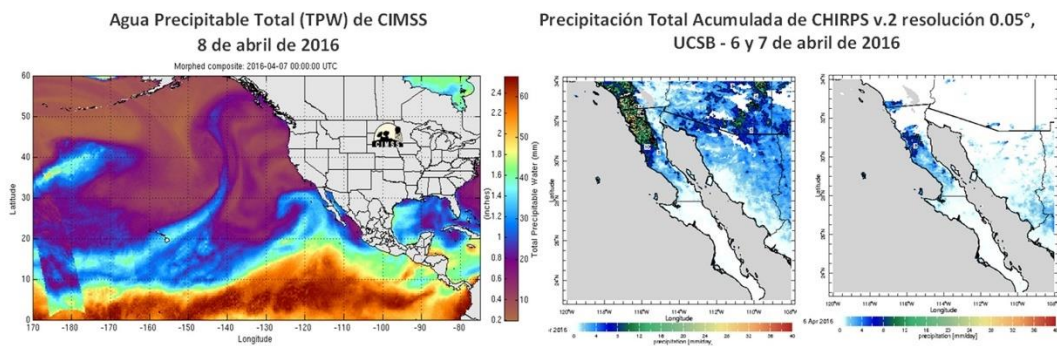
Ficha de Identificación de Río Atmosférico #2

Fecha:	Estación:	Estados impactados:
6—8 de abril, 2016	Primavera	B. California
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (7 de abril, 2016) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-7-10-april-2016-outlook/
3 días	85 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
06/04/2016	0 - 25	Fuerte	25.0	Cerro Picacho del Diablo, B. California
07/04/2016	0 - 40	Fuerte	45.0	Cerro Picacho del Diablo, B. California
08/04/2016	0 - 15	Moderada	15.0	Cerro Picacho del Diablo, B. California

Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UCSB/.CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.



Impactos reportados durante el evento:

La Capitanía del Puerto de Cabo San Lucas del estado de Baja California Sur emitió, el 7 de abril de 2016, un comunicado en el que restringen las actividades a embarcaciones menores y se solicita extremar precauciones por la ocurrencia de fuertes vientos y marejadas en las costas, situación meteorológica atribuida al paso de la **corriente en chorro subtropical** pronosticando nublados con potencial de lluvias ligeras o moderadas, bancos de niebla y tormentas eléctricas aisladas en la entidad.

Referencias:

BCS noticias. (7 de abril de 2016). *Por posibilidad de alto oleaje, piden extremar precauciones a embarcaciones en BCS.* BCS noticias. Recuperado de <https://www.bcsnoticias.mx/por-posibilidad-de-alto-oleaje-piden-extremar-precauciones-a-embarcaciones-en-bcs/>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #3

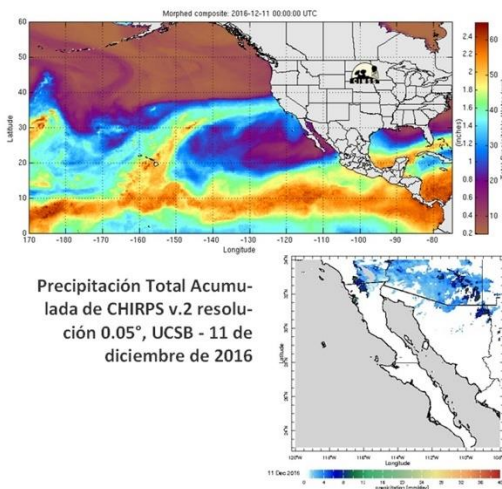
Fecha: 11 de diciembre, 2016
Estación: Otoño
Estados impactados: B. California y Sonora
Duración: 1 día
Precipitación total acumulada estimada: Reportado por CW3E (9 de diciembre, 2016) <https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-9-13-december-2016-outlook/>
 25 mm

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
11/12/2016	0 - 25	Fuerte	25.0	Ciudad de Ensenada, B. California

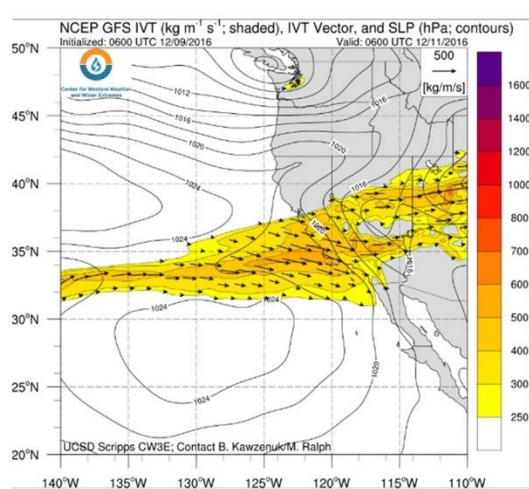
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/.v2p0/daily-improved/global/.Op05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
11 de diciembre de 2016



Pronóstico GFS al 11 de diciembre de 2016, que muestra Transporte de Vapor de Agua Integrado (IVT) y la presión a nivel del mar (CW3E)



Impactos reportados durante el evento:

No se registraron impactos de este evento en territorio mexicano, ya que el evento tuvo mayor presencia sobre el estado de California, Estados Unidos donde se pronosticaron precipitaciones de hasta 150 mm sobre las montañas de Sierra Nevada según C. Hecht y FM Ralph del CW3E.

Referencias:

Hecht C. y Ralph M. (9 de diciembre de 2016). *CW3E Atmospheric River Update – Outlook*. California DWR’s AR Program. CW3E Recuperado de https://cw3e.ucsd.edu/wp-content/uploads/2016/12/09Dec16_AROutlook/09Dec_Outlook.pdf

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #4

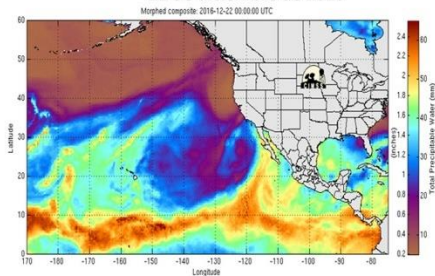
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
19–22 de diciembre, 2016	Invierno	B. California, B. California Sur y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada: 265 mm	Reportado por CW3E (22 de diciembre, 2016) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-23-25-december-2016-outlook/
4 días		

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
19/12/2016	0 - 25	Moderada	25.0	ANP Sierra de los Alamos, Sonora
20/12/2016	0 - 25	Moderada	25.0	Municipio de Tijuana, El Aguajito, B. California
21/12/2016	0 - 35	Moderada	35.0	San Martín, B. California
22/12/2016	0 - 180	Torrencial	180.0	Ciudad de Ensenada, B. California

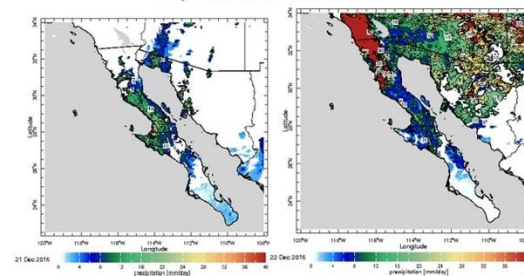
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UCSB/.CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
22 de diciembre de 2016



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB -
21 y 22 de diciembre de 2016



Impactos reportados durante el evento:

Para el día 22 de diciembre de 2016 el SMN informó que al norte de la Península de Baja California se ubicaba un “núcleo frío” que favorecería la inestabilidad atmosférica, produciendo vientos fuertes al noreste de hasta 60 km/hr en la región, se esperaba un cielo nublado para la región con probabilidad del 60% de tormentas fuertes, bajas temperaturas (0° a 5° C) en zonas montañosas y vientos fuertes en la Península de B.C. y Sonora (Gaceta mexicana). Ese mismo día se informó de la cancelación de vuelos, accidentes viales e inundaciones en las carreteras del sur de California, Estados Unidos (Weather), mientras que en municipios de Sonora se reportaron lluvias dispersas de 2 a 12 mm, así como la Secretaría de Comunicaciones y Transportes emitió recomendaciones de evitar actividades marítimas en las costas de la Península de Baja California y Sonora (Expreso). Al día siguiente diario local “El Vigía” reportó que debido a las lluvias recientes aunado al mal estado de las calles por los baches, son un riesgo para los conductores, ciclistas y peatones en el municipio de Ensenada, B.C.

Referencias:

1. Gaceta mexicana. (22 de diciembre de 2016). *Rachas fuertes de viento con clima frío prevén en norte y noreste de México*. www.gacetamexicana.com Recuperado de <https://www.gacetamexicana.com/rachas-fuertes-viento-clima-frio-prevén-norte-noreste-mexico/>
2. Breslin, S. (22 de diciembre de 2016). *Storm System Drenches West; Hundreds of Accidents Reported in California, Flooding Swamps Arizona Roads*. *Weather.com*. *The weather channel* Recuperado de <https://weather.com/news/news/rain-flooding-west-california-arizona-travel-impacts>
3. Pacheco, B. (23 de diciembre de 2016). “Exhiben” lluvias las calles dañadas. *El Vigía*. www.elvigia.net/ Recuperado de <https://www.elvigia.net/general/2016/12/23/exhiben-lluvias-calles-daadas-259508.html>
4. Redacción Web. (22 de diciembre de 2016). *Pronostican para Cajeme una máxima de 27°C y cielo medio nublado*. *Expreso*. www.expreso.com.mx. Recuperado de <https://www.expreso.com.mx/seccion/sonora/5109-pronostican-para-cajeme-una-maxima-de-27-c-y-cielo-medio-nublado.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #5

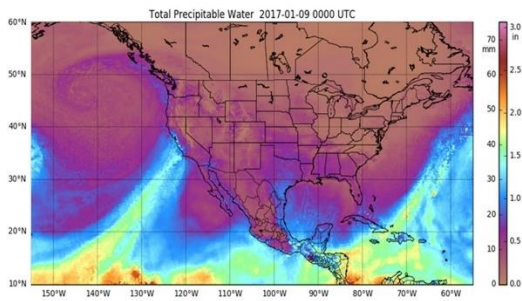
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
9–10 de enero, 2017	Invierno	B. California, B. California Sur y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (4 de enero, 2017) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-4-10-january-2017-outlook/
2 días	60 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
09/01/2017	0 - 50	Fuerte	50.0	Ciudad de Ensenada, B. California
10/01/2017	5 - 10	Moderada	10.0	Municipio de Trincheras, Tubutama y Nacorí Chico, Sonora

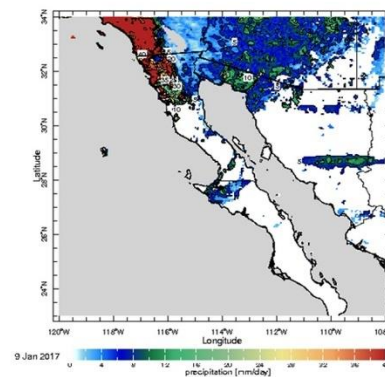
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UCSB/.CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
9 de enero de 2017



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 9 de enero de 2017



Impactos reportados durante el evento:

Durante los días de 9 y 10 de enero de 2017, no se registraron afectaciones o daños relacionados con lluvias o precipitaciones sobre municipios de Baja California y Sonora. Durante el día 10 de enero, un medio local informó que de acuerdo con el Pronóstico de Protección Civil de Baja California, se esperaban lluvias para la noche de ese mismo día para gran parte del Estado, siendo los municipios de Tijuana, Tecate y Rosarito los más afectados, además de la reducción de temperaturas durante los próximos días, con la posibilidad de chubascos y lluvias, así como la caída de agua nieve en zonas elevadas.

Referencias:

Yajhaira, A.(10/01/2017). *Lluvias esta noche y hasta el jueves en Tijuana, Tecate y Rosarito. Veraz Baja California*. Recuperado de <https://verazinforma.com/tecate/lluvias-esta-noche-y-hasta-el-jueves-en-tijuana-tecate-y-rosarito>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #6

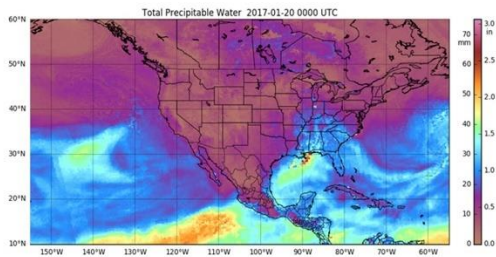
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
19–21 de enero, 2017	Invierno	B. California, B. California Sur y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (19 de enero, 2017) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-19-january-2017-outlook/
3 días	145 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
19/01/2017	0 - 80	Torrencial	80.0	Municipios de Tecate y Ensenada, B. California
20/01/2017	0 - 15	Moderada	10.0	Municipio de Tecate, California y algunos de Sonora como Magdalena e Ímuris
21/01/2017	0 - 55	Fuerte	55.0	Magdalena, Ímuris, Cucurpe, Arizpe, Sonora

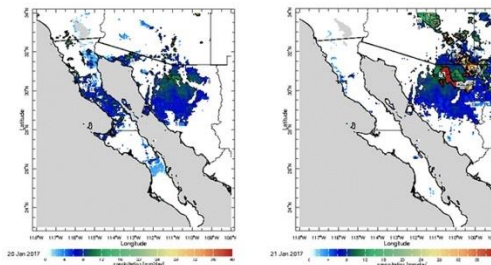
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/v2p0/daily-improved/global/0p05/prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
20 de enero de 2017



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 20 y 21 de enero de 2017



Impactos reportados durante el evento:

El día 20 de enero de 2017, el medio “San Diego Red” informó que por medio de un comunicado oficial de Protección Civil se emitió una advertencia por lluvias intensas para ese día en ciudades de Baja California que tienen supuesto potencial de inundaciones. Esperando fuertes vientos y nevadas en las partes altas de las sierras de la entidad, además de posibilidad de tormentas eléctricas en Tijuana, Tecate, Playas de Rosarito y Ensenada con una acumulación aproximada de 25 a 50 mm. Al día siguiente, 21 de enero, otro medio local informó la posibilidad de 80% de lluvias para Mexicali para ese mismo día, según un comunicado del Coordinador de la Unidad Municipal de Protección Civil, así como posibilidad de lluvias durante los siguientes dos días, el descenso de temperaturas y fuertes vientos, de acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional producto de **Quinta Tormenta Invernal de la Temporada y el Frente Frío Número 24.**

Referencias:

Ariday, N. (20/01/2017). Podría haber lluvia con tormenta eléctrica hoy en Tijuana *San Diego Red*, <https://www.sandiegored.com/es/noticias/136541/Podria-haber-lluvia-con-tormenta-electrica-hoy-en-Tijuana>

Monitor Económico (21/01/2017). Confirman lluvias para Mexicali y nieve para la Rumorosa *Monitor Económico de Baja California*, <http://monitoreconomico.org/noticias/2017/jan/20/confirman-lluvias-para-mexicali-y-nieve-para-la-rumorosa/>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #7

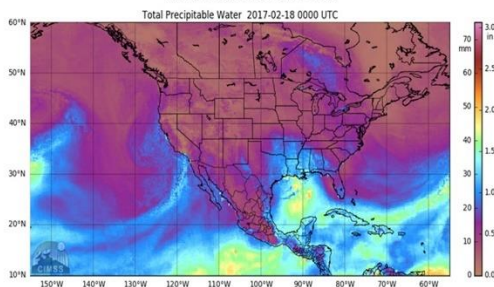
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
17—20 de febrero, 2017	Invierno	B. California, B. California Sur, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Coahuila, Nayarit, Nuevo León, Tamaulipas, Sonora y Zacatecas
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (22 de febrero, 2017) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-22-february-2017-post-event-summary/
4 días	195 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
17/02/2017	0 - 30	Fuerte	30.0	Norte del Municipio de Ensenada, California
18/02/2017	0 - 100	Torrencial	100.0	Ciudad de Ensenada y Cerro Picacho del Diablo, B. California
19/02/2017	0 - 45	Fuerte	45.0	Municipio de Tamazula, Durango, Guadalupe y Calvo, Chihuahua
20/02/2017	0 - 20	Fuerte	20.0	Municipios de Zaragoza y Muzquiz, Coahuila

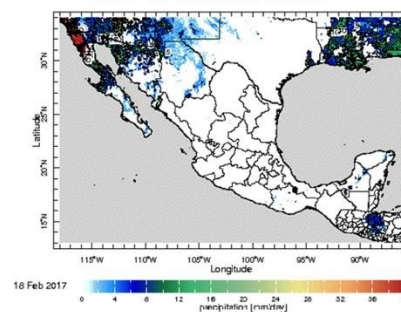
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UCSB/.CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
18 de febrero de 2017



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 18 de febrero de 2017



Impactos reportados durante el evento:

El día 18 de febrero, el SMN señaló en su pronóstico por regiones que la Península de Baja California mantendría cielo nublado y tormentas fuertes, con caída de nieve o aguanieve en zonas montañosas de Baja California y Sonora, y viento fuerte del oeste con rachas superiores a 60 kilómetros por hora. También se previeron tormentas muy fuertes en áreas de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Chihuahua y Durango, **debido a la presencia de la 8va tormenta invernal y al frente frío no. 29**, así como por la entrada de humedad del Océano Pacífico. Al día siguiente, 19 de febrero de 2017, el sitio “El Debate” informó que las fuertes precipitaciones del día 17 de febrero generaron un alud de lllantas y lodo, corrientes de agua que arrastraron vehículos y escurrimientos que arrastraron escombros en diferentes municipios de Baja California, mismos que provocaron la muerte de tres personas. El director de Protección Civil de la entidad informó que se esperaban más lluvias durante los próximos días del 19 al 26 de febrero, aunque serían de menor intensidad que las lluvias que azotaron las costas de la entidad y que tuvieron mayor volumen que en el centro de la misma.

Referencias:

El Debate. (19/02/2017). Lluvias dejan tres muertos en Baja California *El Debate*, <https://www.debate.com.mx/mexico/Lluvias-dejan-tres-muertos-en-Baja-California-20170219-0050.html>

NOTIMEX. (18/02/2017). No deje el paraguas; habrá lluvias en gran parte del territorio nacional *NOTIMEX*, <https://www.nsoaxaca.com/2017/02/18/no-deje-el-paraguas-habra-lluvias-en-gran-parte-del-territorio-nacional/>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #8

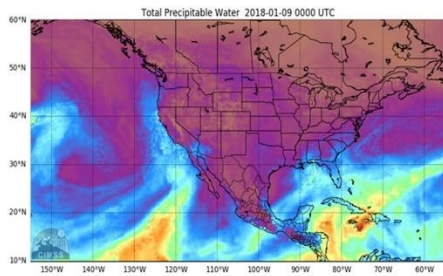
Fecha: 7—9 de enero, 2018	Estación: Invierno	Estados impactados: B. California, B. California Sur y Sonora
Duración: 3 días	Precipitación total acumulada estimada: 100 mm	Reportado por CW3E (8 de enero, 2018) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-8-january-2018-outlook/

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
07/01/2018	0 - 35	Fuerte	35.0	Municipios de Tecate y Tijuana, Norte Ensenada, California (A lo largo de la Sierra de San Pedro Martir)
08/01/2018	0 - 40	Fuerte	40.0	Ciudad de Ensenada, B. California
09/01/2018	0 - 25	Fuerte	25.0	Punta Colonet, Ensenada, B. California

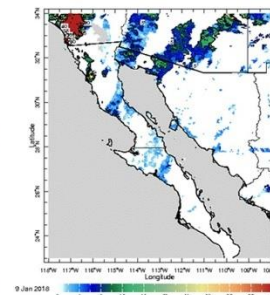
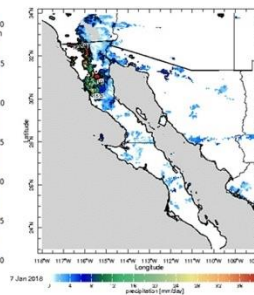
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/.v2p0/daily-improved/global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
9 de enero de 2018



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 7 y 9 de enero de 2018



Impactos reportados durante el evento:

Protección Civil de Baja California pronosticó lluvias para el día 8 y 9 de enero 2018, así como descenso de temperaturas con vientos que alcanzarían los 30 km/hr, haciendo así un llamado a la población para resguardarse en lugares seguros, no tirar basura en la calle para evitar encharcamientos y no intentar cruzar corrientes de agua durante las lluvias. El día 9 de abril se informó que la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, anunció el cierre temporal del Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir debido a las lluvias intensas previstas que pueden inestabilizar el suelo, generando deslaves y desbordes de ríos y afectaciones en camino. Para los siguientes días, el SMN dio a conocer que las precipitaciones del norte del país se deben al **sistema frontal no. 22** estimando además caída de agua nieve y nieve en zonas elevadas y rachas de viento superiores a 70 kilómetros por hora (km/h), así como posibles tolvaneras en Baja California, Sonora, Chihuahua y Durango. Cabe mencionar que días antes del 9 enero se reportaron las muertes de 13 personas por inundaciones y deslaves en el Estado de California, E.U.A. por las lluvias intensas.

Referencias:

- Borboña, K. (09/01/2018). Pronostican lluvias para esta noche y mañana en Tijuana *El Debate*, <https://www.debate.com.mx/mexico/Pronostican-lluvias-para-esta-noche-y-manana-en-Tijuana-20180109-0002.html>
- El Universal. (09/01/2018). Cierran Parque San Pedro Mártir *El Universal*, <https://www.eluniversal.com.mx/destinos/bajas-temperaturas-provocan-cierre-temporal-del-parque-nacional-san-pedro-martir>
- Ángeles, J. (10/01/2018). Frente frío 22 mantendrá bajas temperaturas *Regeneración*, <https://regeneracion.mx/frente-frio-22-mantendra-bajas-temperaturas-se-espere-caida-de-nieve-o-aguanieve-smn/>
- AFP. (09/01/2018). Trece muertos por inundaciones en California *Agence France-Presse*, <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/01/09/nota/6559311/trece-muertos-destruccion-inundaciones-california/>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #9

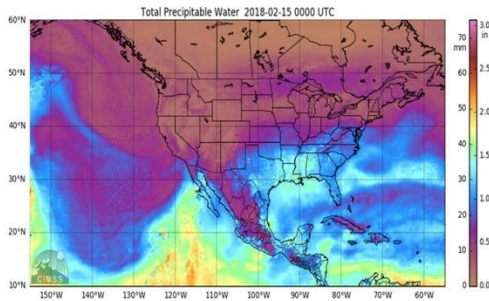
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
14–16 de febrero, 2018	Invierno	B. California, B. California Sur y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (16 de febrero, 2018) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-post-event-summary-arizona-ar/
3 días	59 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
14/02/2018	0 - 10	Ligera	19.0	Municipios de Sáric y Altar, Sonora
15/02/2018	0 - 25	Moderada	25.0	Municipios de Nogales, Ímuris, St. Cruz, Sonora
16/02/2018	0 - 15	Ligera	15.0	Municipios de Nogales, Ímuris, St. Cruz, Sonora

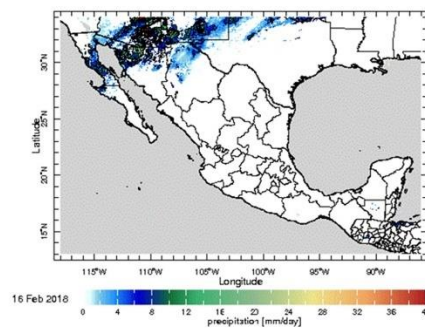
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
15 de febrero de 2018



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 16 de febrero de 2018



Impactos reportados durante el evento:

No se reportaron eventos o afectaciones por precipitaciones en entidades del país durante los días señalados, solamente se emitieron alertas de bajas temperaturas y lluvias para Sonora y Baja California, así como rachas de viento de hasta 60 km/hr en Sonora, Chihuahua y Durango, provocado **por el frente frío 29** que mantendría sobre el noroeste del país según informó el Servicio Meteorológico Nacional el 14 de febrero de 2018.

Referencias:

Notisistema. (14/02/2018). Frente frío 29 favorecerá aumento de nublados y lluvias en el noroeste del país *Notisistema*, <https://www.notisistema.com/noticias/frente-frio-29-favorecera-aumento-de-nublados-y-lluvias-en-el-noroeste-del-pais/>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #10

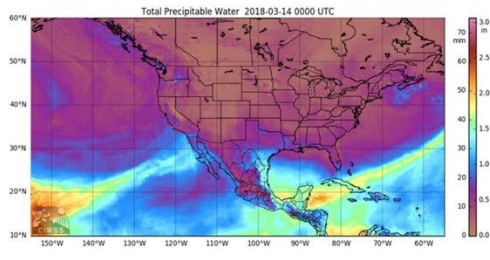
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
10–15 de marzo, 2018	Invierno	B. California y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada: 100 mm	Reportado por CW3E (7 de marzo, 2018) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-7-march-2018-outlook/
6 días		

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
10/03/2018	0 - 15	Moderada	15.0	Municipio de Tecate, B. California
11/03/2018	0 - 10	Moderada	10.0	Municipio Ensenada, B. California
12/03/2018	0 - 15	Moderada	15.0	Cerro Picacho del Diablo, B. California
13/03/2018	0 - 25	Fuerte	25.0	Municipio de Tecate, B. California
14/03/2018	0 - 25	Fuerte	25.0	Cerro Picacho del Diablo, B. California
15/03/2018	0 - 10	Moderada	10.0	Puntos aislados, Sonora

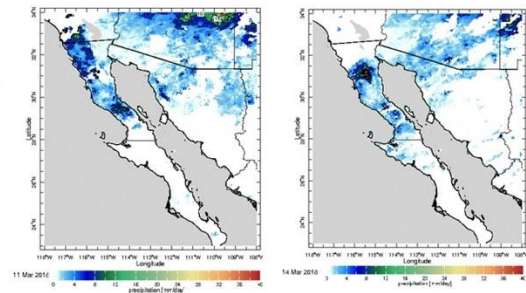
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/.v2p0/daily-improved_global/Op05/.prcp)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
14 de marzo de 2018



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB—11 y 14 de marzo de 2018



Impactos reportados durante el evento:

Para el día 12 de marzo, se emitieron avisos y noticias sobre el descenso de temperaturas y precipitaciones considerables para el día miércoles 14 de marzo y hasta el sábado 18 de marzo, con vientos de hasta 30 km/hr en municipios de Baja California. Los chubascos esperados durante la semana tenían máximas de hasta 50 mm sobre Ensenada. El SMN pronosticó potencial de lluvias por el **frente frío no. 36** pero para la Península de Yucatán y sureste de México. No se reportaron mayores afectaciones o impactos.

Referencias:

- Romero, C. (12/03/2018). Frio toda la semana y lluvia a partir del miércoles para Tijuana *San Diego Red*, <https://www.sandiegored.com/es/noticias/160202/Frio-toda-la-semana-y-lluvia-a-partir-del-miercoles-para-Ti>
- Yajaira, A. (14/03/2018). Mañana lluviosa en BC Veraz *Bajo California*, <https://verazinforma.com/tecate/sera-una-manana-lluviosa-la-de-este-jueves-con-frio-y-viento-en-gran-parte-de-baja-california/>
- Uniradio. (12/03/2018). Ingresará frente frío a la región: Protección Civil *Uniradio Informa*, <https://www.uniradioinforma.com/noticias/ensenada/516495/ingresara-frente-frio-a-la-region-proteccion-civil.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #11

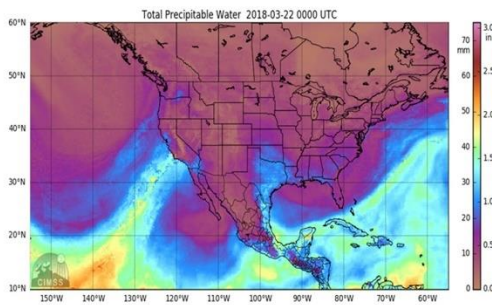
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
22 de marzo, 2018	Primavera	B. California
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (22 de marzo, 2018) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-22-march-2018-outlook/
1 día	15 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
22/03/2018	0 - 15	Moderada	15.0	Cerro Picacho del Diablo, B. California

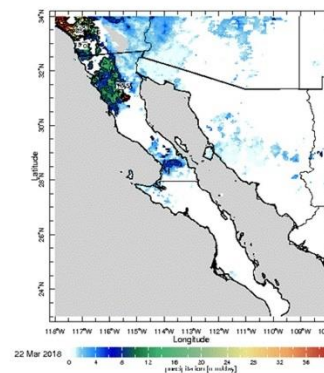
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/v2p0/daily-improved/global/0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
22 de marzo de 2018



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 22 de marzo de 2018



Impactos reportados durante el evento:

No se reportaron en medios locales impactos en municipios del estado de Baja California ni Sonora, por precipitaciones. Sin embargo, el día 22 de marzo de 2018, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) pronosticó precipitaciones con intervalos de chubascos en Baja California, y entidades del centro y sur del país.

Referencias:

Notimex. (22/03/2018). Se espera clima extremo en estos seis estados del país *Notimex*, <https://www.unotv.com/noticias/portal/nacional/detalle/clima-extremo-en-seis-estados-del-pas-886667/>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #12

Fecha: 6 y 7 de abril, 2018
Estación: Primavera
Estados impactados: B. California

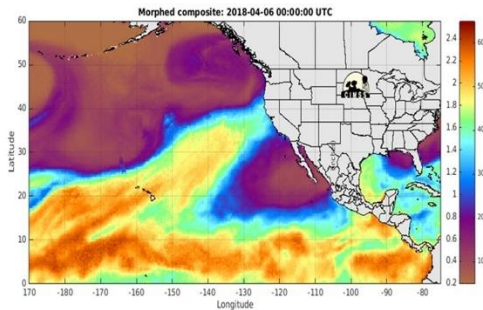
Duración: 2 días
Precipitación total acumulada estimada: Reportado por CW3E (3 de abril, 2018) <https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-03-april-2018-outlook/>
 10 mm

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
06/04/2018	0 - 5	Ligera	5.0	Ensenada, B. California
07/04/2018	0 - 5	Ligera	5.0	Ensenada, B. California

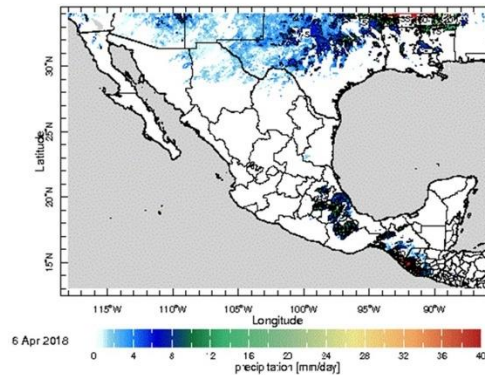
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/.v2p0/daily-improved_global/Op05/.prcp)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
6 de abril de 2018



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 6 de abril de 2018



Impactos reportados durante el evento:

El día de 7 de abril de 2018, “El Sol de Puebla” informó el ingreso de un **frente frío no. 42**, que provocaría lluvias en diversas entidades del norte del país, como Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, así como en el centro del país. No se reportaron mayores afectaciones.

Referencias:

Mena, M. (07/04/2018). Ingresar nuevo frente frío, las lluvias seguirán en Puebla *El Sol de Puebla*, <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/ingresa-nuevo-frente-frío-las-lluvias-seguiran-en-puebla-1595628.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #13

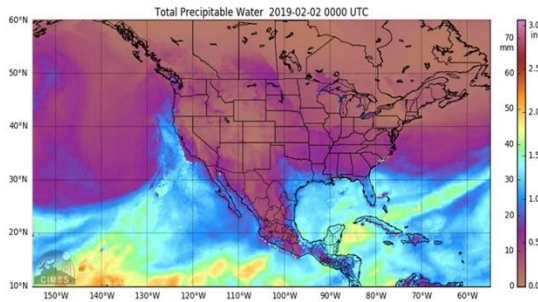
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
2 y 3 de febrero, 2019	Invierno	B. California y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (5 de febrero, 2019) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-post-event-summary-02-february-2019-ar/
2 días	80 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
02/02/2019	0 - 40	Fuerte	40.0	Municipios de Pitiquito y Trincheras, Sonora
03/02/2019	0 - 40	Fuerte	40.0	Tijuana y Playas de Rosarito, B. California

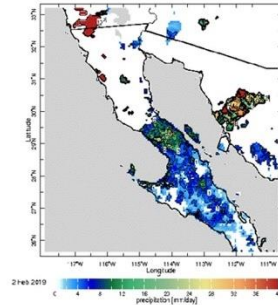
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/v2p0/daily-improved/global/0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
2 de febrero de 2019



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 2 de febrero de 2019



Impactos reportados durante el evento:

Para el día 2 de febrero de 2019, el SMN informó probabilidad de lluvias del 100% para Tijuana con 40-55 km/h, propiciado por un **nuevo frente frío** que se aproximaría a la Península de B. California y la entrada de humedad del Golfo de México, que ocasionarían vientos fuertes y bajas temperaturas. Por la tarde de ese mismo día, el director de Protección Civil de Baja California emitió recomendaciones para que los habitantes de Tijuana y Rosarito se mantuvieran en lugares seguros durante la tormenta que se presento en la región y que podría causar daños en techos de viviendas, anuncios espectaculares, caída de árboles y cableado debido a los fuertes vientos, según informo Uniradio Informa. Al día siguiente la Dirección de Bomberos de Tijuana informó que durante el sábado se dieron algunas afectaciones a causa de las lluvias; entre ellos 3 accidentes automovilísticos; una alcantarilla obstruida y otra sin tapa; 8 árboles caídos; 7 cables colgando, 8 postes de luz caídos, 4 transformadores explotados; y 15 cortos circuitos, así como 6 derrumbes de piedras; 3 hundimientos; 46 inundaciones; 11 rescates en ríos y canales; y 4 vehículos estancados, así como algunas viviendas endebles sepultadas por el deslizamiento de laderas en Rancho Las Flores, Playas de Tijuana.

Referencias:

- Notimex. (02/02/2019). ¡Prepárate! Se esperan lluvias y viento para este sábado *El Sol de Tijuana*, <https://www.elsoldetijuana.com.mx/local/preparate-se-esperan-lluvias-y-viento-para-este-sabado-3007158.html>
- Uniradio Informa. (02/02/2019). Alerta por tormenta que dañaría techos de casas en Tijuana y Rosarito *Uniradio Informa*, <https://www.uniradioinforma.com/noticias/tijuana/555511/alerta-por-tormenta-que-danaria-techos-de-casas-en-tijuana-y-rosarito.html#gsc.tab=0>
- Redacción Zeta. (03/02/2019). Deslave destruye vivienda en Rancho Las Flores; tras lluvias Zeta *Tijuana*, <https://zetatijuana.com/2019/02/deslave-destruye-vivienda-en-rancho-las-flores-tras-lluvias>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #14

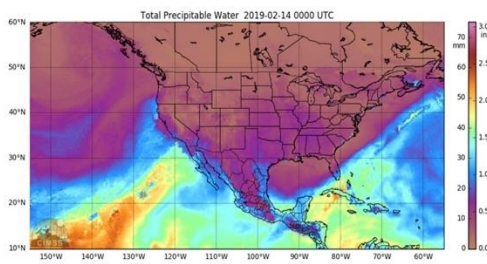
Fecha: 13—16 de febrero, 2019	Estación: Invierno	Estados impactados: B. California y Sonora
Duración: 4 días	Precipitación total acumulada estimada: 200 mm	Reportado por CW3E (15 de febrero, 2019) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-13-15-february-summary/

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
13/02/2019	0 - 35	Fuerte	35.0	Tijuana, Playas de Rosarito, Norte de Ensenada, B. California
14/02/2019	0 - 110	Torrencial	110.0	Ciudad de Ensenada, y Picacho del Diablo, B. California
15/02/2019	0 - 20	Fuerte	20.0	Al sur de la Cd. de Ensenada , B. California
16/02/2019	0 - 35	Fuerte	35.0	Al norte de la Cd. de Ensenada , B. California

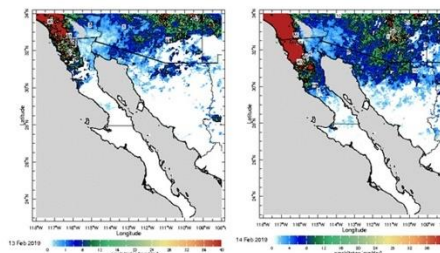
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UCSB/.CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
14 de febrero de 2019



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 13 y 14 de febrero de 2019



Impactos reportados durante el evento:

El día 14 de febrero, se reportaron aludes de lodo a causa de las fuertes lluvias en el estado de California, Estados Unidos, así como inundaciones y deslizamiento de laderas. Mientras que en Tijuana y otros municipios de Baja California se activó el Plan de Contingencias DN-III debido a las tormentas que comenzaron el 13 de febrero, causando inundaciones viales, arrastre de vehículos, crecida de arroyos, socavones, baches, apagones eléctricos y deslaves, además de suspender operaciones del aeropuerto de Tijuana por al menos cinco horas. Se habilitaron albergues temporales en todos los municipios de Baja California. Para el 15 de febrero, se sumaron a las afectaciones, la caída de árboles, cableado y postes, así como la saturación de barrancas por basura y escombros arrastrados por las corrientes, además de recibir la Secretaría de Seguridad Pública Municipal de Tijuana (SSPM) más de 120 reportes derivados de las lluvias. No se registró ninguna pérdida humana, aunque las afectaciones a viviendas y vialidades sigue siendo un riesgo para la población.

Referencias:

Sánchez, L. (15/02/2019). Lluvias dejan inundaciones y deslaves en Tijuana; activan el Plan DN-III *Noticieros Televisa*, <https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/lluvias-inundaciones-deslaves-tijuana-baja-california-activan-plan-dn-iii/>

Loza, R. (15/02/2019). Estragos por las lluvias, los mismos *Zeta Tijuana*, <https://zetatijuana.com/2019/02/estragos-por-las-lluvias-los-mismos/>

De Anda, S. (16/02/2019). Reparación de baches y pluviales tomará más de lo normal: SDEUE *Uniradio Informa*, <https://www.uniradioinforma.com/noticias/tijuana/556911/reparacion-de-baches-y-pluviales-tomara-mas-de-lo-normal-sdue.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #15

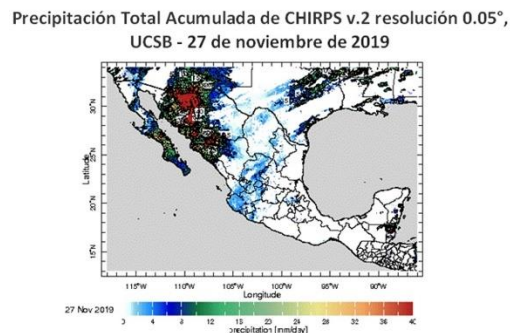
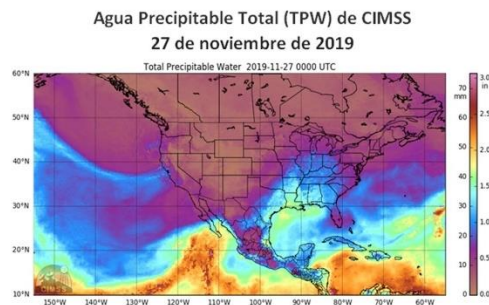
Fecha: 25—29 de noviembre, 2019 **Estación:** Otoño **Estados impactados:** B. California, B. California Sur, Chihuahua, Sina-

Duración: 5 días **Precipitación total acumulada estimada:** Reportado por CW3E (27 de noviembre, 2019) <https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-27-november-event-summary-outlook/>
290 mm

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
25/11/2019	0 - 35	Fuerte	35.0	Al sur de la Cd. de Ensenada , B. California
26/11/2019	0 - 35	Fuerte	35.0	Municipio de Urique y Maguarichi, Chihuahua
27/11/2019	0 - 90	Torrencial	90.0	Municipios de Naco, Cananea, Fronteras y Bacoachi, Sonora
28/11/2019	0 - 90	Torrencial	90.0	Municipios de Agua Prieta, Cananea, Bacoachi e Imuris, Sonora
29/11/2019	0 - 40	Fuerte	40.0	Municipios de Nogales, Magdalena, Santa Ana, y puntos dispersos en Sonora

Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/v2p0/daily-improved/global/0p05/prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.



Impactos reportados durante el evento:

Durante el 27 de noviembre, las autoridades de Baja California Sur suspendieron clases en toda la entidad, así como determinó cerrar los puertos para embarcaciones menores, ya que se previeron lluvias acumuladas de hasta 150 mm en puntos con 48 horas de lluvias. Al día siguiente en Chihuahua, una persona perdió la vida al ser arrastrada por una corriente, así como decenas de vehículos y viviendas fueron dañadas, con más de 150 personas desalojadas en diferentes municipios por riesgo de inundación; en Baja California hubo deslizamiento de laderas y al menos 19 personas fueron rescatadas de las inundaciones y vehículos arrastrados, además de evacuación de zonas inundables. En Sonora el desborde de una presa causó afectaciones viales, además de presentar deslizamientos de laderas en varias carreteras e inundaciones en gran parte la entidad, lo que llevo a solicitar la Declaratoria de Emergencia por las lluvias torrenciales.

Referencias:

SUN. (27/11/2019). Cierran puertos y suspenden clases en Baja California Sur Por Lluvias *Informador.mx*, <https://www.informador.mx/mexico/Cierran-puertos-y-suspenden-clases-en-Baja-California-Sur-Por-lluvias--20191127-0111.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #16

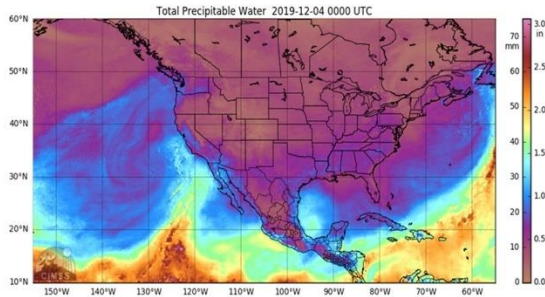
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
3—5 de diciembre, 2019	Otoño	B. California, B. California Sur, Chihuahua y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada: 60 mm	Reportado por CW3E (3 de diciembre, 2019) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-3-december-2019-outlook/
3 días		

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
03/12/2019	0 - 10	Moderada	10.0	Al sur de la Ciudad de Ensenada y Ciudad de Socorro, Ensenada, Baja California
04/12/2019	0 - 40	Fuerte	40.0	Ciudad de Ensenada, Tijuana, Playas de Rosarito, B. California
05/12/2019	0 - 10	Moderada	10.0	Municipios de Naco, Cananea e Imuris, Sonora

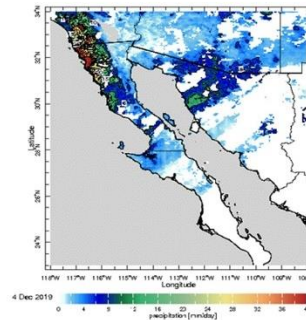
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/v2p0/daily-improved/global/0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

**Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
4 de diciembre de 2019**



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 4 de diciembre de 2019



Impactos reportados durante el evento:

Protección Civil de Tijuana informó, el 3 de diciembre, que se pronosticaban hasta cuatro días de lluvia en la ciudad, con un acumulado de 20 mm, invitando a la población a tener precauciones ya que existían hasta 300 hogares que estaban en una zona de alto riesgo por inundación. Los días 4 y 5 de diciembre de 2019 se reportaron diversos encharcamientos viales, así como más de una decena de accidentes vehiculares con cuatro heridos, 22 inundaciones, 4 caídas de postes, 4 derrumbes, 4 incendios, 3 volcaduras, cortos circuitos y algunos daños de tuberías, según informó la prensa local.

Referencias:

Sánchez, G. (03/12/2019). *Fronostican otros cuatro días de lluvias en Tijuana El Imparcial*, <https://www.elimparcial.com/tijuana/tijuana/Fronostican-otros-cuatro-dias-de-lluvias-en-Tijuana-20191202-0027.html>

Sánchez, G. (04/12/2019). *Inundaciones y encharcamientos dejan lluvias en Tijuana El Imparcial*, <https://www.elimparcial.com/tijuana/tijuana/Inundaciones-y-encharcamientos-dejan-lluvias-en-Tijuana-20191204-0008.html>

Maya, A. (05/12/2019). *Calles inundadas por fuerte lluvia El Sol de Tijuana*, <https://www.elsoldetijuana.com.mx/local/calles-inundadas-por-fuerte-lluvia-4542533.html>

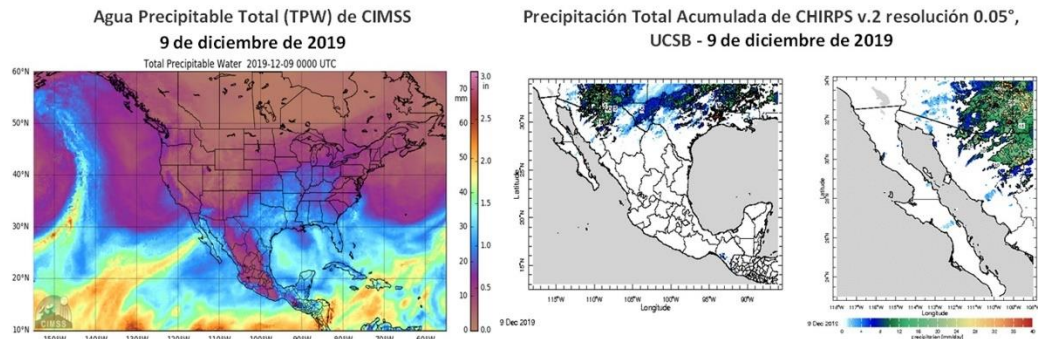
Ficha de Identificación de Río Atmosférico #17

Fecha: 7—9 de diciembre, 2019	Estación: Otoño	Estados impactados: B. California, B. California Sur, Chihuahua y Sonora
Duración: 3 días	Precipitación total acumulada estimada: 50 mm	Reportado por CW3E (9 de diciembre, 2019) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-event-summary-6-8-december-2019/

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
07/12/2019	0 - 10	Moderada	10.0	Ciudad de Ensenada, Tijuana, Playas de Rosarito, B. California
08/12/2019	0 - 20	Fuerte	20.0	Municipio de Madera, Chihuahua
09/12/2019	0 - 20	Fuerte	20.0	Municipios de Sahuaripa y Nácori-Chico, Sonora

Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.Op05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.



Impactos reportados durante el evento:

El SMN informó que se esperaban precipitaciones del 7 al 9 de diciembre en Baja California, el sábado 7, el titular de la Unidad Municipal de Protección Civil de Ensenada precisó que en Ensenada ya se habían registrado precipitaciones de hasta 25 mm ese día, y esperándose precipitaciones menores de 5 milímetros de acumulado en los días siguientes. Para el día 9 de diciembre, se reportó en algunos municipios de Chihuahua como Madera, Temósachi, Ocampo, Casas Grandes y Bocoyna, la presencia de nieve y agua nieve, según registros de la Coordinación Estatal de Protección Civil. El SMN esperaba se presenten lluvias, vientos fuertes y la caída de nieve o aguanieve en varias zonas del estado debido al **Frente Frío no. 21** y la **tercera tormenta Invernal** de la temporada.

Referencias:

AFN. (07/12/2019). Lluvias de sábado a lunes en Ensenada *AFN Tijuana*, http://www.afntijuana.info/informacion_general/101850_lluvias_de_sabado_a_lunes_en_ensenada

Holguín, R. (09/12/2019). Cae nevada en Madera y Casas Grandes *El Heraldo de Chihuahua*, <https://www.elheraldodechihuahua.com.mx/local/cae-nevada-en-madera-noticias-de-chihuahua-4563780.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #18

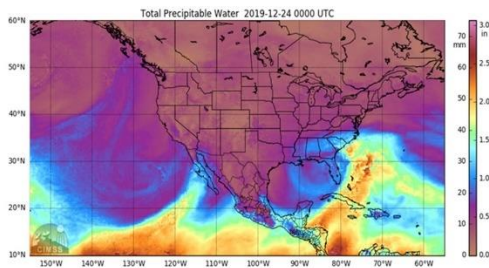
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
22—24 de diciembre, 2019	Invierno	B. California, B. California Sur, Chihuahua, Sinaloa y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada: 90 mm	Reportado por CW3E (23 de diciembre, 2019) http://cw3e.ucsd.edu/wp-content/uploads/2019/12/23Dec2019_Quick_Look.pdf
3 días		

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
22/12/2019	0 - 40	Fuerte	40.0	Ciudad de Ensenada, Tijuana, Playas de Rosarito, B. California
23/12/2019	0 - 25	Fuerte	25.0	Municipios del Oeste de Sonora como Caborca, Pitiquito y Hermosillo
24/12/2019	0 - 25	Fuerte	25.0	Municipio de Carbó, Sonora

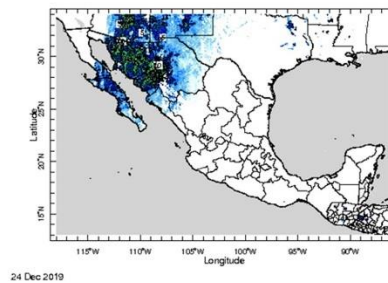
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/v2p0/daily-improved/global/0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
24 de diciembre de 2019



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 24 de diciembre de 2019



Impactos reportados durante el evento:

El SMN pronosticó lluvias fuertes para Baja California, Baja California Sur, y posible nevada o aguanieve en sierras de Baja California y Sonora, el viento con rachas de hasta 60 km/h en Baja California y Sonora, y oleaje de 1 a 3 metros (m) en la costa occidental de Baja California, esto provocado por la interacción supuesta de los **Frentes Fríos no. 24 y 25 en el Noroeste del país**. El día 23 de diciembre, el mismo SMN reportó la caída de nieve en la sierra de San Pedro Mártir y lluvias en zonas norte y centrales de Baja California y Sonora. Se registraron inundaciones y encharcamientos viales en la ciudad de Tijuana, así como algunas lluvias en municipios de Sonora, sin causar mayores afectaciones.

Referencias:

El Imparcial. (23/12/2019). Pronóstico del clima: Lluvias fuertes y nevadas para Sonora y Baja California *El Imparcial*, <https://www.elimparcial.com/mexico/Pronostico-del-clima-Lluvias-fuertes-y-nevadas-para-Sonora-y-Baja-California-20191223-0018.html>

Forbes Staff. (23/12/2019). Cae nieve en la zona serrana de San Pedro Mártir *Forbes México*, <https://www.forbes.com.mx/cae-nieve-en-la-zona-serrana-de-san-pedro-martir/>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #19

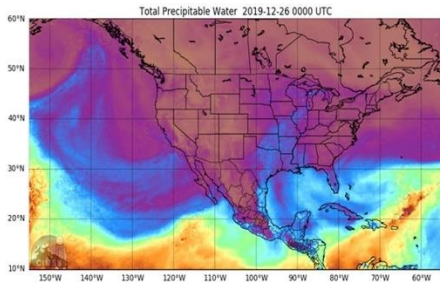
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
26 de diciembre, 2019	Invierno	B. California, B. California Sur, Chihuahua y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada: 20 mm	Reportado por CW3E (31 de diciembre, 2019) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-event-summary-22-27-december-2019/
1 día		

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
26/12/2019	0 - 20	Fuerte	20.0	Ciudad de Ensenada, Tijuana, Playas de Rosarito, B. California

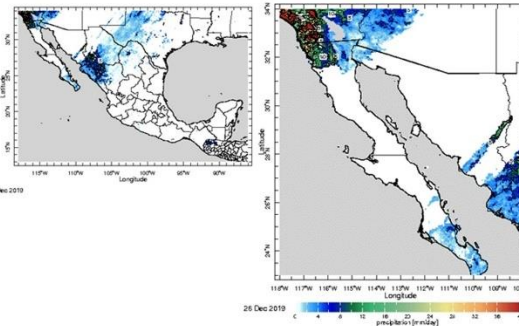
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/v2p0/daily-improved/global/0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
26 de diciembre de 2019



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 26 de diciembre de 2019



Impactos reportados durante el evento:

Lluvias y chubascos fueron pronosticados por el SMN con vientos 15 a 25 km/h para la tarde del 26 de diciembre para la Ciudad de Tijuana. Se esperaban para la Península de B. California lluvias puntuales muy fuertes con posible caída de nieve o aguanieve en zonas serranas de Baja California. Ese día ingresaría el **frente frío no. 26** al noroeste del país, asociado a un vórtice de núcleo frío e interacción con la corriente en chorro, dando origen a la cuarta tormenta invernal de la temporada, con precipitaciones intensas como rachas de viento cerca de los 80 km/h en Baja California y Sonora. Ese mismo día se reportaron inundaciones entorno al Cañón “El Matadero”, Tijuana que generó afectaciones viales y viviendas en la zona por la obstrucción del cauce del agua por la acumulación de basura.

Referencias:

Dávila, K. (26/12/2019). Pronostican chubascos para esta tarde en Tijuana *El Sol de Tijuana*, <https://www.elsoldetijuana.com.mx/local/pronostican-chubascos-para-esta-tarde-en-tijuana-4628564.html>

Uniradio Informa. (27/12/2019). Autoridades plantean soluciones por inundación en cañón del matadero *Uniradio Informa*, <https://www.uniradioinforma.com/noticias/tijuana/586843/autoridades-plantean-soluciones-por-inundacion-en-canon-del-matadero.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #20

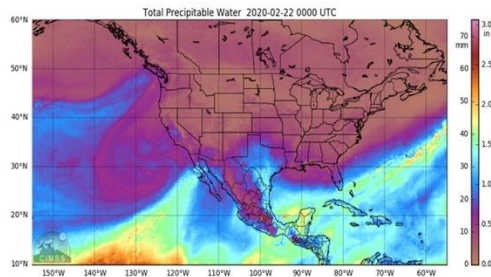
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
22–25 de febrero, 2020	Invierno	B. California, B. California Sur, Chihuahua y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (20 de febrero, 2020) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-20-february-2020-outlook/
4 días	88 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
22/02/2020	0 - 60	Fuerte	60.0	Ciudad de Ensenada, B. California
23/02/2020	0 - 15	Moderada	15.0	Municipios del Noreste de Sonora
24/02/2020	0 - 10	Moderada	10.0	Puntos dispersos en la zona sureste entre los estados de Sonora y Chihuahua
25/02/2020	0 - 3	Ligera	3.0	Dispersa sobre los estados de Coahuila, Nuevo León y norte de Tamaulipas

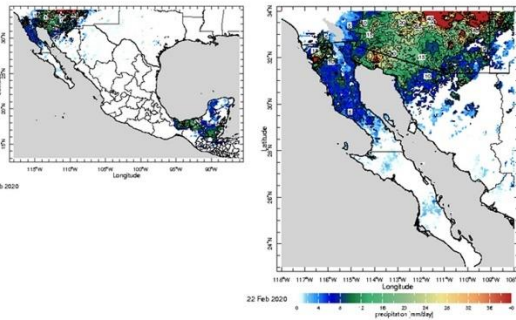
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
22 de febrero de 2020



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 22 de febrero de 2020



Impactos reportados durante el evento:

Durante la ocurrencia de este evento no se registraron afectaciones considerables sobre los estados de la Península de Baja California, solamente algunas lluvias ligeras en Sonora que, de acuerdo con el SMN, serían de ligeras a moderadas y podrían acumularse los 25 mm de precipitación. La interacción de un **sistema de baja presión** de núcleo frío junto con el **frente frío no. 41** y el **flujo de humedad**, fueron considerados los causantes de lluvias dispersas en el noroeste y centro de Sonora y la Sierra Madre Occidental.

Referencias:

Bahena, R. (22/02/2020). ¿Disfrutaste de este sábado nublado? Así continuará este fin de semana *El Sol de Hermosillo*, <https://www.elsoldehermosillo.com.mx/local/frente-frío-trae-lloviznas-en-sonora-4873853.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #21

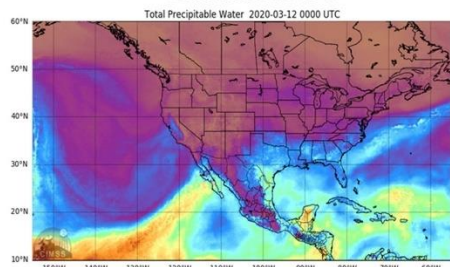
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
8—13 de marzo, 2020	Invierno	B. California, B. California Sur, Chihuahua y Sonora
Duración: 6 días	Precipitación total acumulada estimada: 405 mm	Reportado por CW3E (17 de marzo, 2020) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-event-summary-9-13-march-2020/

Fecha	Rango de Precipitación	Intensidad **	Precipitación	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
08/03/2020	0 - 25	Fuerte	25.0	Municipios de Nácori Chico, Nacozeni de García, Cananea, Sonora
09/03/2020	0 - 40	Fuerte	40.0	Ciudad de Ensenada, y Picacho del Diablo, B. California
10/03/2020	0 - 80	Torrencial	80.0	Picacho del Diablo y Municipio de Tecate, B. California
11/03/2020	0 - 80	Torrencial	80.0	Picacho del Diablo, B. California
12/03/2020	0 - 160	Torrencial	160.0	Ciudad de Ensenada, Tecate y Picacho del Diablo, B. California
13/03/2020	0 - 20	Fuerte	20.0	Municipios del Noreste de Sonora

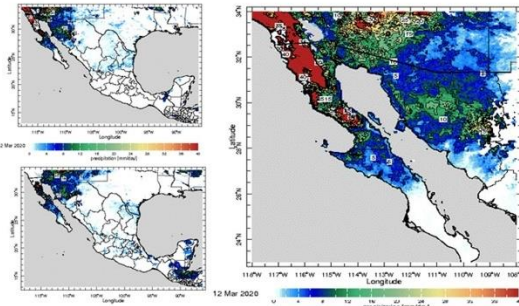
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/v2p0/daily-improved/global/Op05/prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
12 de marzo de 2020



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 12 y 13 de marzo de 2020



Impactos reportados durante el evento:

El 10 de marzo se suspendieron las clases en todos los niveles educativos para los municipios de Tijuana, Ensenada, Rosarito y Tecate debido al pronóstico de hasta 50 mm de lluvia para ese día. El día jueves 12 de marzo se presentaron intensas lluvias acompañadas de granizo en Mexicali que ocasionaron caos vial, deslaves y encharcamientos que impulsaron a las autoridades municipales a abrir refugios temporales en la capital, mientras que en Tijuana se presentaron cerca de 100 incidentes generados por las lluvias y vientos de los días 11 a 13 de marzo entre los que destacan encharcamientos, choques vehiculares y caída de cableado eléctrico.

Referencias:

- GH. (09/03/2020). Pronóstico con cuatro días de lluvia para Tijuana. *El Imparcial*. <https://www.elimparcial.com/tijuana/tijuana/Pronostico-con-cuatro-dias-de-lluvia-para-Tijuana-20200309-0026.html>
- Mendoza, A. (09/03/2020). Suspensión de clases por lluvias en la zona costera de Baja California. *The San Diego Union-Tribune*. <https://www.sandiegouniontribune.com/en-espanol/primera-plana/articulo/2020-03-09/suspension-de-clases-por-lluvias-en-la-zona-costera-de-baja-california>
- Payán, O. (14/03/2020). Importante presencia de lluvia y granizo en los últimos días. *Meteored*. <https://www.meteored.mx/noticias/actualidad/importante-presencia-de-lluvia-y-granizo-en-los-ultimos-dias.html>
- Fabela, O. (14/03/2020). Protección Civil continúa en monitoreo zonas de riesgo durante lluvias. *Uniradio Informativa*. <https://www.uniradioinformativa.com/noticias/tijuana/59373/proteccion-civil-continua-en-monitoreo-zonas-de-riesgo-durante-lluvias.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #22

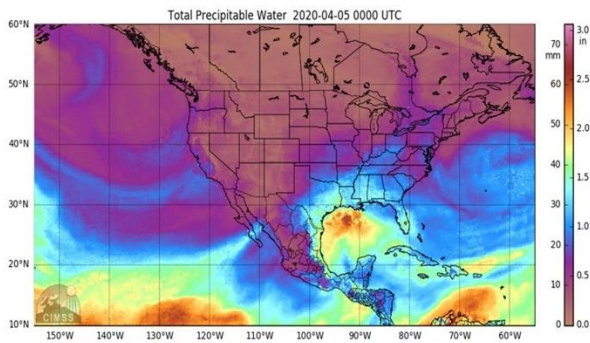
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
5 de abril, 2020	Primavera	B. California
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (15 de abril, 2020) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-7-april-2020-summary/
1 día	10 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
05/04/2020	0 - 10	Moderada	10.0	Ciudad de Ensenada, Tijuana, Playas de Rosarito, B. California

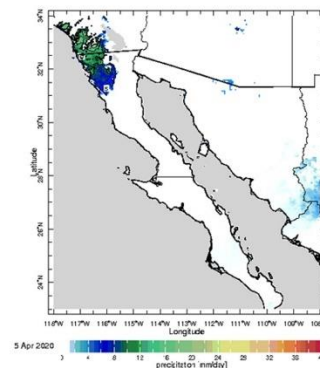
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
5 de abril de 2020



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 5 de abril de 2020



Impactos reportados durante el evento:

Protección Civil de Tijuana emitió en su boletín del 5 de abril, la posibilidad de precipitaciones constantes durante las tardes, aunque de baja intensidad con cielos nublados, debido al paso del **frente frío número 48** y una tormenta invernal sobre la región. No se registraron impactos o afectaciones por las posibles lluvias presentadas en la región.

Referencias:

Marina, D. (05/04/2020). Lluvias cubrirán Tijuana los próximos días *San Diego Red*, <https://www.sandiegored.com/es/noticias/183260/Lluvias-cubriran-Tijuana-los-proximos-dias>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #23

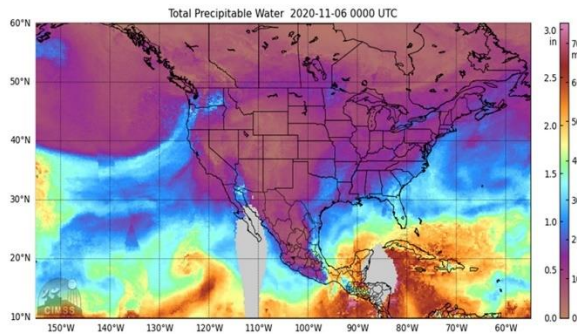
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
5 y 6 de noviembre, 2020	Otoño	B. California y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada: 18 mm	Reportado por CW3E (5 de noviembre, 2020) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-5-november-2020-outlook/
2 días		

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
05/11/2020	0 - 8	Moderada	8.0	Puntos del norte del Municipio de Ensenada, B. California
06/11/2020	0 - 10	Moderada	10.0	Municipio de Ensenada, B. California y Puerto Peñasco, Sonora

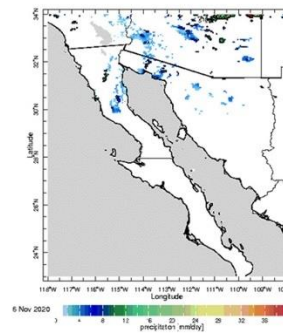
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/.v2p0/daily-improved/.global/.Op05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

**Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
6 de noviembre de 2020**



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 6 de noviembre de 2020



Impactos reportados durante el evento:

El Servicio Meteorológico de E.U.A. pronóstico sobre estado de California precipitaciones de entre 0.10 y 0.50 pulgadas de lluvia durante el fin de semana del 5 y 6 de noviembre, producto de un par de **sistemas de baja presión** y condiciones de precipitación de hasta 0,75 pulgadas en zonas montañosas. En el mismo periodo, la Dirección de Protección Civil de Tijuana, espero precipitaciones de hasta 30 mm y fuertes vientos de 35 kilómetros por hora sobre la ciudad. No se registraron afectaciones.

Referencias:

Univision. (05/11/2020). Bajón de temperaturas, lluvia y hasta nieve en el sur de California a partir de este viernes *Univision Los Angeles* , <https://www.univision.com/local/los-angeles-kmex/bajon-de-temperaturas-lluvia-y-hasta-nieve-en-el-sur-de-california-a-partir-de-este-viernes>
 Sánchez, G. (07/11/2020). Llega frente frío con vientos y lluvia: Protección Civil *El Imparcial*, <https://www.elimparcial.com/tijuana/tijuana/Se-esperan-lluvias-desde-hoy-y-hasta-el-lunes-en-Tijuana-20201106-0015.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #24

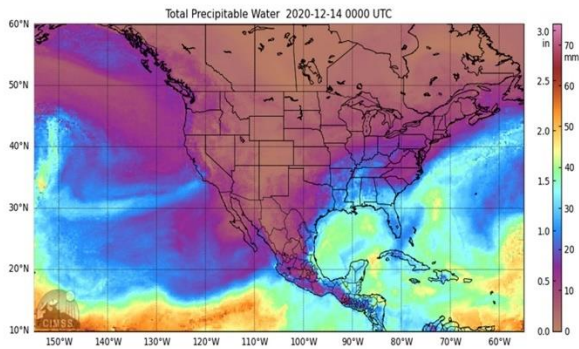
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
14 de diciembre, 2020	Otoño	B. California y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada: 4 mm	Reportado por CW3E (18 de diciembre, 2020) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-event-summary-11-17-december-2020/
1 día		

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
14/12/2020	0 - 4	Ligera	4.0	Municipio de Ensenada, B. California y General Plutarco Elías Calles, San Luis Río Colorado y Puerto Peñasco, Sonora

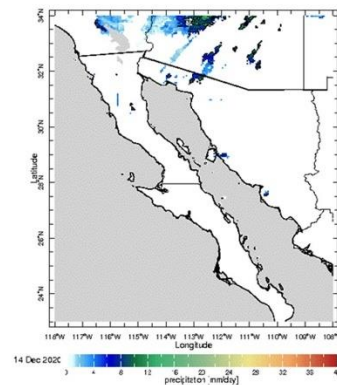
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
14 de diciembre de 2020



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 14 de diciembre de 2020



Impactos reportados durante el evento:

Derivado de los efectos de una **corriente en chorro que tuvo presencia en el norte y el noreste del país, aunado a la entrada de dos frentes fríos (no. 20 y no. 21)**, causarían descenso de temperatura en estados de la Península de Baja California llegando a valores de entre -5°C y 0°C en la región, según informó el Servicio Meteorológico Nacional el día 14 de diciembre. No se registraron precipitaciones en la región fisiográfica, ni incidentes.

Referencias:

Palma, J. (14/12/2020). Dos frentes fríos generan tiempo significativo en Mexico *Meteored*, <https://www.meteored.mx/noticias/prediccion/lluvias-con-viento-y-frio-en-mexico-para-esta-semana.html>

Medina, E. (15/12/2020). Están a cero grados en Guerrero Negro *El Sudcaliforniano*, <https://www.elsudcaliforniano.com.mx/local/municipios/estan-a-cero-grados-en-guerrero-negro-6135753.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #25

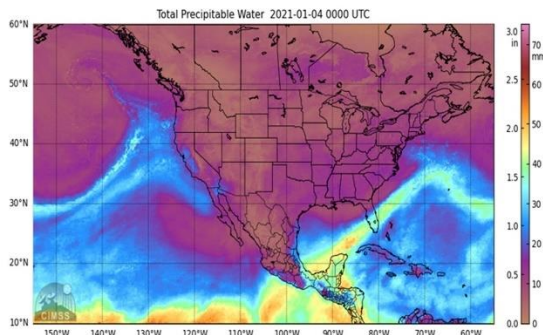
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
3 y 4 de enero, 2021	Invierno	B. California y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (8 de enero, 2021) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-event-summary-1-7-january-2021/
2 días	20 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
03/01/2021	0 - 10	Moderada	10.0	San Luis Río Colorado y Puerto Peñasco, Sonora
04/01/2021	0 - 10	Moderada	10.0	Ciudad de Ensenada, Tijuana, B. California

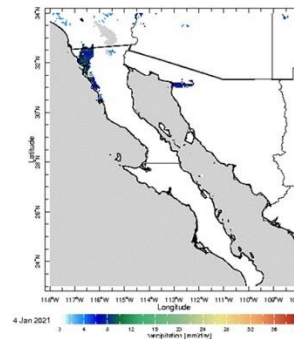
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/v2p0/daily-improved/global/Op05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
4 de enero de 2021



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 4 de enero de 2021



Impactos reportados durante el evento:

El ingreso del **Frente Frío no. 24**, según el SMN, generaría temperaturas en la Península de Baja California de -10° a -5°C con heladas en zonas montañosas con vientos del noroeste de 15 a 30 km/h. La madrugada del domingo 3 de enero se reportó una helada, que dejó tras de sí una gruesa capa de hielo en el suelo y sobre los vehículos en municipios de Baja California Sur. Se reportaron algunas afectaciones en cultivos de cielo abierto, pero ningún percance o impacto mayor por precipitaciones sobre la región.

Referencias:

La Jornada. (03/01/2021). Preven fuertes lluvias en el país por frente frío 24 *La Jornada*, <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/01/03/estados/preven-fuertes-lluvias-en-el-pais-por-frente-frio-24/>

Medina, E. (03/01/2021). Temperaturas bajo cero, deja segunda helada *El Sudcaliforniano*, <https://www.elsudcaliforniano.com.mx/local/temperaturas-bajo-cero-deja-segunda-helada-6201188.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #26

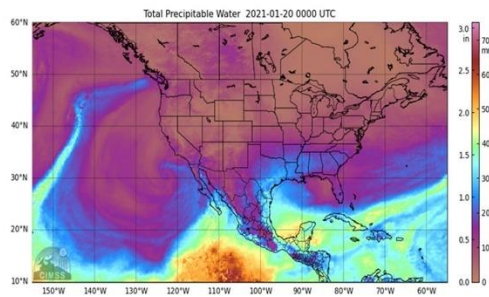
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
19—21 de enero, 2021	Invierno	B. California, Chihuahua y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (22 de enero, 2021) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-22-january-2021-outlook/
3 días	115 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
19/01/2021	0 - 40	Fuerte	40.0	San Luis Río Colorado y Puerto Peñasco, Sonora y Chínipas, Chihuahua
20/01/2021	0 - 50	Fuerte	50.0	Municipios de Alamos, Sonora y Guazaparez y Urique, Chihuahua
21/01/2021	0 - 25	Fuerte	25.0	Puntos dispersos en la zona noreste entre los estados de Sonora y Chihuahua

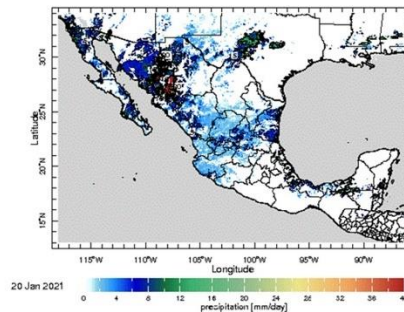
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.Op05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
20 de enero de 2021



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 20 de enero de 2021



Impactos reportados durante el evento:

El 19 de enero con la llegada de la **sexta tormenta invernal**, se pronosticó la caída de precipitaciones de entre 5 a 50 mm en Hermosillo, Sonora con ráfagas de entre 50 y los 60 kilómetros por hora, de acuerdo a Protección Civil del estado. Al día siguiente, 20 de enero, la Secretaría de Seguridad Ciudadana en Playas de Rosarito, Baja California advirtió a la población de fuertes ráfagas de viento de hasta 40 km/h, además de la posibilidad de ocurrencia de lluvias ligeras durante el día. No se registraron afectaciones.

Referencias:

- Jaquez, D. (19/01/2021). Protección Civil listo para atender reportes durante las lluvias *El Sol de Hermosillo*, <https://www.elsoldehermosillo.com.mx/local/hermosillo-proteccion-civil-reportes-lluvias-pronosticadas-quinta-tormenta-invernal-santa-aguilar-comite-operativo-de-emergencias-6261159.html>
- Zamarripa, S. (20/01/2021). Preven lluvias y fuertes vientos *El Sol de Tijuana*, <https://www.elsoldetijuana.com.mx/local/preven-lluvias-y-fuertes-vientos-6261945.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #27

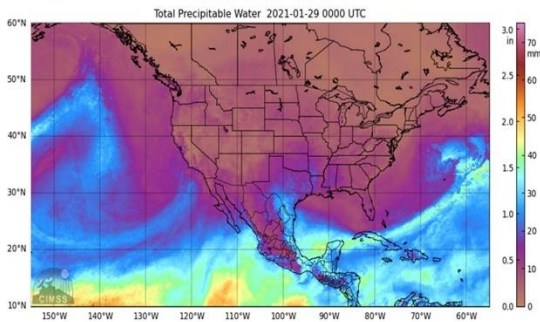
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
28 y 29 de enero, 2021	Invierno	B. California, B. California Sur, Chihuahua y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (2 de febrero, 2021) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-event-summary-26-29-january-2021/
2 días	80 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
28/01/2021	0 - 40	Fuerte	40.0	Centro y norte del estado de Sonora y puntos dispersos del norte del municipio de Ensenada, Baja California
29/01/2021	0 - 40	Fuerte	40.0	Puerto Peñasco, General Plutarco Elías Calles y Nogales, Sonora

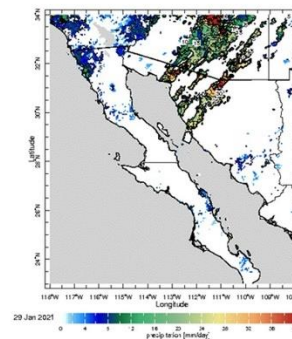
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UCSB/.CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
29 de enero de 2021



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 29 de enero de 2021



Impactos reportados durante el evento:

Protección Civil Municipal de Tijuana informó sobre la posible caída de lluvia y descenso de temperatura durante los próximos días. El Servicio Meteorológico Nacional ese mismo día, 28 de enero, informó sobre la aproximación de un **frente frío (no. 33)** al noroeste de la República Mexicana ocasionaría chubascos en Baja California; lluvias aisladas en Chihuahua, Sonora, y otros dos estados; con rachas de viento de 60 a 70 km/h en el Golfo de California, además de condiciones para la caída de aguanieve o nieve en la sierra de Baja California. Al día siguiente, medios locales informaron sobre lluvias que generaron inundaciones y encharcamientos en Tijuana por la noche, y que éstas continuarían en las horas siguientes, por lo que las autoridades contemplaron el cierre de tramos de la carretera “La Rumorosa” para evitar accidentes por nevadas y lluvias.

Referencias:

Sierra, M. (28/01/2021). Lluvias muy fuertes, nevadas y bancos de niebla *Infobae*, <https://www.infobae.com/america/mexico/2021/01/28/lluvias-muy-fuertes-nevadas-y-bancos-de-niebla-el-pronostico-del-clima-en-mexico-este-28-de-enero/>

Audelo, S. (29/01/2021). Contemplan el cierre de tramos de La Rumorosa ante alerta por lluvia nieve y frío *El Debate*, <https://www.debate.com.mx/estados/Contemplan-el-cierre-de-tramos-de-La-Rumorosa-ante-alerta-por-lluvia-nieve-y-frio-20210129-0080.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #28

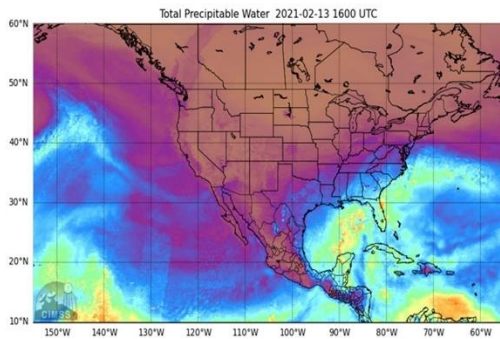
Fecha: 12 y 13 de febrero, 2021	Estación: Invierno	Estados impactados: B. California y Sonora
Duración: 2 días	Precipitación total acumulada estimada: 18 mm	Reportado por CW3E (12 de febrero, 2021) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-12-february-2021-outlook/

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
12/02/2021	0 - 3	Ligera	3.0	Puntos dispersos del norte de los estados de Sonora y B. California
13/02/2021	0 - 15	Moderada	15.0	Ciudad de Ensenada y Cerro Picacho del Diablo, B. California

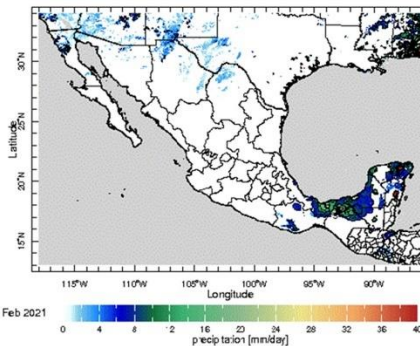
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/.v2p0/.daily-improved/.global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
13 de febrero de 2021



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 13 de febrero de 2021



Impactos reportados durante el evento:

Con la llegada **Frío no. 35** y la **presencia de una corriente en chorro**, las condiciones para generar precipitaciones se extenderían el noreste del Golfo de México, que de acuerdo con el boletín del SMN del día 12 de febrero, esto propiciará lluvias aisladas de 0.1 a 5 mm en Baja California, precipitaciones que podrían acompañarse de descargas eléctricas, fuertes vientos y caída de granizo. No se emitieron reportes o informes de incidentes relacionadas con precipitaciones en la Península de Baja California.

Referencias:

Guerra, A. (12/02/2021). Frente Frío 35 trae lluvias a Tijuana [Alfredoalvarez.mx](https://alfredoalvarez.mx/frente-frio-35-trae-lluvias-a-tijuana/), <https://alfredoalvarez.mx/frente-frio-35-trae-lluvias-a-tijuana/>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #29

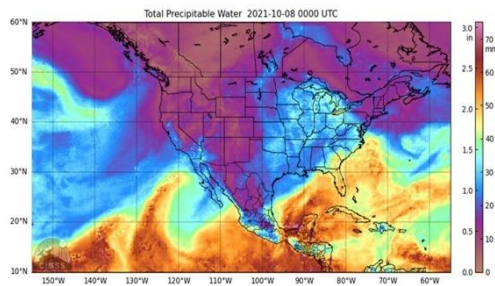
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
7 y 8 de octubre 2021	Otoño	B. California y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (7 de octubre, 2021) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-7-october-2021-outlook/
2 días	13 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
07/10/2021	0 - 5	Ligera	5.0	Puntos dispersos en Tijuana, B. California
08/10/2021	0 - 10	Moderada	8.0	Puntos dispersos en los municipios de Tijuana y Ensenada, B. California

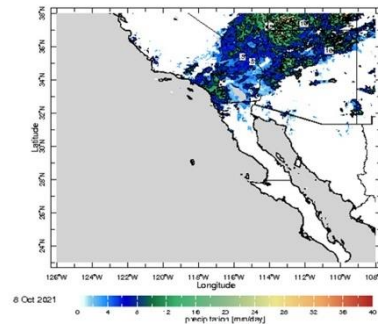
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/v2p0/daily-improved/global/.0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
8 de octubre de 2021



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 8 de octubre de 2021



Impactos reportados durante el evento:

El Servicio Meteorológico Nacional para el día 8 de octubre pronosticó lluvias aisladas en Baja California, así como rachas de 60 a 70 km/h en Baja California, Baja California Sur y el noroeste de Sonora, con generación posibles tolvánicas en dichos estados, impulsado por un **nuevo sistema frontal frío** que permanecería al norte de Baja California y Sonora. Se registraron lluvias en la ciudad de Tijuana el día 8 de octubre, aunque sin generar afectaciones. No hay mayor registro de incidentes o impactos por precipitaciones en la Península de Baja California.

Referencias:

Andrew, K. (08/10/2021). Clima Hoy en México: Nuevo frente frío se aproxima a la frontera noroeste de México *Noticieros Televisa*, <https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/clima-hoy-mexico-8-octubre-2021-nuevo-frente-frio-frontera-noroeste-mexico/>

GH. (08/10/2021). Lluvias cesarán la tarde de este viernes en Tijuana *El Imparcial*, <https://www.elimparcial.com/tijuana/tijuana/Lluvias-cesaran-la-tarde-de-este-viernes-en-Tijuana-20211008-0015.html>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #30

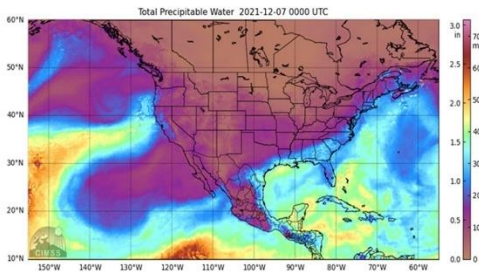
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
7 de diciembre, 2021	Otoño	B. California
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (8 de diciembre, 2021) https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-8-december-2021-outlook/
1 día	20 mm	

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
07/12/2021	0 - 20	Fuerte	20.0	Puntos dispersos en Tijuana, B. California

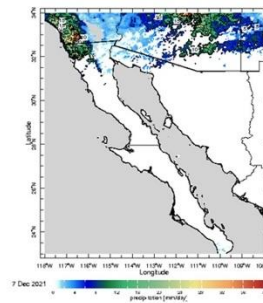
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/v2p0/daily-improved/global/0p05/.prcp>)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
7 de diciembre de 2021



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°, UCSB - 7 de diciembre de 2021



Impactos reportados durante el evento:

El día 7 de diciembre no se reportaron afectaciones por precipitaciones en la Península de Baja California. Al día siguiente, se pronosticó aguanieve, heladas y lluvias para los siguientes días, según la Coordinación Municipal de Protección Civil de Ensenada, que también informó sobre la caída de aguanieve y heladas que posiblemente afectarían la zona serrana, así como algunas lluvias aisladas en distintos puntos de la entidad. No se registraron impactos relacionados con precipitaciones durante el día señalado.

Referencias:

La Jornada. (08/12/2021). Pronostican aguanieve, heladas y lluvias; 15 de diciembre, el día más frío *La Jornada*, <https://jornadabc.com.mx/bajacalifornia/pronostican-aguanieve-heladas-y-lluvias-15-de-diciembre-el-dia-mas-frio/>

Ficha de Identificación de Río Atmosférico #31

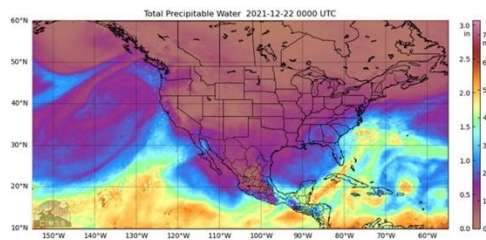
Fecha:	Estación:	Estados impactados:
21 y 22 de diciembre, 2021	Invierno	B. California y Sonora
Duración:	Precipitación total acumulada estimada:	Reportado por CW3E (22 de diciembre, 2021)
2 días	30 mm	https://cw3e.ucsd.edu/cw3e-ar-update-22-december-2021-outlook/

Fecha	Rango de Precipitación* (mm)	Intensidad ** (SMN)	Precipitación Máxima (mm)	Ubicación Estimada de Precipitación Máxima
21/12/2021	0 - 15	Moderada	15.0	Tijuana y Norte del Municipio de Ensenada, California
22/12/2021	0 - 15	Moderada	15.0	Zona centro del municipio de Ensenada

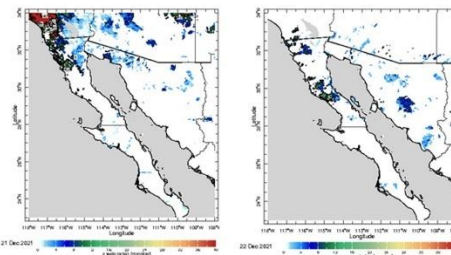
Fuente: *Precipitación Acumulada Diaria Global de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) de UCSB resolución 0.05° (http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRPS/v2p0/daily-improved_global/0p05/prcp)

** La categoría de intensidad de la precipitación fue tomada del Servicio Meteorológico Nacional.

Agua Precipitable Total (TPW) de CIMSS
22 de diciembre de 2021



Precipitación Total Acumulada de CHIRPS v.2 resolución 0.05°,
UCSB - 21 y 22 de diciembre de 2021



Impactos reportados durante el evento:

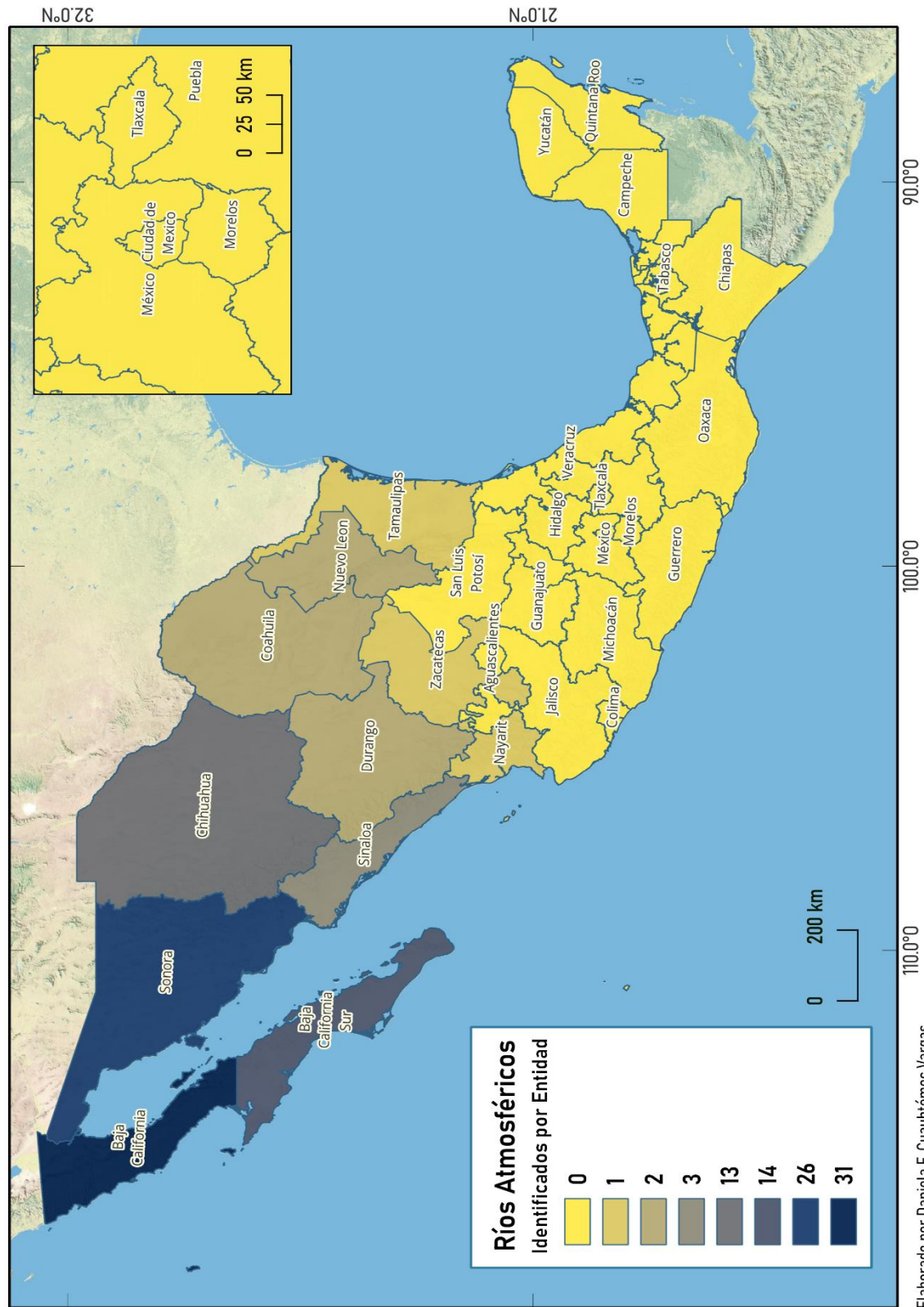
El día miércoles 22 de diciembre, el titular de la Coordinación Estatal de Protección Civil informó la probabilidad de lluvias, principalmente en la zona costera del Estado, debido a un sistema de baja presión y **la entrada de dos tormentas en la región**, aunque mencionó generarían precipitaciones ligeras, con la estimación de un total acumulado de entre 25 y 50 mm costas y valles, así lo informaron medios locales. No se registraron impactos relacionados con precipitaciones durante los días identificados.

Referencias:

Pérez, C. (22/12/2021). Habrá lluvias en Tijuana esta Navidad *El Sol de Tijuana*, <https://www.elsoldetijuana.com.mx/local/habra-lluvias-en-tijuana-esta-navidad-7642655.html>

GH. (22/12/2021). Protección Civil emite recomendaciones ante llegada de dos tormentas a Tijuana *El Imparcial*, <https://www.elimparcial.com/tijuana/tijuana/Proteccion-Civil-emite-recomendaciones-ante-llegada-de-dos-tormentas-a-Tijuana-20211222-0008.html>

Frecuencia de Ríos Atmosféricos por Entidad (2016 - 2021)



Anexo 32. Mapa de Frecuencia de RA por Entidad en México

Referencias

AFN. (07/12/2019). Lluvias de sábado a lunes en Ensenada AFN Tijuana, http://www.afntijuana.info/informacion_general/101850_lluvias_de_sabado_a_lunes_en_ensenada

AFP. (09/01/2018). Trece muertos por inundaciones en California Agence France-Press, <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/01/09/nota/6559311/trece-muertos-destruccion-inundaciones-california/>

AFP. (09/01/2018). Trece muertos por inundaciones en California Agence France-Press, <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/01/09/nota/6559311/trece-muertos-destruccion-inundaciones-california/>

AMS. (2019). Atmospheric River. Glossary of Meteorology. American Meteorological Society Recuperado el 30 de julio de 2020 de https://glossary.ametsoc.org/wiki/Atmospheric_river

AMS. (2020). Precipitable water. Glossary of Meteorology. American Meteorological Society. Recuperado el 4 de enero de 2021 de https://glossary.ametsoc.org/wiki/Precipitable_water

Andrew, K. (08/10/2021). Clima Hoy en México: Nuevo frente frío se aproxima a la frontera noroeste de México Noticieros Televisa, <https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/clima-hoy-mexico-8-octubre-2021-nuevo-frente-frio-frontera-noroeste-mexico/>

Ángeles, J. (10/01/2018). Frente frío 22 mantendrá bajas temperaturas Regeneración, <https://regeneracion.mx/frente-frio-22-mantendra-bajas-temperaturas-se-espera-caida-de-nieve-o-aguanieve-smn/>

Ángeles, J. (10/01/2018). Frente frío 22 mantendrá bajas temperaturas Regeneración, <https://regeneracion.mx/frente-frio-22-mantendra-bajas-temperaturas-se-espera-caida-de-nieve-o-aguanieve-smn/>

Ariday, N. (20/01/2017). Podría haber lluvia con tormenta eléctrica hoy en Tijuana San Diego Red, <https://www.sandiegored.com/es/noticias/136541/Podria-haber-lluvia-con-tormenta-electrica-hoy-en-Tijuana>

Audelo, S. (29/01/2021). Contemplan el cierre de tramos de La Rumorosa ante alerta por lluvia nieve y frío El Debate, <https://www.debate.com.mx/estados/Contemplan-el-cierre-de-tramos-de-La-Rumorosa-ante-alerta-por-lluvia-nieve-y-frio--20210129-0080.html>

Bahena, R. (22/02/2020). ¿Disfrutaste de este sábado nublado? Así continuará este fin de semana El Sol de Hermosillo, <https://www.elsoldehermosillo.com.mx/local/frente-frio-trae-lloviznas-en-sonora-4873853.html>

Bahena, R. (29/11/2019). Solicita Gobierno de Sonora Declaratoria de Emergencia por lluvias torrenciales. El Sol de Hermosillo, <https://www.elsoldehermosillo.com.mx/local/solicita-gobierno-de-sonora-declaratoria-de-emergencia-por-lluvias-torrenciales-4521328.html>

BCS noticias. (7 de abril de 2016). Por posibilidad de alto oleaje, piden extremar precauciones a embarcaciones en BCS. BCS noticias. Recuperado de <https://www.bcsnoticias.mx/por-posibilidad-de-alto-oleaje-piden-extremar-precauciones-a-embarcaciones-en-bcs/>

Borbolla, K. (08/01/2018). Pronostican lluvias para esta noche y mañana en Tijuana El Debate, <https://www.debate.com.mx/mexico/Pronostican-lluvias-para-esta-noche-y-manana-en-Tijuana-20180108-0082.html>

Breslin, S. (22 de diciembre de 2016). Storm System Drenches West; Hundreds of Accidents Reported in California, Flooding Swamps Arizona Roads. Weather.com. The weather channel: <https://weather.com/news/news/rain-flooding-west-california-arizona-travel-impacts>

Burton, I. y Kates, R. (1964). "The Perception of Natural Hazards in Resource Management". *Natural Resources Journal*, 3: 412–441. Chicago: University of Chicago.

CENAPRED, (2007). *Grado de riesgo por inundaciones por municipio*. Escala: 1:1000000. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

CENAPRED. (2006). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres – CENAPRED.

CHC. (2016). CHIRPS: Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations. CHC UC. University of California, Santa Barbara. Recuperado el 4 de enero de 2021 de <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>

Comisión Nacional del Agua. (2010). *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Laguna de Jaco, estado de Chihuahua*. CONAGUA.

Cordeira, J., Ralph M., and Moore B. (2013). The development and evolution of two atmospheric rivers in proximity to western North Pacific tropical cyclones in October 2010. *Monthly Weather Review*, (141), 4234–4255 pp. doi:10.1175/MWR-D-13-00019.1.

Coria, C. (8 de marzo de 2016). Tormenta invernal causa nevadas en Chihuahua, Sonora y Durango. EXCELSIOR. Recuperado de <https://www.excelsior.com.mx/nacional/2016/03/08/1079590>

Corringham, T. (2019). The Effect of El Niño on Flood Damages in the Western United States. *Weather, Climate, and Society*, (11), 489 - 504 pp. doi: <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-18-0071.1>

Corringham, T., Ralph, F., Gershunov, A., Cayan, D. y Talbot, C. (2019). Atmospheric rivers drive flood damages in the western United States. *Science Advances*, 5(12), 1-8. doi: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax4631>

Coster, A., *et al.* (1996). Measurements of Precipitable Water Vapor by GPS, Radiosondes, and a Microwave Water Vapor Radiometer. *ION-GPS*, (20), 625-634 pp. Recuperado el 30 de julio de 2020 de <http://gauss.gge.unb.ca/papers.pdf/iongps96.anthea.pdf>

Dávila, K. (26/12/2019). Pronostican chubascos para esta tarde en Tijuana El Sol de Tijuana, <https://www.elsoldetijuana.com.mx/local/pronostican-chubascos-para-esta-tarde-en-tijuana-4628564.html>

De Anda, S. (16/02/2019). Reparación de baches y pluviales tomará más de lo normal: SDUE Uniradio Informa, <https://www.uniradioinforma.com/noticias/tijuana/556911/reparacion-de-baches-y-pluviales-tomara-mas-de-lo-normal-sdue.html>

Eiras Barca, B., Taboada, J., Miguez G. (2015). Impacto Meteorológico de los ríos atmosféricos en las Precipitaciones Anómalas de Galicia. *Avances en ciencias de la tierra*, (5), 10 - 22 pp.

Eiras, J. (2018). Ríos Atmosféricos y Transporte de Humedad Tropical: Relevancia para la Precipitación Extrema y la Ciclogénesis Explosiva. España: Universidade de Santiago de Compostela.

El Debate. (19/02/2017). Lluvias dejan tres muertos en Baja California El Debate, <https://www.debate.com.mx/mexico/Lluvias-dejan-tres-muertos-en-Baja-California-20170219-0050.html>

El Imparcial. (23/12/2019). Pronóstico del clima: Lluvias fuertes y nevadas para Sonora y Baja California El Imparcial, <https://www.elimparcial.com/mexico/Pronostico-del-clima-Lluvias-fuertes-y-nevadas-para-Sonora-y-Baja-California-20191223-0018.html>

El Universal. (09/01/2018). Cierran Parque San Pedro Mártir El Universal, <https://www.eluniversal.com.mx/destinos/bajas-temperaturas-provocan-cierre-temporal-del-parque-nacional-san-pedro-martir>

Epeloa, J. (2015). *Estudio y validación de mediciones de presión de vapor de agua integrado en la atmósfera*. Argentina: Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ingeniería.

Espinoza, V. *et al.* (2019). Global Analysis of Climate Change Projection Effects on Atmospheric Rivers. *Geophysical Research Letters*, (45), 4299 – 4308 pp. doi: <https://doi.org/10.1029/2017GL076968>

Fabela, O. (14/03/2020). Protección Civil continúa monitoreando zonas de riesgo durante lluvias Uniradio Informa, <https://www.uniradioinforma.com/noticias/tijuana/593873/proteccion-civil-continua-monitoreando-zonas-de-riesgo-durante-lluvias.html>

Forbes Staff. (23/12/2019). Cae nieve en la zona serrana de San Pedro Mártir Forbes México, <https://www.forbes.com.mx/cae-nieve-en-la-zona-serrana-de-san-pedro-martir/>

Gaceta mexicana. (22 de diciembre de 2016). Rachas fuertes de viento con clima frío prevén en norte y noreste de México. www.gacetamexicana.com Recuperado de <https://www.gacetamexicana.com/rachas-fuertes-viento-clima-frio-preven-norte-noreste-mexico/>

García, F. (noviembre de 1984). La Geografía de los Riesgos. *Cuadernos Críticos de Geografía Humana*. Universidad de Barcelona, Año IX. (54). ISSN: 0210-0754

García, E. (1998). *Precipitación total anual*. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

García, E., Ma. E. Hernández, T. Reyna-Trujillo (1990). *Regímenes pluviométricos y Distribución de la precipitación*. Extraído de Canícula, sequía intraestival o de medio verano. IV.5.1. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1:8000000. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Geostationary Operational Environmental Satellites—R Series. (2019). Keeping An Eye on Rivers in The Sky. NOAA & NASA. Recuperado el 30 de julio de 2020 de <https://www.goes-r.gov/featureStories/riversInTheSky.html>

GH. (08/10/2021). Lluvias cesarán la tarde de este viernes en Tijuana El Imparcial, <https://www.elimparcial.com/tijuana/tijuana/Lluvias-cesaran-la-tarde-de-este-viernes-en-Tijuana-20211008-0015.html>

GH. (09/03/2020). Pronostican cuatro días de lluvia para Tijuana El Imparcial, <https://www.elimparcial.com/tijuana/tijuana/Pronostican-cuatro-dias-de-lluvia-para-Tijuana-20200308-0026.html>

GH. (22/12/2021). Protección Civil emite recomendaciones ante llegada de dos tormentas a Tijuana El Imparcial, <https://www.elimparcial.com/tijuana/tijuana/Proteccion-Civil-emite-recomendaciones-ante-llegada-de-dos-tormentas-a-Tijuana-20211222-0008.html>

GH. (29/11/2019). Varias carreteras de Sonora bloqueadas por las fuertes lluvias El Imparcial, <https://www.elimparcial.com/sonora/sonora/Varias-carreteras-de-Sonora-bloqueadas-por-las-fuertes-lluvias-20191129-0062.html>

Gil, L. y Ortega, L. (20/08/2019). *Panorama de la hidrología isotópica*. Organismo Internacional de Energía Atómica. IAEA. <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/panorama-de-la-hidrologia-isotopica>

González-Hita, *et al.*, (2021). Isotopic composition of rainfall in Baja California Sur, México. *International Journal of Hydrology*, 5 (3), pp. 93 – 100.

Guan, B., y D. E. Waliser, (2019): Tracking atmospheric rivers globally: Spatial distributions and temporal evolution of life cycle characteristics. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres.*, (124), 12523–12552 pp, doi: 10.1029/2019JD031205.

Guan, B., D. E. Waliser, y F. M. Ralph, (2018): An intercomparison between reanalysis and dropsonde observations of the total water vapor transport in individual atmospheric rivers. *J. Hydrometeor.*, (19), 321–337, doi:10.1175/JHM-D-17-0114.1.

Guan, B., Waliser D., y Ralph M. (2015). Detection of atmospheric rivers: Evaluation and application of an algorithm for global studies. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres.*, (120), 12 514–12 535 pp., doi:10.1002/2015JD024257.

Guerra, A. (12/02/2021). Frente Frío 35 trae lluvias a Tijuana [alfredoalvarez.mx](https://alfredoalvarez.mx/frente-frio-35-trae-lluvias-a-tijuana/), <https://alfredoalvarez.mx/frente-frio-35-trae-lluvias-a-tijuana/>

Hecht, C. y Ralph M. (9 de diciembre de 2016). CW3E Atmospheric River Update - Outlook. California DWR's AR Program. CW3E Recuperado de https://cw3e.ucsd.edu/wp-content/uploads/2016/12/09Dec16_AROutlook/09Dec_Outlook.pdf

Holguín, R. (09/12/2019). Cae nevada en Madera y Casas Grandes El Heraldo de Chihuahua, <https://www.elheraldodechihuahua.com.mx/local/cae-nevada-en-madera-noticias-de-chihuahua-4563780.html>

INECC. (2020). GLOSARIO. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Recuperado el 20 de diciembre de 2020 de <http://elcambioclimaticodefrente.inecc.gob.mx/glosario>

INEGI. (1991). *Datos Básicos de la Geografía de México*. México: INEGI. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825221218/702825221218_1.pdf

Jaquez, D. (19/01/2021). Protección Civil listo para atender reportes durante las lluvias El Sol de Hermosillo, <https://www.elsoldehermosillo.com.mx/local/hermosillo-proteccion-civil-reportes-lluvias-pronosticadas-quinta-tormenta-invernal-santa-aguilar-comite-operativo-de-emergencias-6261159.html>

La Jornada. (03/01/2021). Prevén fuertes lluvias en el país por frente frío 24 La Jornada, <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/01/03/estados/preven-fuertes-lluvias-en-el-pais-por-frente-frio-24/>

La Jornada. (08/12/2021). Pronostican aguanieve, heladas y lluvias; 15 de diciembre, el día más frío La Jornada, <https://jornadabc.com.mx/bajacalifornia/pronostican-aguanieve-heladas-y-lluvias-15-de-diciembre-el-dia-mas-frio/>

Lavers, D. A., Allan, R. P., Wood, E. F., Villarini, G., Brayshaw, D. J., y Wade, A. J. (2011). Winter floods in Britain are connected to atmospheric rivers. *Geophysical Research Letters*, (38), L2380. doi:10.1029/2011GL049783

Lavers, D. A., y G. Villarini (2013), Atmospheric rivers and flooding over the central United States, *Journal of Climate*, (26), 7829–7836 pp, doi:10.1175/JCLI-D-13-00212.1.

Lavers, D. A., G. Villarini, R. P. Allan, E. F. Wood, y A. J. Wade (2012), The detection of atmospheric rivers in atmospheric reanalyses and their links to British winter floods and the large-scale climatic circulation, *Journal of Geophysical Research*, (117), D20106, doi:10.1029/2012JD018027

Lora, J. M., Shields, C. A., y Rutz, J. J. (2020). Consensus and disagreement in atmospheric river detection: ARTMIP global catalogues. *Geophysical Research Letters*, (47), e2020GL089302, doi: 10.1029/2020GL089302

Loza, R. (15/02/2019). Estragos por las lluvias, los mismos Zeta Tijuana, <https://zetatijuana.com/2019/02/estragos-por-las-lluvias-los-mismos/>

Lugo, J. (2011). *Diccionario geomorfológico*. México: Instituto de Geografía, UNAM. Recuperado el 20 de diciembre de 2020 de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/32/32/95-1>

M. Rodwell, R. Forbes y H. Wernli. (2018). Why warm conveyor belts matter in NWP. *ECMWF Newsletter*, (154 – Winter 2017/18), pp. 21-28. doi:10.21957/mr20vg

Mandujano, R. (28/11/2019). Mujer muere arrastrada por corriente de agua, tras fuertes lluvias en Chihuahua Noticieros Televisa,

<https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/mujer-muere-arrastrada-corriente-agua-fuertes-lluvias-chihuahua/>

Marina, D. (05/04/2020). Lluvias cubrirán Tijuana los próximos días San Diego Red, <https://www.sandiegored.com/es/noticias/183260/Lluvias-cubriran-Tijuana-los-proximos-dias>

Martínez-Claros, *et al.*, (2022). Vorticity and Thermodynamics in a Gulf of Mexico Atmospheric River. *Atmósfera*, 35(2), 273–286. <https://doi.org/10.20937/ATM.52901>

Maya, A. (05/12/2019). Calles inundadas por fuerte lluvia El Sol de Tijuana, <https://www.elsoldetijuana.com.mx/local/calles-inundadas-por-fuerte-lluvia-4542533.html>

Medina, E. (03/01/2021). Temperaturas bajo cero, deja segunda helada El Sudcaliforniano, <https://www.elsudcaliforniano.com.mx/local/temperaturas-bajo-cero-deja-segunda-helada-6201188.html>

Medina, E. (15/12/2020). Están a cero grados en Guerrero Negro El Sudcaliforniano, <https://www.elsudcaliforniano.com.mx/local/municipios/estan-a-cero-grados-en-guerrero-negro-6135753.html>

Mena, M. (07/04/2018). Ingres a nuevo frente frío, las lluvias seguirán en Puebla El Sol de Puebla, <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/ingresa-nuevo-frente-frío-las-lluvias-seguiran-en-puebla-1595628.html>

Mendenhall, W. (2010). Introducción a la probabilidad y estadística. México: Cengage Learning. Recuperado el 22 de diciembre de 2020 de <https://www.fcfm.buap.mx/jzacarias/cursos/estad2/libros/book5e2.pdf>

Mendoza, A. (09/03/2020). Suspensión de clases por lluvias en la zona costa de Baja California The San Diego Union-Tribune, <https://www.sandiegouniontribune.com/en-espanol/primera-plana/articulo/2020-03-09/suspension-de-clases-por-lluvias-en-la-zona-costa-de-baja-california>

Monitor Económico. (21/01/2017). Confirman lluvias para Mexicali y nieve para la Rumorosa Monitor Económico de Baja California, <http://monitoreconomico.org/noticias/2017/jan/20/confirman-lluvias-para-mexicali-y-nieve-para-la-rumorosa/>

Moore, B., Neiman P., Ralph M., y Barthold F. (2012), Physical processes associated with heavy flooding rainfall in Nashville, Tennessee, and vicinity during 1–2 May 2010: The role of an atmospheric river and mesoscale convective systems, *Monthly Weather Review*, (140), 358–378 pp, doi:10.1175/MWR-D-11-00126.1.

National Centers for Environmental Information (NCEI). (2013). Global Forecast System (GFS). NOAA. Recuperado el 30 de octubre de 2020 de

<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>

National Weather Service. NWS. (2020). Glosario. MetEd.UCAR. University Corporation for Atmospheric Research UCAR. Recuperado el 20 de noviembre de 2020 de https://www.meted.ucar.edu/glossaries/mesogloss_es.htm

Neiman, P., Ralph M., *et al.* (2008) Meteorological characteristics and overland precipitation impacts of atmospheric rivers affecting the West Coast of North America based on eight years of SSM/I satellite observations. *Journal of Hydrometeorology AMS*, (9), 22–47 pp. doi:10.1175/2007JHM855.1.

NOAA. (Diciembre, 2015). What are atmospheric rivers?. NOAA Weather. Recuperado el 30 de julio de 2020 de <https://www.noaa.gov/stories/what-are-atmospheric-rivers>

Notimex. (02/02/2019). ¡Prepárate! Se esperan lluvias y viento para este sábado El Sol de Tijuana, <https://www.elsoldetijuana.com.mx/local/preparate-se-esperan-lluvias-y-viento-para-este-sabado-3007158.html>

Notimex. (22/03/2018). Se espera clima extremo en estos seis estados del país Notimex, <https://www.unotv.com/noticias/portal/nacional/detalle/clima-extremo-en-seis-estados-del-pas-886667/>

NOTIMEX. (6 de marzo de 2016). Alertan sobre posibles torbellinos en 8 estados del norte del país. EXCELSIOR. Recuperado de <https://www.excelsior.com.mx/nacional/2016/03/06/1079144>

NOTIMEX. (18/02/2017). No deje el paraguas; habrá lluvias en gran parte del territorio nacional NOTIMEX, <https://www.nssoaxaca.com/2017/02/18/no-deje-el-paraguas-habra-lluvias-en-gran-parte-del-territorio-nacional/>

Notisistema. (14/02/2018). Frente frío 29 favorecerá aumento de nublados y lluvias en el noroeste del país Notisistema, <https://www.notisistema.com/noticias/frente-frio-29-favorecera-aumento-de-nublados-y-lluvias-en-el-noroeste-del-pais/>

Pacheco, B. (23 de diciembre de 2016). “Exhiben” lluvias las calles dañadas. El Vigía. www.elvigia.net/ Recuperado de <https://www.elvigia.net/general/2016/12/23/exhiben-lluvias-calles-daadas-259508.html>

Palma, J. (14/12/2020). Dos frentes fríos generan tiempo significativo en Mexico Meteored, <https://www.meteored.mx/noticias/prediccion/lluvias-con-viento-y-frio-en-mexico-para-esta-semana.html>

Payán, Q. (14/03/2020). Importante presencia de lluvia y granizo en los últimos días Meteored, <https://www.meteored.mx/noticias/actualidad/importante-presencia-de-lluvia-y-granizo-en-los-ultimos-dias.html>

Pérez, C. (22/12/2021). Habrá lluvias en Tijuana esta navidad El Sol de Tijuana, <https://www.elsoldetijuana.com.mx/local/habra-lluvias-en-tijuana-esta-navidad-7642655.html>

Pineda, R. (2018). Estimación del vapor de agua en la atmosfera a partir de datos GPS. México: UNAM. Facultad de Ingeniería.

RAE. (2020). Algoritmo. Diccionario de la Lengua Española. Real Academia Española. Recuperado el 20 de diciembre de 2020 de <https://dle.rae.es/algoritmo>

Ralph, M. (2013). Observed impacts of duration and seasonality of atmospheric-river landfalls on soil moisture and runoff in coastal Northern California. *Journal of Hydrometeorology AMS*, (14), 443–459. doi: pp. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-076.1>

Ralph, M. (2015). Atmospheric Rivers Workshop: June 15-17, 2015. Center for Western Weather and Water Extremes (CW3E). Recuperado el 30 de julio de 2020 de <https://cw3e.ucsd.edu/atmospheric-rivers-workshop-june-15-17-2015/>

Ralph, M. (2017). The Chiricahua Gap and the Role of Easterly Water Vapor Transport in Southeastern Arizona Monsoon Precipitation. *Journal of Hydrometeorology AMS*, (18), 2511 - 2520 pp. doi: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-17-0031.1>

Ralph, M. (2019). A Scale to Characterize the Strength and Impacts of Atmospheric Rivers. *American Meteorological Society*, (100), 269 - 289 pp. doi: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0023.1>

Ralph, M., *et al.* (2017). Dropsonde observations of total water vapor transport within North Pacific atmospheric rivers. *Journal of Hydrometeorology AMS*, (18), 2577–2596 pp., doi:10.1175/JHM-D-17-0036.

Ralph, M., Neiman P., y Wick G. (2004). Satellite and CALJET aircraft observations of atmospheric rivers over the eastern North Pacific Ocean during the winter of 1997/98. *Monthly Weather Review*, (132), 1721–1745 pp, doi:10.1175/1520-0493(2004)132<1721:SACA00>2.0.CO;2.

Ralph, M., Paul N., George K., Klaus W., David R. (2011): A Multiscale Observational Case Study of a Pacific Atmospheric River Exhibiting Tropical–Extratropical Connections and a Mesoscale Frontal Wave. *American Meteorological Society*, 139, 1169–1189 pp. doi: <https://doi.org/10.1175/2010MWR3596.1>

Ramos, A., Wilson A., DeFlorio M., *et al.* (2018). International Atmospheric Rivers Conference: Multi-disciplinary studies and high-impact applications of atmospheric rivers. *Atmospheric Science Letters*, (20), e935. doi: <https://doi.org/10.1002/asl.935>

Redacción Web. (22 de diciembre de 2016). Pronostican para Cajeme una máxima de 27°C y cielo medio nublado. *Expreso*. www.expreso.com.mx.

Recuperado de <https://www.expreso.com.mx/seccion/sonora/5109-pronostican-para-cajeme-una-maxima-de-27-c-y-cielo-medio-nublado.html>

Redacción Zeta. (03/02/2019). Deslave destruye vivienda en Rancho Las Flores; tras lluvias Zeta Tijuana, <https://zetatijuana.com/2019/02/deslave-destruye-vivienda-en-rancho-las-flores-tras-lluvias>

Romero, C. (12/03/2018). Frío toda la semana y lluvia a partir del miércoles para Tijuana San Diego Red, <https://www.sandiegored.com/es/noticias/160202/Frio-toda-la-semana-y-lluvia-a-partir-del-miercoles-para-Tijuana>

Ruckstuhl, C., R. Philipona, J. Morland, y A. Ohmura (2007), Observed relationship between surface specific humidity, integrated water vapor, and longwave downward radiation at different altitudes, *J. Geophys. Res.*, (112), D03302. doi:10.1029/2006JD007850

Rutz, J. J., Steenburgh, W. J., y Ralph, F. M. (2014). Climatological Characteristics of Atmospheric Rivers and Their Inland Penetration over the Western United States, *Monthly Weather Review*, 142(2), 905-921 pp, doi: 10.1175/MWR-D-13-00168.1

Sánchez, G. (03/12/2019). Pronostican otros cuatro días de lluvias en Tijuana El Imparcial, <https://www.elimparcial.com/tijuana/tijuana/Pronostican-otros-cuatro-dias-de-lluvias-en-Tijuana-20191202-0027.html>

Sánchez, G. (07/11/2020). Llega frente frío con vientos y lluvia: Protección Civil El Imparcial, <https://www.elimparcial.com/tijuana/tijuana/Se-esperan-lluvias-desde-hoy-y-hasta-el-lunes-en-Tijuana-20201106-0015.html>

Sánchez, G. (04/12/2019). Inundaciones y encharcamientos dejan lluvias en Tijuana El Imparcial, <https://www.elimparcial.com/tijuana/tijuana/Inundaciones-y-encharcamientos-dejan-lluvias-en-Tijuana-20191204-0008.html>

Sánchez, L. (15/02/2019). Lluvias dejan inundaciones y deslaves en Tijuana; activan el Plan DN-III Noticieros Televisa, <https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/lluvias-inundaciones-deslaves-tijuana-baja-california-activan-plan-dn-iii/>

SEDATU. (2016). *Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos*. México: Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano.

Sierra, M. (28/01/2021). Lluvias muy fuertes, nevadas y bancos de niebla Infobae, <https://www.infobae.com/america/mexico/2021/01/28/lluvias-muy-fuertes-nevadas-y-bancos-de-niebla-el-pronostico-del-clima-en-mexico-este-28-de-enero/>

SMN. (2020). Glosario Técnico. CONAGUA, Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado el 20 de diciembre de 2020 de <https://smn.conagua.gob.mx/es/smn/glosario>

SMN. (2020). *El reporte del clima en México: Reporte anual 2019*. Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/diagnostico-climatico/reporte-del-clima-en-mexico>

SMN. (2021). *El reporte del clima en México: Reporte anual 2020*. Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/diagnostico-climatico/reporte-del-clima-en-mexico>

SMN. (2022). *El reporte del clima en México: Reporte anual 2021*. Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/diagnostico-climatico/reporte-del-clima-en-mexico>

SUN. (27/11/2019). Cierran puertos y suspenden clases en Baja California Sur Por lluvias Informador.mx, <https://www.informador.mx/mexico/Cierran-puertos-y-suspenden-clases-en-Baja-California-Sur-Por-lluvias--20191127-0111.html>

UCAR/COMET. (2017). Identificación Satelital de Estructuras: Los ríos atmosféricos. UCAR. Recuperado el 30 de julio de 2020 de https://www.meted.ucar.edu/norlat/sat_features/ars_es/index.htm

Uniradio Informa. (27/12/2019). Autoridades plantean soluciones por inundación en cañón del matadero Uniradio Informa, <https://www.uniradioinforma.com/noticias/tijuana/586843/autoridades-plantan-soluciones-por-inundacion-en-canon-del-matadero.html>

Uniradio Informa. (02/02/2019). Alertan por tormenta que dañaría techos de casas en Tijuana y Rosarito Uniradio Informa, <https://www.uniradioinforma.com/noticias/tijuana/555511/alertan-por-tormenta-que-danaria-techos-de-casas-en-tijuana-y-rosarito.html#gsc.tab=0>

Uniradio. (12/03/2018). Ingresará frente frío a la región: Protección Civil Uniradio Informa, <https://www.uniradioinforma.com/noticias/ensenada/516495/ingresara-frente-frio-a-la-region-proteccion-civil.html>

Univision. (05/11/2020). Bajón de temperaturas, lluvia y hasta nieve en el sur de California a partir de este viernes Univision Los Ángeles, <https://www.univision.com/local/los-angeles-kmex/bajon-de-temperaturas-lluvia-y-hasta-nieve-en-el-sur-de-california-a-partir-de-este-viernes>

White, A. (2018). Flyer Atmospheric Rivers. Estados Unidos: NOAA, Earth System Research, Laboratory Physical Sciences Division. Recuperado el 30 de julio de 2020 de https://psl.noaa.gov/outreach/resources/handouts/atmos_rivers.pdf

Wilson, A., Chapman, W., Payne, A. et al. (2020). Training the Next Generation of Researchers in the Science and Application of Atmospheric Rivers. *Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS)*, (101), E738 - E743. doi: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0311.1>

Yajhaira, A (14/03/2018). Mañana lluviosa en BC Veraz Baja California, <https://verazinforma.com/tecate/sera-una-manana-lluviosa-la-de-este-jueves-con-frio-y-viento-en-gran-parte-de-baja-california/>

Yajhaira, A. (10/01/2017). Lluvias esta noche y hasta el jueves en Tijuana, Tecate y Rosarito. Veraz Baja California. Recuperado de <https://verazinforma.com/tecate/lluvias-esta-noche-y-hasta-el-jueves-en-tijuana-tecate-y-rosarito>

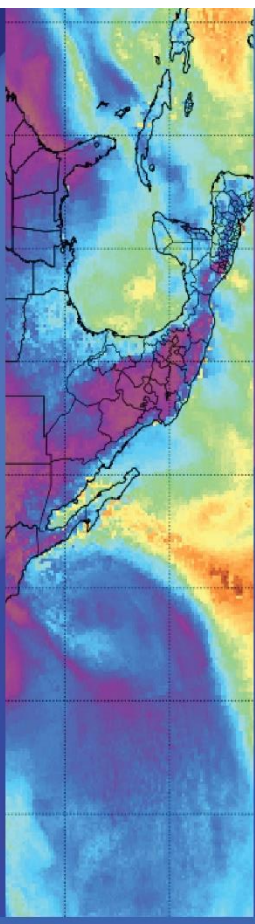
Zamarripa, S. (20/01/2021). Prevén lluvias y fuertes vientos El Sol de Tijuana, <https://www.elsoldetijuana.com.mx/local/preven-lluvias-y-fuertes-vientos-6261945.html>

Zhu, Y. y Newell R. (1998). A proposed algorithm for moisture fluxes from atmospheric rivers. *Monthly Weather Review*, (126), 725-735 pp. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1998\)126<0725:APAFMF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1998)126<0725:APAFMF>2.0.CO;2)

Zhu, Y. y Newell R. (1994). Atmospheric rivers and bombs. *Geophysical Research Letters*. 21 (18): 1999-2002. doi: <https://doi.org/10.1029/94GL01710>



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA



IDENTIFICACIÓN DE LOS RÍOS ATMOSFÉRICOS Y SUS IMPACTOS EN MÉXICO DE 2016 - 2021

TESIS PARA OBTENER GRADO DE LICENCIADA EN GEOGRAFÍA
PRESENTADA POR

DANIELA FERNANDA CUAUHTÉMOC VARGAS

DIRECCIÓN: DRA. LETICIA GÓMEZ MENDOZA
CDMX 2023