Reporte del Clima en México

Reporte anual 2019

Coordinación General del
Servicio Meteorológico Nacional

Gerencia de Meteorología y Climatología
Subgerencia de Climatología y Servicios Climáticos

CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Comisión Nacional del Agua
Calz. México-Xochimilco 4985, Col. Guadalupe, Alcaldía Tlalpan C. P. 14388 Ciudad de México.

Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional
Av. Observatorio 192, Col. Observatorio, Alcaldía Miguel Hidalgo. C.P. 11860, Ciudad de México.
Teléfono: 26364600

www.conagua.gob.mx
smn.conagua.gob.mx/es/

EL REPORTE DEL CLIMA EN MÉXICO
Es una publicación editada por la
Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua

Autores:
Reynaldo Pascual Ramírez
reynaldo.pascual@conagua.gob.mx
Minerva López Quiroz
minerva.lopez@conagua.gob.mx
Luis Alberto Chablé Pech
lachable@conagua.gob.mx
Abril Zaira Espejo Madrigal
abril.espejo@conagua.gob.mx
Yenifeer Loranca Domínguez
yenifeer.loranca@conagua.gob.mx
Juana Idalia Ledesma Ledesma
juana.ledesma@conagua.gob.mx
Edson Yael Quintero Vallejo
edson.quintero@conagua.gob.mx

Edición:
Aurora Guadalupe Zavala Fajardo

Revisión:
Reynaldo Pascual Ramírez
Minerva López Quiroz

CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Portada: Eventos climatológicos en la Republica Mexicana en el año 2019.

La portada del Reporte del Clima en México, contiene la recopilación de fotografías de algunos eventos climatológicos y meteorológicos en el año 2019.

Referencia: Elaboración conjunta de la Subgerencia de Climatología y Servicios Climáticos y el área de Vinculación e Información Climatológica y Meteorológica, de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.

ÍNDICE

Prólogo 10

Lista de acrónimos y siglas 12

Glosario 14

1. Condiciones Globales del Clima 16

1.1 Oceánicas 17

1.1.1 Océano Pacífico y El Niño-Oscilación del Sur 17

1.1.2 Océano Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México 20

1.2 Condiciones Atmosféricas y Teleconexiones 21

2. Precipitación 27

2.1 Temporada de lluvias 31

2.2 Canícula 34

3. Ciclones tropicales 36

3.1 Océano Atlántico 36

3.2 Océano Pacífico Noreste 37

4. Ondas Tropicales 40

5. Frentes Fríos 46

6. Sequía 53

7. Temperatura 55

7.1 Frecuencia de días fríos y cálidos 57

7.1.1 Número de Días con temperatura mínima Igual o Menor a 0°C 57

7.1.2 Número de Días con Temperatura máxima Igual o Mayor a 40°C 59

7.2 Tormentas invernales 60

8. Eventos Notables 66

8.1 Tornados y trombas marinas 66

8.2 Nevadas 68

8.3 Granizadas 68

8.4 Inundaciones 70

8.5 Río Atmosférico 71

Anexos 74

Anexo 1 Precipitación Nacional y por Entidad Federativa 74

Anexo 2 Temperatura Máxima Promedio Nacional y por Entidad Federativa 75

Anexo 3 Temperatura Media Nacional y por Entidad Federativa..... 76

Anexo 4 Temperatura Mínima Promedio Nacional y por Entidad Federativa 77

Bibliografía 78

Índice de Tablas

1 Valores de los índices de monitoreo de El Niño-Oscilación del Sur 17

2 Valores de los índices atmosféricos característicos de las regiones de los océanos Pacífico y Atlántico en el hemisferio norte..... 22

3 Lluvia máxima diaria por estado durante el año 2019 29

4 Ondas tropicales que se asociaron con el desarrollo de los ciclones tropicales..... 44

5 Temperatura mínima extrema a nivel estatal durante 2019 57

6 Temperatura máxima extrema a nivel estatal de 2019..... 59

7 Fecha y ubicación de tornados reportados en el 2019..... 65

8 Fecha y ubicación de las trombas marinas en el 2019 65

Índice de figuras

1 Anomalía de la temperatura superficial del aire a nivel global 15
2 Anomalía de temperatura promedio del aire a nivel global 15
3 Mapa global de temperatura superficial del mar 16
4 Series de tiempo de las anomalías de la TSM en las regiones del Niño 18
5 Series de tiempo de las anomalías de la TSM en el Atlántico 17
6 Representación espacial de las anomalías de la TSM 19
7 Promedio y anomalía de OLR 20
8 Anomalía de agua precipitable 21
9 Índices de teleconexciones en el hemisferio norte 23
10 Comportamiento de la Oscilación Madden Julian 25
11 Climatología, anomalías y lluvia acumulada durante el mes de diciembre 26
12 Anomalías de precipitación a nivel nacional 27
13 Laminas diarias de precipitación a nivel nacional 28
14 Mapa de lluvias del 27 de noviembre de 2019 28
15 Mapa de lluvias del 4 de septiembre de 2019 28
16 Clasificación de lluvias a nivel nacional 29
17 Ejemplo de anomalía climatológica de lluvia diaria 30
18 Climatología e inicio de temporada de lluvias 31
19 Climatología y final de temporada de lluvias 32
20 Climatología y duración de temporada de lluvias 32
21 Anomalía de la duración de temporada de lluvias 32
22 Regiones con canícula 34
23 Trayectorias de los ciclones tropicales en el año 2019 35
24 Trayectoria y lluvia acumulada por ciclones tropicales en 2019 38
25 Seguimiento de ondas tropicales 39
26 Trayectoria de ondas tropicales de mayo a agosto de 2019 40
27 Trayectoria de ondas tropicales de septiembre a diciembre de 2019 40
28 Principales lluvias ocasionadas a la OT 31 41

29 Principales lluvias ocasionadas a la OT 46 41
30 Principales lluvias ocasionadas a la OT 47 42
31 Principales lluvias ocasionadas a la OT 55 42
32 Climatología 1981-2010 y promedio de los vientos (km/h) en 600 mb.....43
33 Anomalías de temperatura en superficie (°C) 43
34 Número de frentes fríos en el año 2019 y climatología 1981-2010.....45
35 Número de frentes fríos en los meses entre noviembre y marzo 45
36 Mapa de la distribución de las temperaturas mínimas del día 21 de enero 46
37 Mapa de la distribución de las precipitaciones del 11 al 13 de febrero 47
38 Mapa de la distribución de las precipitaciones del 12 al 21 de marzo 47
39 Mapa de la distribución de las precipitaciones del 16 al 19 de abril.....48
40 Mapa de la distribución de las precipitaciones del 5 al 14 de mayo 49
41 Mapa de la distribución de las precipitaciones del 23 al 24 de abril.....49
42 Mapa de la distribución de las precipitaciones del 21 al 23 de octubre 50
43 Mapa de la distribución de las precipitaciones del 11 al 14 de noviembre.....51
44 Mapa de la distribución de las precipitaciones del 16 al 19 de diciembre.....51
45 Porcentaje de área afectada con sequía a nivel nacional.....52
46 Mapas del Monitor de Sequía en México.....52
47 Porcentaje de área con sequía en Tabasco 53
48 Clasificación del clima respecto a la precipitación y temperatura media anual a nivel nacional 54
49 Anomalía de la temperatura media anual en grados Celsius (°C).....54
50 Temperatura media mensual durante 2019 55
51 Marcha diaria de la temperatura a nivel nacional (°C) 55
52 Temperatura media y anomalía en 2019 56
53 Cantidad del número de días con heladas 57
54 Cantidad del número de días cálidos 58
55 Conjunto de figuras relacionadas con la sexta TI 60
56 Conjunto de figuras relacionadas con la octava TI 61
57 Conjunto de figuras relacionadas con la décima TI 62

58 Conjunto de figuras relacionadas con la segunda TI 63
59 Conjunto de figuras relacionadas con la cuarta TI 64
60 Conjunto de figuras relacionadas con el tornado del 6 de agosto 66
61 Conjunto de figuras relacionadas con la tromba marina del 8 de agosto 66
62 Conjunto de figuras relacionadas con la nevada del 22 de febrero 67
63 Conjunto de figuras relacionadas con granizadas 68
64 Conjunto de figuras relacionadas con inundaciones 69
65 Conjunto de figuras relacionadas con inundaciones 70
66 Conjunto de figuras relacionadas con el río atmosférico 72
67 Lluvias acumuladas máximas del 26 al 30 de noviembre 72

Prólogo

México cuenta con una gran variedad de climas, debido a su ubicación geográfica, misma que permite el ingreso de diversos eventos atmosféricos y meteorológicos que ocasionan perturbaciones, benéficas o perjudiciales, para los diferentes sectores económicos, ejemplo de ellos son los ciclones tropicales. Estos favorecen el ingreso de humedad en regiones que presentan sequia, pero también pueden ocasionar inundaciones y/o deslaves que impiden la movilización de la población durante largos periodos de tiempo.

Dentro de este contexto, se pueden mencionar una gran cantidad de eventos que generan efectos temporales o permanentes en las diversas regiones climáticas del país, por esta razón la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CGSMN) elabora el Reporte del Clima en México, un documento que analiza y presenta los principales fenómenos atmosféricos que influyen directamente en las condiciones climáticas del País.

El Reporte del Clima en México cuenta con doce publicaciones (una al mes) y un resumen anual, se encuentra estructurado por apartados o secciones, generalmente uno/a por cada variable climatológica o meteorológica, mismos que se ilustran con mapas, gráficos, fotografías y demás materiales que complementan la descripción de los efectos generales y más significativos que se presentaron en México, a causa del comportamiento de las condiciones globales del clima. Adicionalmente, se incluyen en anexos, tablas con valores de máximos y mínimos de temperaturas y la cantidad de lluvia registrada en cada entidad federativa, datos obtenidos de la red de estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y otras instituciones. Para describir las condiciones globales del clima (sección 1) se utiliza bibliografía especializada e información proveniente de los centros del clima a nivel mundial como son la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA, por sus siglas en inglés) y el Instituto Internacional para el Clima y la Sociedad (IRI, por sus siglas en inglés) de la Universidad de Columbia, entre otros.

Así bien, la edición de este documento contiene información del mes inmediato anterior, por ejemplo: en febrero se publican los resultados y los eventos climáticos más relevantes que ocurrieron en enero y así sucesivamente, hasta llegar a enero del siguiente año, mes en que se presentan dos publicaciones, el Reporte del Clima en México del mes de diciembre y el Reporte anual, que incluye un resumen de los eventos sobresalientes en todo el año inmediato anterior.

De manera general, en el primer apartado se presenta el análisis de la temperatura a nivel global, respecto al promedio climatológico, indicándose el ranking que ocupa la anomalía mensual de acuerdo a un periodo de tiempo. Se incluyen los valores de la Temperatura Superficial del Mar (TSM), para los Océanos Atlántico y Pacífico, así como una descripción de los índices de monitoreo del Niño Oscilación del Sur. Finalmente, en esta sección se describen las condiciones atmosféricas que se observaron durante el mes y las principales oscilaciones que influyeron en las condiciones de lluvia y temperatura en México.

En el segundo aparado, se describe el análisis nacional de la lluvia mensual, indicando la lluvia total y el porcentaje que ésta representa para diferentes periodos de tiempo, se mencionan las principales fuentes que contribuyeron al ingreso o déficit de precipitaciones en el país, así mismo se incluye un recuento de las láminas a nivel nacional y la lluvia máxima registrada por día. Se presenta un compilado de los registros que superaron algún valor máximo histórico de precipitación. Esta información se presenta en una tabla, que contiene el valor del record histórico para cada estación climatológica durante el mes, destacando el municipio al que pertenece, la fecha en que ocurrió y un comparativo del record que se superó.

De mayo a octubre se considera la temporada de ciclones tropicales en México, es por ello que, durante ese periodo, en el Reporte del Clima se incluye una sección, donde se analizan los ciclones generados en ambas

cuencas oceánicas del hemisferio norte, dando el enfoque en los ciclones que impactaron o se acercaron a las costas mexicanas y resaltando los beneficios o afectaciones que estos fenómenos hidrometeorológicos aportaron a México.

Por otra parte, de mayo a noviembre se incluye un aparatado donde se describen las Ondas tropicales y los efectos que generan en la región sur del país, además se integra información de seguimiento y análisis de las oscilaciones atmosféricas que influyeron en el desarrollo de las mismas.

Continuando con la descripción de este documento, en la siguiente sección se integra el seguimiento de frentes fríos, este apartado solamente se incluye en el periodo invernal, es decir de septiembre a mayo del siguiente año, con la finalidad de numerar los sistemas frontales que ingresan a México y generar un historial de los acontecimientos más relevantes que estos fenómenos ocasionan en algunas regiones del país.

En la siguiente sección, se encuentra la información de sequía, se resumen las cantidades de lluvia registradas a nivel nacional y los eventos atmosféricos que aportaron humedad al país. De esta manera, se indican las regiones donde las precipitaciones ayudaron a la disminución de sequía. Se proporcionan estadística y figuras que ilustran el estado de sequía en el país.

Por otro lado, la sección de temperatura cuenta con tres subsecciones (temperatura máxima, temperatura media y temperatura mínima) en cada una se indica, a nivel mensual y estatal, el ranking del mes como más cálido, neutral o frío, según la climatología base y los registros históricos. Dentro de este contexto, se proporcionan valores de eventos extremos como días con heladas (temperatura mínima diaria menor o igual a 0 °C), en meses invernales o días cálidos en primavera y verano (temperatura máxima diaria mayor o igual a 40 °C).

Finalmente, se encuentra la sección de eventos notables, debido a que la historia climatológica está llena de episodios cruciales, de los cuales muchos se han perdido a lo largo del tiempo o apenas se tiene registro de ellos, en el Reporte del Clima en México se incluye esta sección que describe aquellos eventos que dejaron una huella significativa en el país a causa de procesos atmosféricos.

Con esta publicación, la Coordinación Nacional del Servicio Meteorológico Nacional, da un paso importante para la difusión de información de manera integral y multidisciplinaria, donde se pretende sea de gran utilidad para presentes y futuros análisis acerca del estado del clima y los efectos que sus variables ocasionan a la población y sus diversas actividades, dentro de este contexto el Reporte del Clima en México va dirigido a todo público.

Lista de acrónimos y siglas

AMO	• Atlantic Multi-decadal Oscillation (Oscilación Multidecadal del Atlántico)
ATL 3	• Región 3 del Atlántico
CAPE	• Convective available potential energy (Energía Potencial Convectiva Disponible)
CGSMN	• Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional
CONAGUA	• Comisión Nacional del Agua
CPC	• Climate Prediction Center (Centro de Predicciones Climáticas)
ENOS	• El Niño-Oscilación del Sur
IRI	• International Research Institute for Climate and Society (Instituto Internacional de Investigación para el Clima y la Sociedad)
ITCZ	• Intertropical Convergence Zone (Zona de Convergencia Intertropical)
JAE	• Jet Africano del Este
METAR	• METeorological Aerodrome Report (Reporte del Aeródromo Meteorológico)
MJO	• Madden-Julian Oscillation (Oscilación Madden-Julian)
NAO	• North Atlantic Oscillation (Oscilación del Atlántico Norte)
NASH	• North Atlantic semi-permanent high pressure system (Sistema de Alta Presión Semipermanente del Atlántico Norte)
NOAA	• National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica)
NCAR	• National Center for Atmospheric Research (Centro Nacional para la Investigación Atmosférica)
NCEP	• National Centers for Environmental Prediction (Centros Nacionales de Predic ción Ambiental, NOAA)
NHC	• National Hurricane Center (Centro Nacional de Huracanes, NOAA)
NHP	• North Pacific Semi-Permanent High Pressure System (Sistema de Alta Presión Semipermanente del Pacífico Norte)
OLR	• Outgoing Longwave Radiation (Radiación Saliente de Onda Larga)
ONI	• Oceanic Nino Index (Índice Oceánico de El Niño)

OTs	• Ondas tropicales
PDO	• Pacific Decadal Oscillation (Oscilación Decadal del Pacífico)
SIH	• Sistema de Información Hidrológica
TNA	• Tropical North Atlantic (Atlántico Tropical Norte)
TSA	• Tropical South Atlantic (Atlántico Tropical Sur)
TSM	• Temperatura Superficial del Mar

Glosario

Anomalía. En climatología, se refiere a la desviación o sesgo de un valor medido (temperatura o precipitación) respecto a su valor promedio en el mismo lapso de tiempo.

CAPE. Medida de la cantidad de energía disponible para la convección. CAPE está directamente relacionado con la velocidad vertical máxima potencial dentro de una corriente ascendente. En este contexto, los valores mas altos de indican un mayor potencial para el tiempo severo.

Clima. Conjunto de elementos meteorológicos que caracterizan el estado medio (promedio) de la atmósfera de un lugar de la superficie de la Tierra, considerando un largo periodo de tiempo, generalmente treinta años. El clima de una localidad está determinado por los factores climatológicos: latitud, longitud, altitud, orografía y continentalita.

Climatología. Ciencia dedicada al estudio de los climas en relación a sus características, variaciones, distribución, tipos y posibles causas determinantes.

El Niño. Fenómeno oceánico-atmosférico, es de intensidad variable y ocurre en el Pacífico. Durante su ocurrencia provoca cambios en la temperatura y en los sistemas de presión en la región tropical del océano Pacífico afectando los climas del mundo entero.

Frente Frío. Se produce cuando una masa de aire frío avanza hacia latitudes menores y su borde delantero se introduce como una cuña entre el suelo y el aire caliente. Al paso de este sistema, se pueden observar nubes de desarrollo vertical, las cuales pueden provocar chubascos o nevadas si la temperatura es muy baja. Durante su desplazamiento la masa de aire que viene desplazando el aire más cálido provoca descensos rápidos en las temperaturas de la región por donde pasa.

Helada. Fenómeno que se presenta cuando la temperatura desciende por debajo de los 0 °C. Si a las 18:00 horas se tiene un cielo despejado y una temperatura ambiente igual o menor a 3 °C, existe una alta probabilidad de que se presente una helada.

ITCZ (Zona Intertropical de Convergencia). Región donde los vientos alisios del noreste (hemisferio norte) y sureste (hemisferio sur) confluyen para formar una banda de nubes o tormentas, a menudo continua, cerca del ecuador.

Monsoon Trough (Vaguada Monzónica). Porción de la ITCZ que se extiende sobre la circulación monzónica, en un mapa de tiempo se dibuja como una línea que ubica la presión mínima al nivel del mar. Esta línea coincide con el máximo de vorticidad ciclónica, con el flujo monzónico de dirección suroeste prevaleciendo al sur del eje de la vaguada. La convergencia de los vientos del suroeste al sur de la vaguada monzónica y vientos del noreste al norte de la vaguada monzónica crea un flujo que produce vorticidad ciclónica al sur del eje de la vaguada, lo cual es importante para la ciclogénesis tropical

Normales Climatológicas. Valores medios de los elementos meteorológicos (temperatura, humedad, precipitación, evaporación, etc.) calculados con los datos recabados durante un periodo largo y relativamente uniformes, generalmente de 30 años.

OLR (Radiación Saliente de Onda Larga). Radiación reflejada por la superficie terrestre, las nubes y los gases que se encuentran presentes en la atmósfera. En las regiones tropicales valores menores a 240Wm2 de OLR identifican áreas con nubes de gran desarrollo vertical y por lo tanto, zonas con precipitación.

Ondas de Kelvin. Son oscilaciones que se generan en la interface entre dos masas de agua o aire de dife-

rente densidad. Para que ocurran es necesario que exista una cortante vertical de velocidad, es decir, las masas deben moverse a velocidades diferentes. En la atmósfera las ondas de Kelvin ocurren en el ecuador y se propagan hacia la derecha en el hemisferio norte.

Ondas tropicales. También llamada onda del este es una ondulación de la corriente de vientos alisios cuyas características incluyen el desarrollo de un canal de baja presión, la generación de fuerte convección sobre la zona en la que se encuentre y un desplazamiento generalmente hacia el oeste aproximadamente entre los 5° y 15° de latitud.

Procesos de Convección. Movimiento ascendente del aire provocado principalmente por el efecto de calentamiento que ocasiona la radiación solar en la superficie terrestre. Este fenómeno origina la formación de nubes de tipo cúmulos, los cuáles se pueden convertir en cumulonimbos (nubes de tormenta) si la convección es muy fuerte.

Precipitación. Partículas de agua líquida o sólida que caen desde la atmósfera hacia la superficie terrestre.

Río Atmosférico. 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.

Temperatura Máxima. Es la mayor temperatura registrada durante el día, se presenta entre las 14:00 y las 16:00horas.

Temperatura Media. Es el valor obtenido del promedio de la temperatura mínima y la máxima.

Temperatura Mínima. Es el valor más bajo registrado en 24 horas, usualmente se da al amanecer.

Tiempo atmosférico. Es la actividad atmosférica en un corto periodo de tiempo y en un lugar determinado, o bien, se refiere a los cambios en las condiciones meteorológicas que existen diariamente. Es una información necesaria para la planificación de diversas actividades durante el día o la noche, que puede consultarse fácilmente en los medios de comunicación.

1. Condiciones globales del clima

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) en su análisis consolidado de las principales bases de datos de centros de investigación internacionales, indica que la temperatura promedio global sobre superficies terrestres y oceánicas para el año 2019, fue la segunda más cálida desde el comienzo de los registros en 1880 (base de datos de la NOAA/USA), con una anomalía positiva de 0.95 °C; tan sólo 0.04 °C más fresco que el valor record establecido en el 2016 (Figura 1). El promedio de temperatura de los últimos cinco años más cálidos que han ocurrido desde 2015, es de 1.1 °C y 1.2 °C por arriba del promedio desde la época preindustrial, definido por el IPCC. Nueve de los 10 años más cálidos han ocurrido desde 2005, siendo el año 1998 el único del siglo XX dentro de este conteo.

Anomalía de la temperatura superficial del aire en el año 2019 en relación con el periodo 1981-2010

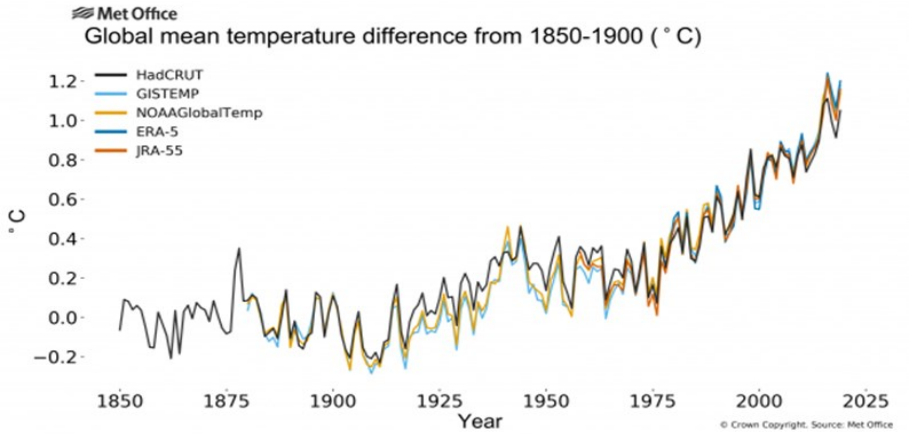


Figura 1. Anomalía de temperatura promedio del aire a dos metros a nivel global del 2019, de diferentes centros de investigación como*: ERA5 (Servicio de Cambio Climático Copernicus de ECMWF, C3S); GISTEMPv4 (NASA); HadCRUT4 (Met Office Hadley Center); NOAAGlobalTempv5 (NOAA), JRA-55 (JMA); y Berkeley Earth.*

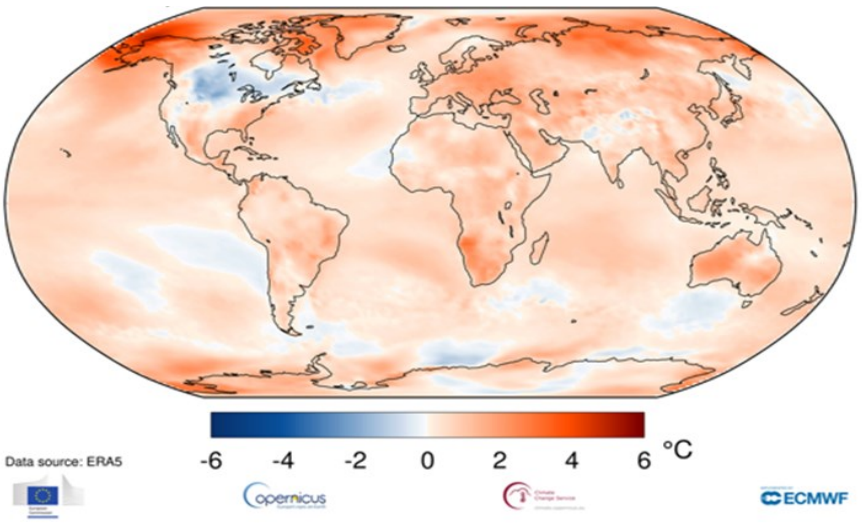


Figura 2. Anomalía de temperatura promedio del aire a dos metros a nivel global del 2019. Anomalías calculadas a partir de la climatología 1981-2010. Datos: ERA-5, ECMWF, Copernicus Climate Change Service.

Durante el año 2019, la temperatura promedio de la superficie terrestre a nivel mundial fue de 1.42 °C por encima del promedio del siglo XX. Este valor empató con el año 2015 como el segundo valor más alto, detrás de 2016. Las temperaturas récord sobre las superficies terrestres se midieron en gran parte de Europa central, Asia, Australia, el sur de África, Madagascar, Nueva Zelanda, Norteamérica y el este de América del Sur como se observa en la Figura 2. No se registraron zonas con récord de temperaturas frías este año.

La temperatura promedio de la superficie del mar en 2019 fue también la segunda más alta en el récord, con una anomalía positiva de temperatura de 0.77 °C superior a la media del siglo XX. Solo el año 2016 fue más cálido con una temperatura de 0.79 °C por encima del promedio. Se observaron temperaturas récord en la superficie del mar en partes del norte y sur del océano Atlántico, oeste del océano Índico, norte, oeste, y suroeste del océano Pacífico, como se observa en la Figura 2. No se registraron zonas con récord de temperaturas frías en el océano durante el 2019.

1. 1 Oceánicas

1. 1. 1. Océano Pacífico y El Niño-Oscilación del Sur

Las Temperaturas Superficiales del Mar (TSM), se observaron más cálidas que el promedio (1981-2010) en gran parte del hemisferio norte, tanto en el océano Pacífico y el océano Atlántico, así como al occidente del océano Indico, mientras que las regiones con anomalías más cálidas (de 1.5 °C a 2.0 °C por arriba del promedio) se registraron en el Golfo de Alaska (Figura 3).

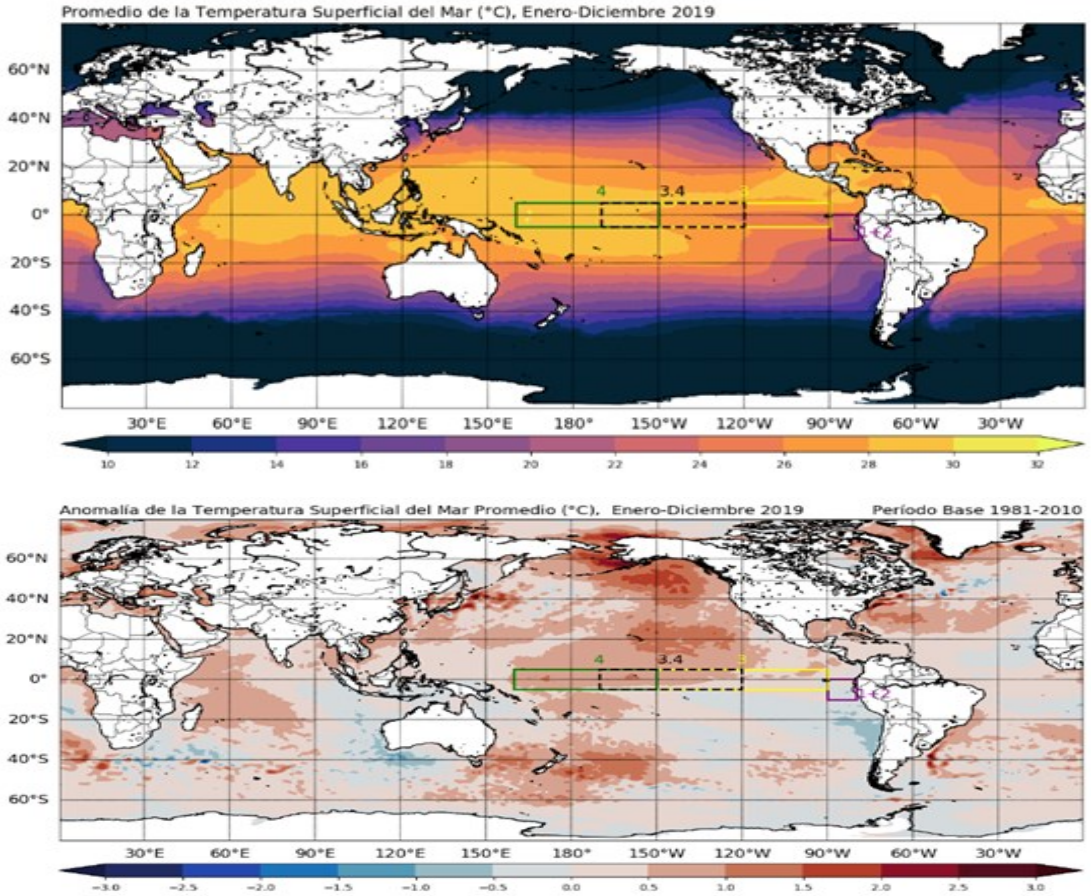


Figura 3. (Superior) Mapa global de temperatura superficial del mar (°C) promedio. (Inferior) anomalía de enero a diciembre de 2019. Anomalías calculadas a partir de la climatología 1981-2010. Datos: NOAA datos de SST en alta resolución generados por el NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA.

Mientras en el Océano Pacífico ecuatorial se observaron condiciones de El Niño Débil durante el primer semestre del año, a partir del mes de mayo decreció el patrón de calentamiento en el Océano Pacífico ecuatorial oriental, generando una transición de condiciones de El Niño Débil a Neutral en el mes de agosto, consistentes con las anomalías de temperatura del mar en las regiones de monitoreo de El Niño (Tabla 1), los valores negativos de la Oscilación del Sur y de la radiación de onda larga en el Pacífico ecuatorial.

El Niño-Oscilación del Sur o ENOS es parte fundamental del sistema climático y se origina como resultado de una fluctuación de temperatura interanual en el sistema océano-atmósfera en el Pacífico Ecuatorial. De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial, las fases cálida y fría (El Niño y La Niña) se refieren a condiciones anómalas en los valores de la temperatura superficial del mar (TSM), tomando como anómalo un valor de 0.5 ° C por arriba o por debajo del promedio del periodo comprendido entre 1981 a 2010, respectivamente. Esta condición debe permanecer por al menos cinco trimestres consecutivos en la región de monitoreo de ENOS conocida como Niño 3.4 (Tabla 1), la cual sirve como referencia principal para saber las condiciones actuales de ENOS.

A lo largo del año, como muestra la Tabla 1 y la Figura 4, se observaron decrementos en las anomalías de temperatura en las regiones de monitoreo de El Niño, principalmente en la Región Niño 1+2 iniciando el año con una anomalía de 0.5, llegando hasta -0.8 en septiembre y terminando el año en 0.3. De igual manera la región 3 y 3.4 en enero de 2019 presentaron anomalía de 0.5 y lo terminaron con 0.3 y 0.5 respectivamente, cuyos valores mínimos estuvieron cerca del promedio (0.0). En cambio, la región 4 fue la más cálida durante todo el año, iniciando con una anomalía de 0.7 y terminando en 1.0, cuyo valor mínimo se observó en agosto con 0.4. Siendo consistente con los pronósticos que preveían condiciones neutrales durante el otoño e invierno 2019-2020.

Tabla 1
Valores de los índices de monitoreo de El Niño-Oscilación del Sur (Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4) de enero a diciembre de 2019.

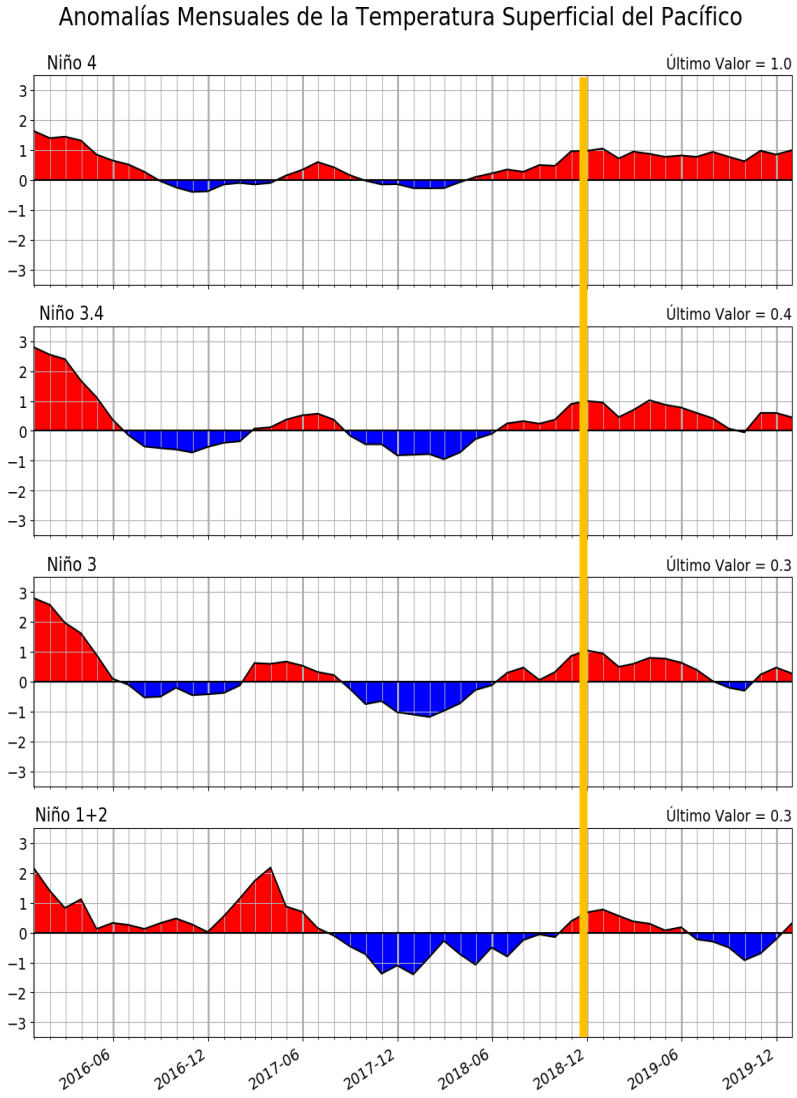
Mes - Año	Niño 1+2	Niño 3	Niño 3.4	Niño 4	N. ATL	S. ATL	Global Trópicos
Enero 19	0.5	0.5	0.5	0.7	-0.3	0.2	0.3
Febrero 19	0.3	0.5	0.7	1.0	0.2	0.2	0.3
Marzo 19	0.3	0.7	0.1	0.9	-0.1	0.6	0.4
Abril 19	0.1	0.9	0.9	0.7	0.2	0.5	0.4
Mayo 19	0.2	0.6	0.7	0.8	0.1	0.2	0.4
Junio 19	-0.3	0.4	0.6	0.8	0.1	0.1	0.3
Julio 19	-0.3	0.0	0.4	0.9	0.1	0.0	0.3
Agosto 19	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.0	-0.2	0.2
Septiembre 19	-0.8	-0.2	0.0	0.6	0.4	0.0	0.1
Octubre 19	-0.8	0.2	0.6	1.0	0.5	-0.1	0.3
Noviembre 19	-0.4	0.5	0.6	0.9	0.1	0.6	0.4
Diciembre 19	0.3	0.3	0.5	1.0	1.0	0.8	0.5

Nota: Información obtenida de Centro de Predicción Climática de Estados Unidos (CPC), página web www.cpc.ncep.noaa.gov/
Regiones de El Niño: Niño 1+2 (0° -10° S, 90° - 80 ° O). Niño 3 (5° N - 5° S, 150° - 90°O), Niño 3.4 (5° N - 5° S, 170° - 120° 0), Niño 4 (5° N - 5° S, 160° E – 150° O) y global trópicos 10°N-10° S 0-360.

Por otro lado, en la región del océano Índico, se observa un claro dipolo de temperatura superficial del mar, también conocido como el "Niño Indio", este patrón se puede observar entre la costa este de África y al norte de Australia e Indonesia. El fenómeno tiene dos fases, dependiendo en qué zona de la superficie del mar se presenten estas anomalías. De acuerdo con la Figura 4, se encontró en fase positiva, donde las anomalías más cálidas se encontraron en la región de las costas de África, lo cual permite el desarrollo de nubosidad y precipitación por arriba del promedio en esta región. En cambio, las anomalías por debajo del promedio, es decir más frías, se observaron al norte de Australia, propiciando un clima más seco. Estas condiciones permitieron el desarrollo de intensas lluvias en África y a la onda de calor que se ha presentado en Australia durante noviembre y diciembre del 2019.

El índice de contenido de calor en el océano, se refiere a la cantidad de calor almacenado en el intervalo de 0 a 2000 metros de profundidad del océano, en el 2019 se observó el valor más alto de este índice, por lo que este año en promedio hemos tenido el océano más cálido del registro.

Las tendencias recientes en la disminución de la extensión del hielo marino en el Ártico continuaron en 2019. La extensión del hielo marino durante los meses de abril hasta agosto fue el récord más pequeño y de octubre a noviembre el segundo más pequeño.



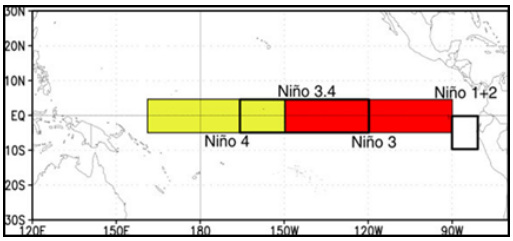


Figura 4. (Izquierda) Series de tiempo de las anomalías (°C) de la temperatura superficial del mar (TSM), del 2016 al 2019, en las regiones de El Niño (Derecha): Niño 1+2 (0° -10° S, 90° - 80 ° O). Niño 3 (5° N - 5° S, 150° - 90°O), Niño 3.4 (5° N - 5° S, 170° - 120° 0) y Niño 4 (5° N - 5° S, 160° E – 150° O). Anomalías calculadas a partir de la climatología 1981-2010. Datos: NOAA Optimum Interpolated Sea Surface Temperature (OISST V2).

1. 1. 2.Océano Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México

En el océano Atlántico tropical, se han establecido tres índices (Figura 5) para identificar la variabilidad de la temperatura superficial del mar en esta cuenca: Atlántico Tropical Norte (TNA) (60°W-30°W-5°N-20°N), Atlántico Tropical Sur (TSA) (30°W-10°E, 20°S-0) y la región del Atlántico 3 (ATL3) (20°W-0,2.5°S-2.5°N). De enero a diciembre de 2019, se observaron anomalías por arriba del promedio en la región ATL 3 con valor máximo de +1.3°C en diciembre, lo cual indica un calentamiento en las costas del centro de África como se puede observar en la Figura 6. De igual manera la región TSA presentó anomalías por arriba del promedio la mayor parte del año, sin embargo, el índice TNA-TSA, que indica la diferencia de calentamiento entre el Océano Atlántico tropical del hemisferio norte cercano a centro américa y el océano Atlántico tropical sur cercano a África, presentó anomalías por debajo del promedio de enero a agosto y de noviembre a diciembre, siendo durante agosto a octubre cuando se observaron anomalías positivas.

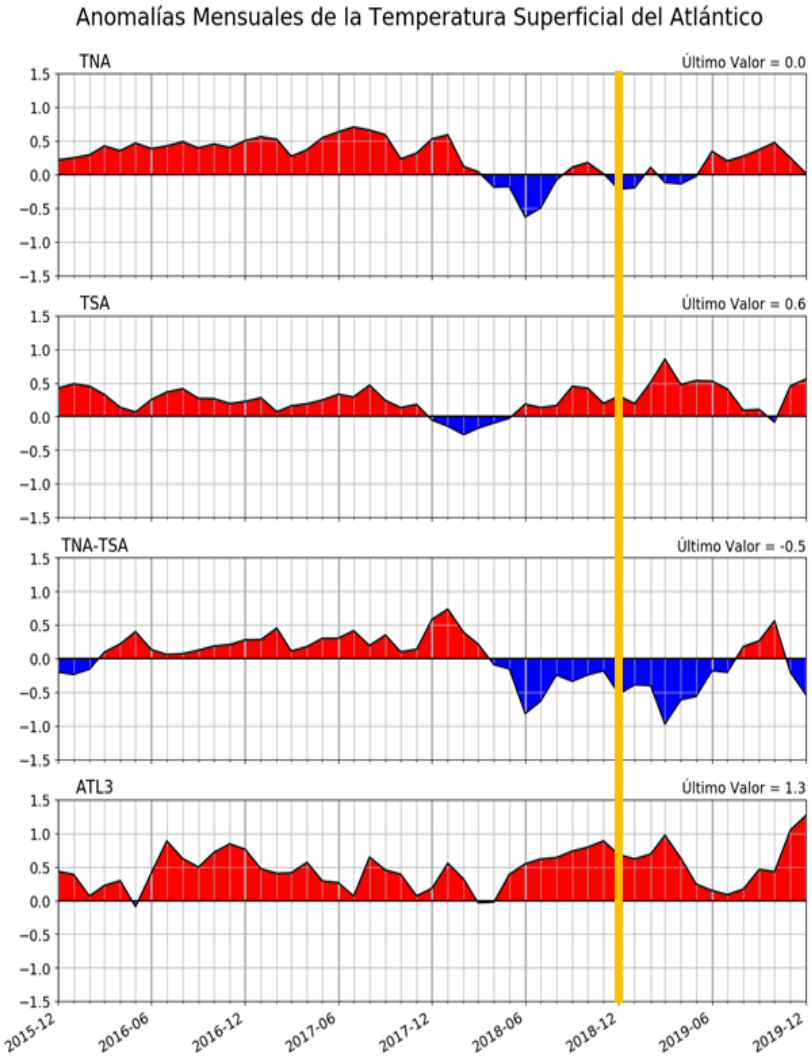


Figura 5. Series de tiempo de las anomalías (°C) de la temperatura superficial del mar (TSM) en las Regiones del Atlántico: TNA (20° - 5° N, 60° - 30° O), TSA (Ecuador-20° S, 30° O - 10° E) y ATL3 (2.5° N - 2.5° S, Ecuador - 20° O), desde el año 2015 al 2019.

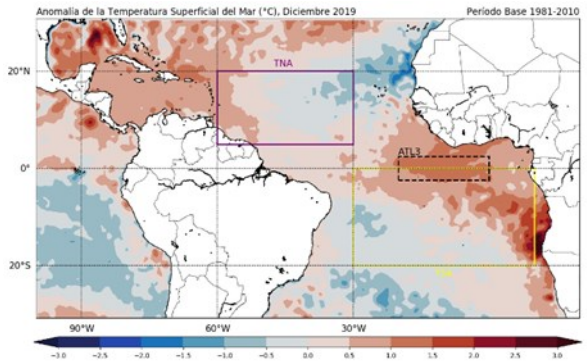


Figura 6. Representación espacial de las anomalías de la TSM. Fuente de datos: Centro de Predicción Climática (CPC) del Centro Nacional de Predicción Ambiental y la Administración Nacional de la Atmósfera y el Océano (NCEP/NOAA) de los Estados Unidos.

1. 2. Condiciones Atmosféricas y Teleconexiones

La Radiación de Onda Larga Saliente (OLR, por sus siglas en ingles), indica cuanta radiación de onda larga está saliendo del planeta. Sirve para identificar regiones con anomalías negativas asociadas con desarrollo convectivo y nubosidad, ya que cuando esto ocurre se observa una disminución de la cantidad de radiación que sale, por el contrario las anomalías positivas se asocian con estabilidad y cielo despejado. Los patrones de anomalías de radiación de onda larga saliente durante el año por trimestre se muestran en la Figura 7.

Enero a marzo de 2019: Durante el primer trimestre se observaron anomalías de radiación de onda larga saliente negativas principalmente al norte de México, África y centro occidente del Océano Pacífico ecuatorial; por el contrario anomalías negativas se presentaros sobre el archipiélago de indonesia, norte de Australia y Golfo de México.

Abril a junio de 2019: se registraron anomalías negativas de OLR en el centro occidente del Océano Pacifico Ecuatorial, en cambio condiciones por arriba del promedio se observaron al sur del Archipiélago de Indonesia, Mongolia y regiones del Caribe.

Julio a septiembre de 2019: en este periodo se registraron anomalías por debajo del promedio al centro de África, India, noroeste de México, a lo largo de la región tropical del hemisferio norte, asociadas con el desplazamiento tardío de la Zona Intertropical de convergencia durante el verano. En cambio condiciones por arriba del promedio se observaron en el Archipiélago de Indonesia y Sudamérica.

Octubre a diciembre de 2019: durante el último trimestre del año, se presentaron anomalías por arriba del promedio principalmente al occidente del océano Índico, India y regiones del océano Pacífico central del hemisferio sur. Por otro lado las anomalías por debajo del promedio se mantuvieron en el Archipiélago de Indonesia, gran parte de Australia, favoreciendo las condiciones para el desarrollo de los grandes incendios forestales que han afectado a esta región.

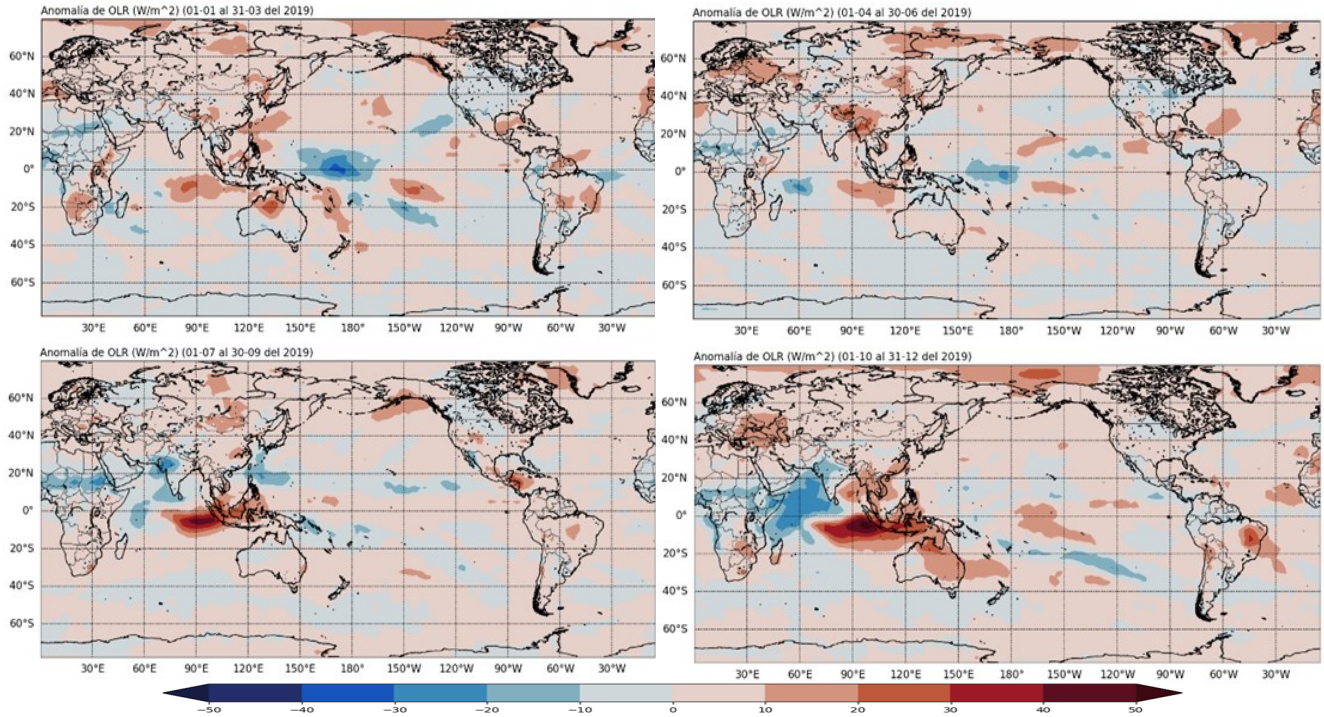


Figura 7. Anomalía de radiación saliente de onda larga en W/m2 a escala trimestral, durante el año 2019. Climatología 1981-2010. Datos: NOAA Interpolated OLR.

El contenido de agua precipitable en la atmósfera, indica en qué regiones hay más agua disponible para precipitación, por lo que las regiones que presentan anomalías positivas podrían favorecer acumulados de precipitación por arriba de lo habitual, en cambio, donde se observan anomalías negativas podrían presentarse condiciones de sequía o precipitación por debajo del promedio. Los patrones de contenido de agua precipitable en la atmosfera durante 2019 se pueden observar en la Figura 8; en la cual se puede observar que durante la mayor parte del año se presentaron anomalías positivas a lo largo del ecuador, así como en regiones del centro de océano Pacifico, México, norte y occidente de Sudamérica, al norte de África y la India; en cambio anomalías por debajo del promedio muy intensas se observaron durante el segundo semestre del año al sur de África, en el Archipiélago de Indonesia, gran parte de Australia y Brasil.

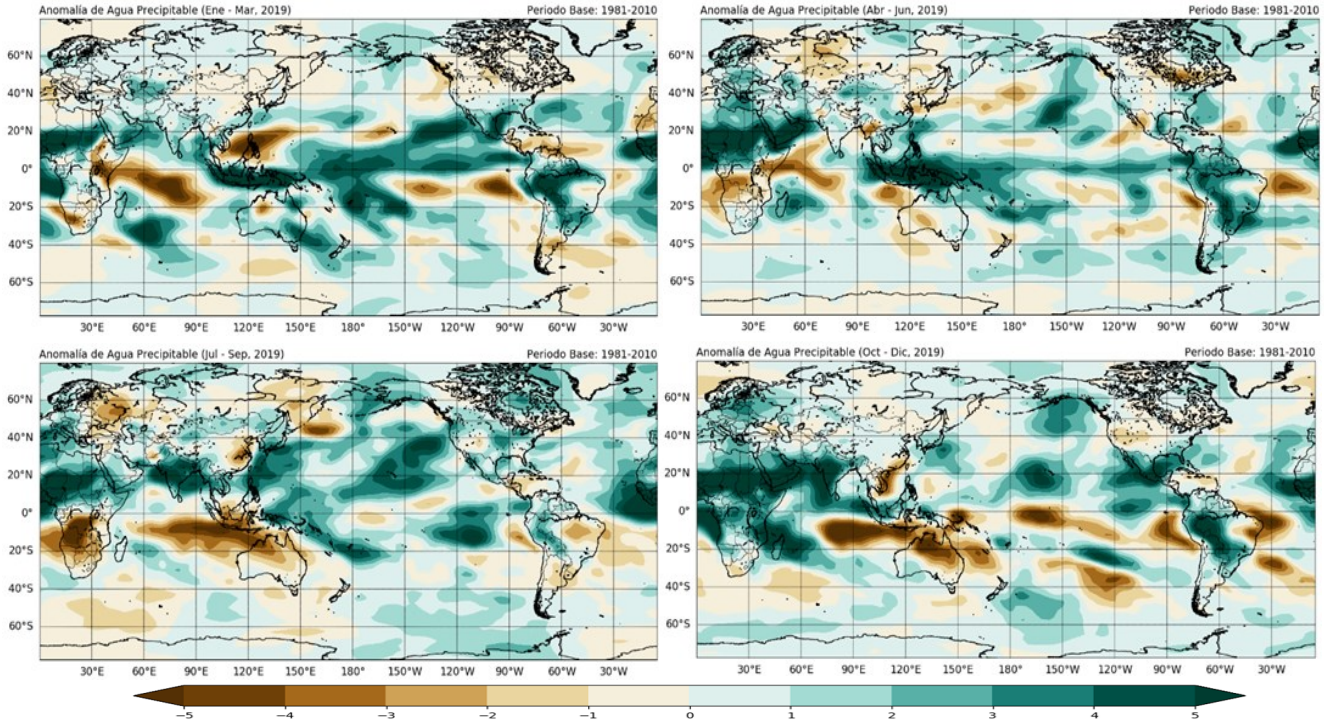


Figura 8. Anomalía de agua precipitable en la atmósfera, a escala trimestral en el año 2019. Anomalías calculadas a partir de la climatología 1981-2010.

Los patrones estacionales de anomalías de altura geopotencial tanto a 500 mb como en niveles bajos (1000 mb), es decir cercanos a la superficie, están asociados con los patrones de lluvia y temperatura superficial registrados durante el año; su monitoreo es muy importante ya que los patrones de circulación están mayormente dominados por la interacción de sistemas de baja presión con sistemas de alta presión semipermanentes. Por ejemplo, durante los meses de verano se intensifica el sistema semipermanente de alta presión que se encuentra sobre el océano Pacífico norte, en cambio durante el invierno este se debilita, permitiendo mayor influencia del sistema de baja presión de las Aleutianas. En el océano Atlántico la circulación está dominada por el sistema semipermanente de alta presión de las Islas Azores y el sistema semipermanente de baja presión sobre Islandia, su interacción se monitorea a través del índice de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO por sus siglas en ingles), como se puede ver en la Figura 9, durante el 2019, la NAO se encontró en fase positiva durante el primer trimestre y los últimos dos meses del año, en cambio fase negativa se presentó durante el verano.

El índice utilizado para monitorear la intensidad del vórtice polar es la Oscilación del Ártico (AO por sus siglas en ingles), este índice también está modulado por la interacción de sistemas de baja y alta presión que forman el vórtice polar, cuando se encuentra debilitado el sistema de alta presión, el de baja presión tiene mayor influencia, debilitando al vórtice polar y permitiendo el descenso de masas de aire polar a latitudes más bajas,

la fase negativa de esta oscilación está fuertemente asociada al ingreso de frentes fríos en México, como se puede observar en la Figura 9, durante los meses de verano se mantiene en condiciones cercanas al promedio, durante el invierno cuando tiene mayor actividad; durante 2019 se encontró mayormente en fase negativa, por ejemplo durante noviembre alcanzó un valor de -1.193, lo cual permitió el ingreso de 11 frentes fríos al país.

El Patrón de Norte América (PNA, por sus siglas en inglés), es uno de los modos de variabilidad climatológica extratropical de baja frecuencia más importantes en el hemisferio norte, esta asociado con fluctuaciones importantes de la fuerza y posición de la corriente en chorro subtropical, por lo que su monitoreo es importante. Los cambios en los patrones de presión asociados con la PNA influyen en las condiciones climáticas cercanas a la superficie, por ejemplo: cuando se encuentra en fase positiva se observa una presión superior a la media sobre el océano Pacífico subtropical, con centro al oeste de Canadá; en cuanto al sistema de baja presión, este se observa sobre el océano Pacífico norte y al suroeste de Estados Unidos, esta condición inhibe el ingreso de masas de aire polar sobre Alaska, Canadá, Estados Unidos y México, sin embargo, al sudeste de Estados Unidos y noreste de México se observa un decremento de temperatura superficial, por un patrón de baja presión que ahí se sitúa también, formando una especie de tripolo.

Cuando la PNA es negativa, el patrón de presión se invierte y las condiciones de temperatura también. La PNA está relacionada con el comportamiento de la Oscilación de Madden Julian (MJO por sus siglas en inglés), siendo más probable la fase negativa de la PNA cuando el núcleo de convección de la MJO se encuentra sobre el Océano Índico, en cambio la fase positiva se vuelve más frecuente cuando el núcleo convectivo se encuentra cerca del océano Pacífico central. Aunque este patrón tiene variaciones temporales muy rápidas, se hace un promedio mensual de sus condiciones para caracterizar su comportamiento de manera general, por lo que durante 2019 el índice de la PNA se registró en fase negativa durante febrero, abril y octubre; en cambio en fase positiva se observó de julio a septiembre, el resto de los meses se observó con condiciones similares al promedio (Tabla 2).

Tabla 2
Valores de los índices atmosféricos característicos de las regiones del Pacífico y el Atlántico en el hemisferio norte de enero a diciembre de 2019.

Año - Mes	NAO	EA	WP	EP-NP	AO	PNA	AMO	PDO
Enero 19	0.2	-1.7	1.0	1.1	-0.713	0.4	-0.019	-0.19
Febrero 19	-0.1	-0.1	2.1	1.2	1.149	-1.7	0.077	-0.50
Marzo 19	0.9	0.9	0.9	2.1	2.116	-.0.1	0.118	-0.24
Abril 19	0.4	-1.0	-1.3	0.7	-0.255	-0.8	0.120	0.09
Mayo 19	-2.6	-0.6	-0.6	0.32	-1.231	-0.17	0.084	0.14
Junio 19	-0.8	1.3	-1.9	1.7	-0.601	0.2	0.170	-0.13
Julio 19	-1.4	0.1	-0.3	0.1	-0.890	0.6	0.348	0.42
Agosto 19	-1.17	1.9	-2.2	-1.2	-0.722	1.2	0.334	-0.17
Septiembre 19	0.0	2.2	0.9	-1.5	0.36	1.6	0.241	-0.02
Octubre 19	-1.0	0.7	-0.8	-0.5	-0.082	-1.0	0.155	-0.96
Noviembre 19	0.2	0.1	-0.1	1.9	-1.193	-0.1	0.106	-0.31
Diciembre 19	1.0	0.8	0.7	-	0.412	-0.1	0.160	-0.04

Nota. Datos obtenidos del Centro Nacional de Información Ambiental (NCDC/NOAA).

La Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), es un patrón de variabilidad de largo periodo de la temperatura superficial del mar sobre el océano pacifico que tiene influencia en el comportamiento del clima en Norteamérica. Es considerada como el marco de fondo de oscilaciones más cortas, como El Niño Oscilación del Sur, alterna fases de calentamiento y de enfriamiento cada 20 o 30 años. En la fase fría de la PDO encontramos una franja de agua más fría de lo normal en la parte este del Pacífico norte (costa de Estados Unidos) y una masa de agua más caliente de lo normal en forma de herradura que conecta el Pacífico norte con el Pacífico oeste y el Pacífico sur. En la fase cálida el patrón de temperaturas se invierte, por lo que se calienta más el agua que se encuentra cercano a las costas de Estados Unidos. En 2019, se observó en fase negativa de enero a marzo y de agosto a diciembre, en cambio durante julio registró anomalías positivas Figura 9.

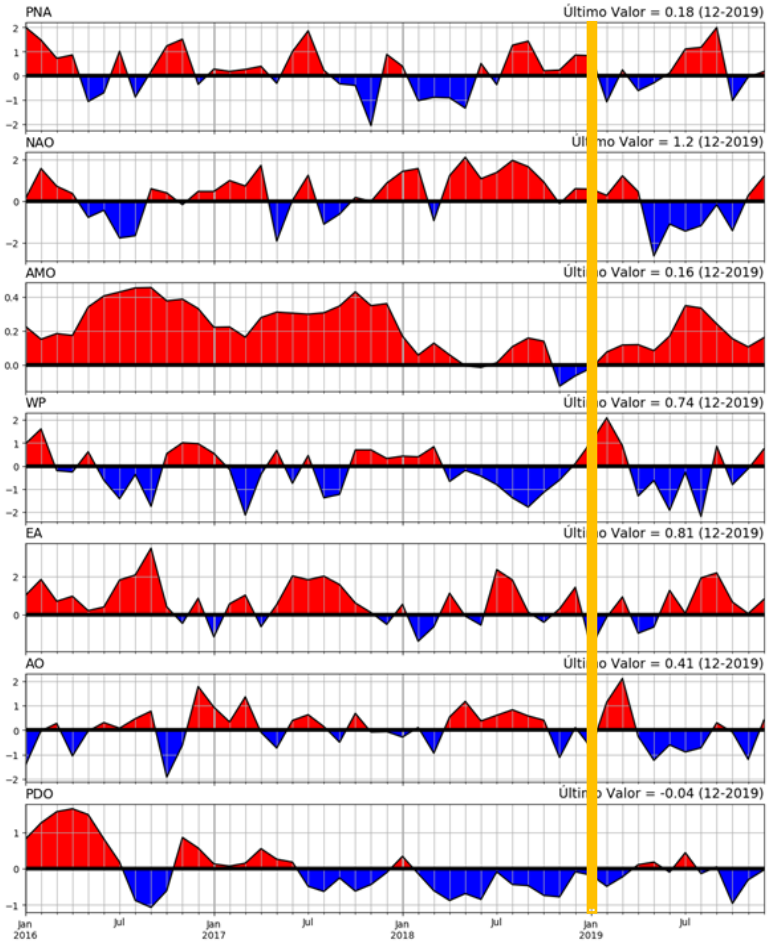


Figura 9. Índices de Teleconexiones en el hemisferio norte del 2016 al 2019. Obtenido de: Centro de Predicción Climática/NOAA.

Las condiciones en el Océano Atlántico reflejaron una Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO por sus siglas en inglés) en fase positiva durante todos los meses del 2019 como se muestran en la Figura 10. Esta oscilación consiste en el monitoreo de patrones de temperatura del mar cuyo ciclo puede durar 70 años aproximadamente. Estos cambios de la temperatura del océano afectan a la atmósfera, provocando alteración en los patrones de presión subtropicales en el Océano Atlántico, tanto en su posición como potencia. Durante la fase positiva de la AMO, se presenta un patrón tripolar con anomalías de temperatura más cálidas de lo habitual en la zona polar y subtropical del Océano Atlántico y una zona con temperaturas por debajo del promedio en medio, esta condición puede modificar el comportamiento de otras oscilaciones como la NAO, la AO y el favorecer o inhibir el desarrollo de ciclones tropicales en la cuenca del Océano Atlántico.

La Oscilación Madden Julian (MJO por sus siglas en inglés) es una perturbación de vientos, nubosidad y presión que regularmente se desplaza hacia el este, de variabilidad intraestacional de 30 a 50 días, asociada con el desarrollo convectivo y de tormentas en la región tropical, sin embargo al igual que El Niño-Oscilación del Sur, puede tener efectos fuera de los trópicos.

Durante 2019 el patrón e intensidad de esta oscilación fue muy variable, como podemos observar en los diagramas inferiores (Figura 10), las líneas de color rojo indican el mes inicial del trimestre, por ejemplo en el diagrama superior izquierdo el color rojo se refiere a enero, el azul a febrero y el verde a marzo. En este mismo diagrama se puede ver que inició el año en fase 6 y continuó avanzando al este, pasando por su fase 7, llegando hasta la fase 8 comenzó a debilitarse, para que durante la 3er semana se encontrara desorganizada, fue durante la última semana del mes que se encontró en fase 4 aún debilitada, pasando a fase 5 y 6, para terminar el mes en fase 7. En febrero se encontró debilitada durante la primera quincena, para después pasar de fase 8 a fase 1 y terminar en fase 2 con intensidad moderada. En marzo pasó de estar en fase 2 a fase 3 y al entrar en fase 4 comenzó a debilitarse hasta llegar desorganizada a fin de mes.

En abril (diagrama superior derecho) la primera quincena se mantuvo desorganizada, para después pasar de fase 2 a fase 3 y terminar el mes en fase 4 con una intensidad moderada. En mayo se observó el incremento de su intensidad pasando fase 6 a fase 7 después a fase 8 y fase 1, terminando el mes en fase 2 con una intensidad moderada. En junio comenzó a debilitarse durante la primera semana, después de pasar a fase 3, se observó desorganizada, durante la segunda quincena comenzó a intensificarse en fase 4 y pasó a fase 5, sin embargo de nuevo se debilitó y terminó el mes desorganizada.

Durante julio a septiembre (diagrama inferior izquierdo) se encontró la mayor parte del tiempo, desorganizada y debilitada, únicamente durante la segunda y tercera semana de julio se encontró en fase 1, en agosto algunos días estuvo en fase 3 y 4 pero muy débil y durante septiembre la segunda semana se observó en fase 5.

En cambio durante noviembre (línea roja, diagrama inferior derecho) se encontró muy activa e intensa, pasando de fase 5, a la 6, posteriormente a la 7 y 8 comenzando a debilitarse a final de mes para terminar débil y desorganizada, en cuanto a diciembre (línea verde) se encontró débil y al menos la mitad de mes desorganizada, pasando por la fase 2 y 3 al inicio y después a la fase 6 y 7, para terminar el año desorganizada.

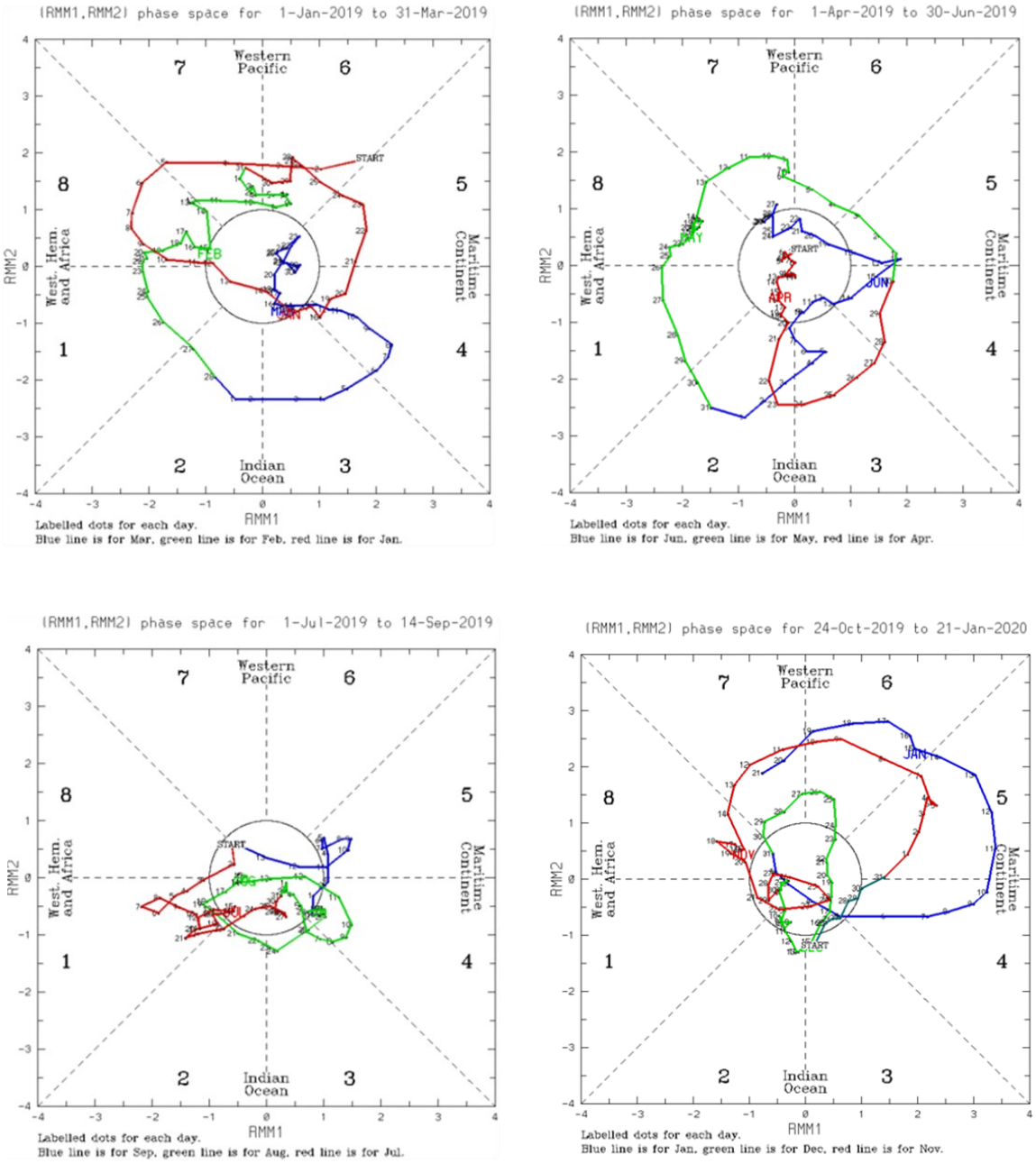


Figura 10. Comportamiento de la Oscilación Madden Julian. (Superior izquierdo) enero a marzo, (Superior derecho) abril junio, (Inferior izquierdo) julio a septiembre y (Inferior derecho) octubre a diciembre del año 2019.

2. Precipitación

La lluvia total anual durante 2019 fue deficitaria a nivel nacional. Los 718.3 mm de lluvia fue un 3.2% por debajo del promedio anual (1941-2018) y se ubicó como el 19° años menos lluvioso de acuerdo con los registros de lluvia que datan de 1941.

Espacialmente, fueron pocas las regiones que tuvieron lluvias anuales por arriba del promedio, particularmente el noroeste recibió los mayores excedentes de lluvias comparado con sus valores promedio. Las lluvias también dejaron humedad por arriba del promedio en la región limítrofe de Coahuila, Nuevo León Zacatecas y San Luis Potosí, así como los extremos norte y sur de la Península de Baja California y pequeñas porciones del Pacífico sur mexicano. El resto del país tuvo lluvias por debajo del promedio, donde los mayores déficits se concentraron en los estados de la vertiente del Golfo de México desde Tamaulipas hasta Tabasco y amplias regiones del Pacífico desde las costas del norte hasta el sur.

Por segundo año consecutivo el déficit de lluvias se hizo presente en la región de las Huastecas, porciones del Pacífico sur mexicano y en los estados de Chiapas y Tabasco. Los tres valores más altos de lluvia acumulada a lo largo del año a nivel puntual reportada por las estaciones meteorológicas se dieron en Chiapas que incluyeron a Sayula con 4377.4 mm, Juan de Grijalva con 3938.9 mm y El Escalón con 3813.4 mm, Figura 11. La cantidad de lluvia para Sayula fue de apenas 5.4% por arriba del promedio anual 1981-2010 de dicha estación; para las siguientes dos estaciones los valores fueron alrededor de 10% por debajo del promedio anual.

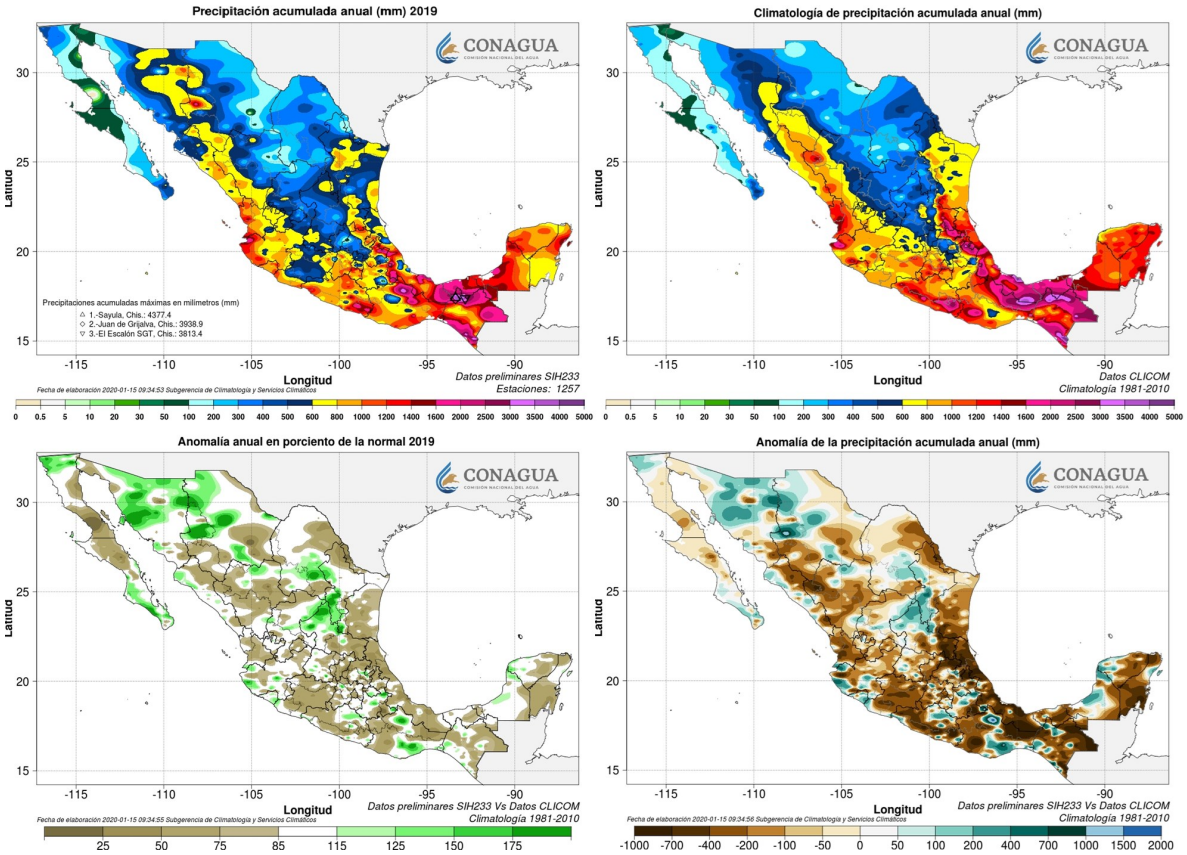


Figura 11. (Superior izquierda) Lluvia observada durante el 2019, (Superior derecha) comportamiento normal de las lluvias en el periodo 1981-2010, (Inferior izquierda) anomalía en porciento del normal en 2019, (Inferior derecha) anomalía absoluta (diferencia de lluvias del año con respecto al periodo base señalado). Con información disponible en el mes de diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente. Climatología base 1981-2010 obtenido de la Base de Datos CLICOM de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.

De acuerdo con los datos de lluvias a nivel nacional desde 1941, el año 1958 continúa siendo el año más húmedo y el de 1943 permanece como el más seco. Las lluvias han tenido una tendencia a la baja en la última década y 2019 se ubicó como el segundo año más seco, solo por debajo de 2011 de acuerdo con los datos de los últimos nueve años, Figura 12.

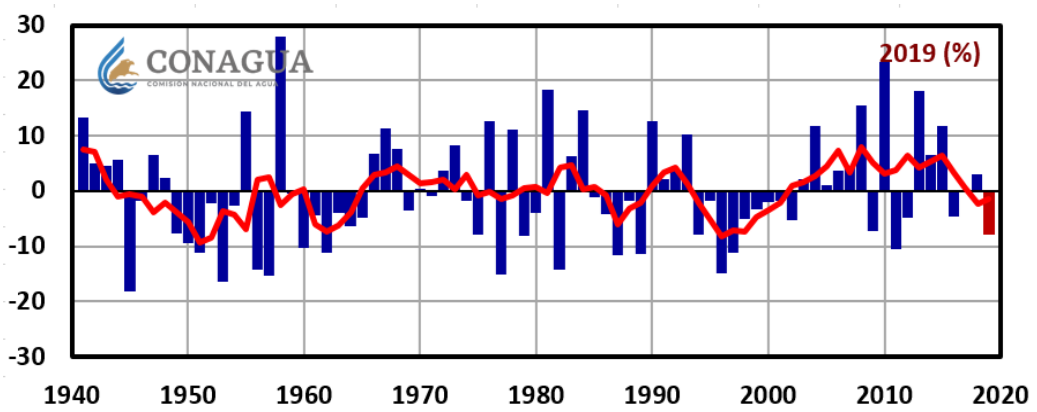


Figura 12. Anomalías de precipitación a nivel nacional anual (barras azules), media móvil de cinco años (línea roja).

A lo largo del año, solo tres meses se ubicaron en el rango de los más húmedos. El mes de marzo se clasificó como el 26° marzo más húmedo, octubre como el 8° octubre más húmedo y noviembre como el 3° más húmedo. Los nueve meses restantes tuvieron lluvias mensuales por debajo de sus promedios de largo plazo, donde destacaron abril y julio que se clasificaron como el segundo más cálido de sus respectivos meses.

Los primeros tres meses del año fueron dominados por dos meses secos y uno húmedo, por lo que este primer trimestre del año se ubicó como 28° más seco. El período entre abril y junio, que es la transición de la temporada seca a la estación de lluvias se ubicó como la novena más seca. En pleno verano, tomando como bases los meses de julio a septiembre fue el octavo período más seco. Finalmente las lluvias se recuperaron en los últimos tres meses del año y el período de octubre a diciembre fue la cuarta temporada más húmeda de acuerdo con los registros de lluvias desde 1941. Climatológicamente, septiembre es el mes más lluvioso del año y aporta en promedio un 18.4% de la lluvia anual. Durante 2019, septiembre también fue el mes más lluvioso y aportó el 20.1% de la lluvia anual, estas lluvias estuvieron relacionadas con los impactos del huracán *Lorena* y la tormenta tropical *Narda*, ambos ciclones ingresaron al país por el lado del Pacífico, así como de la tormenta tropical *Fernand* que ingresó por costa del Golfo de México. El mes menos lluvioso climatológicamente es marzo que aporta solo el 1.8% de la lluvia anual. Sin embargo en 2019, el mes que menos aportó fue abril con solo un 0.9% de la lluvia total anual.

Durante el año, existen sistemas meteorológicos que aislados o combinados producen importantes cantidades de precipitación, tales como ciclones tropicales, frentes fríos y sistemas de baja presión. Los máximos valores puntuales de lluvia a nivel nacional entre enero y abril normalmente son a consecuencia de los sistemas frontales de la temporada invernal y de mayo a septiembre debido a sistemas tropicales, incluyendo ciclones tropicales, ondas tropicales, sistemas de bajas presiones, etc. En el último trimestre del año, de octubre a diciembre, los sistemas frontales son nuevamente los principales generadores de lluvias. El día más lluvioso de 2019 ocurrió el 27 de noviembre debido al fenómeno conocido como "río atmosférico" que consiste en un corredor largo y estrecho de transporte de humedad y nubosidad, que frecuentemente produce fuertes precipitaciones en zonas extensas. Este evento tuvo interacción con los frentes fríos 18 y 19 de la temporada 2019-2020, que ocasionó intensas precipitaciones en Sinaloa y Sonora y produjo una lámina de lluvia a nivel nacional de 13.6 mm, cantidad mayor a la lámina registrada en 24 horas por cualquier evento hidrometeorológico ocurrido este año, incluyendo los ciclones tropicales (Figura 13 a 15).

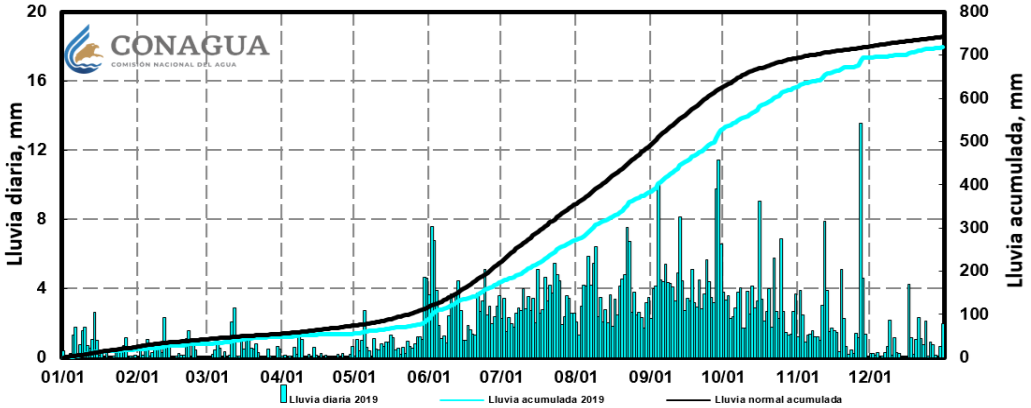


Figura 13. Láminas diarias de precipitación a nivel nacional (Barras azules) del 1 de enero al 31 de diciembre de 2019 y láminas de acumulados para el mismo período en 2019 (Línea azul) comparado con el acumulado normal (Línea oscura). Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

Otro dato de lluvia a considerar fue el reportado el 4 de septiembre en la estación automática de Radiosondeo Monterrey, Nuevo León que reportó un acumulado en 24 horas de 528.0 mm debido a la presencia de la tormenta tropical *Fernand* que aunque ingresó por Tamaulipas, sus mayores aportes de precipitación se dieron en Nuevo León, Figura 15. Este valor fue el máximo reportado para cualquier estación durante 2019. Más datos de lluvia máxima en 24 horas a nivel estatal en la Tabla 3.

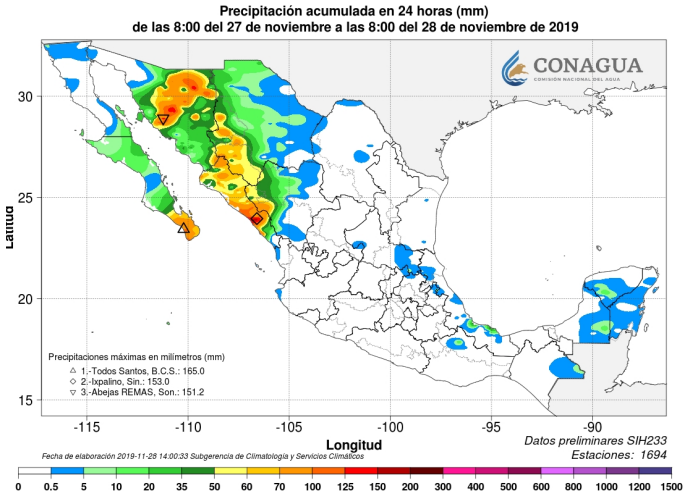


Figura 14. Mapa de lluvias del 27 de noviembre de 2019, catalogado como el día más lluvioso a nivel nacional durante 2019. Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

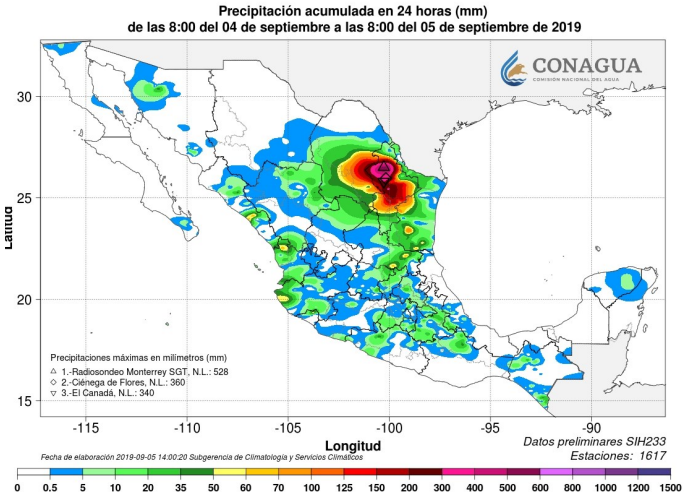


Figura 15. Mapa de lluvias del 4 de septiembre de 2019, resaltando el valor máximo en 24 horas durante 2019. Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

Tabla 3
Lluvias máximas diarias (mm) por estado durante el año 2019.

Edo.	Precipitación (mm)	Día	Localidad	Edo.	Precipitación (mm)	Día	Localidad
Ags.	75.0	25/08/2019	Media Luna	Mor.	135.5	29/09/2019	Huitzilac
B. C.	83.8	28/11/2019	Carmen Serdán	Nay.	200.5	21/08/2019	Capomal
B. C. S.	367.2	26/10/2019	La Buena Mujer	N. L.	528.0	04/09/2019	Radiosondeo Monterrey*
Camp.	189.0	02/06/2019	Canasayab	Oax.	401.4	16/10/2019	Morro Mazatán***
Chih.	169.0	18/07/2019	Presa el Granero*	Pue.	221.0	28/09/2019	Tlacotepec de Díaz
Chis.	256.6	17/12/2019	Ocotepec**	Qro.	76.9	04/06/2019	Observatorio de Querétaro
Coah.	149.0	09/06/2019	Sabinas hidrométrica*	Q. Roo	240.4	12/02/2019	Playa del Carmen
Col.	342.3	29/09/2019	Cerro de Ortega	Sin.	227.3	23/08/2019	Topolobampo****
Ciudad de México	85.3	23/06/2019	Avenida Cien Metros	S. L. P.	161.0	30/05/2019	Matehuala
Dgo.	96.2	18/07/2019	Presa San Gabriel*	Son.	151.2	27/11/2019	Abejas+++
Gro.	288.5	29/09/2019	Ometepec	Tab.	244.6	25/10/2019	Zamapa 2a. Sección*
Gto.	133.0	04/06/2019	La Purísima	Tams.	342.5	22/10/2019	La Esperanza*
Hgo.	89.0	16/10/2019	San Felipe Orizatlán	Tlax.	78.7	18/06/2019	Observatorio de Tlaxcala
Jal.	261.1	29/09/2019	Higuera Blanca 2*	Ver.	285.0	25/10/2019	San José del Carmen
Mex.	82.1	25/08/2019	Totolica	Yuc.	181.6	12/02/2019	Chocholá
Mich.	320.6	29/09/2019	Coahuayana	Zac.	83.3	18/07/2019	Miguel Alemán

Nota. Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente. *Automática CONAGUA, **Automática CFE, ***Automática INIFAP, +Automática CILA, +++*REMAS*.

El año 2019 fue el 19° año más seco a nivel nacional, pero fue el año más seco para San Luis Potosí, el segundo más seco para Hidalgo y el tercer más seco para Veracruz. Estos estados también fueron los más afectados por la sequía de este año. Otros siete estados quedaron clasificados dentro de los diez más secos, entre ellos Oaxaca y Tabasco, que también sufrieron sequía a lo largo de 2019. En el lado opuesto, Colima y Sonora registraron su cuarto año más lluvioso y Morelos su quinto año más lluvioso. El resto de los estados del país tuvieron lluvias de normal a por debajo de lo normal (Figura 16).

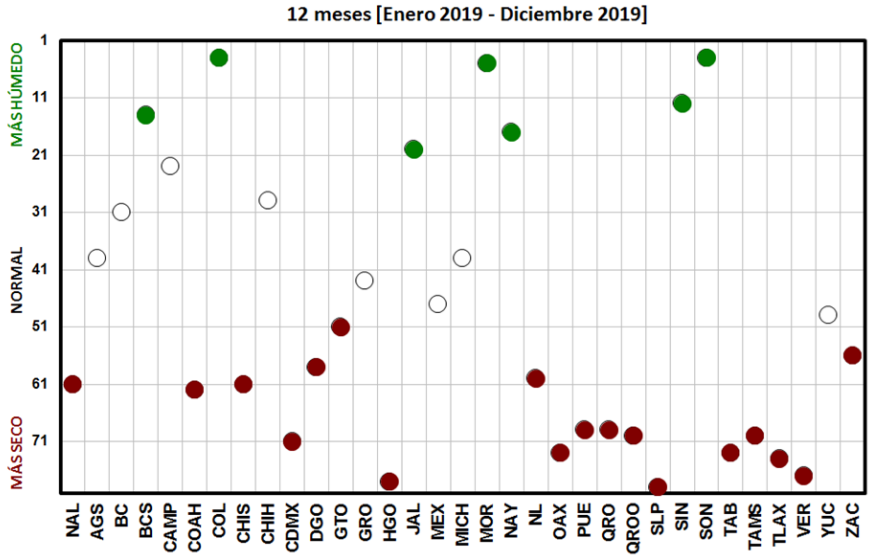


Figura 16. Clasificación de lluvias a nivel nacional y estatal de enero a diciembre de 2019. Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

2. 1 TEMPORADA DE LLUVIAS

La temporada de lluvia en México, es una fecha muy importante para la toma de decisiones en múltiples sectores. Coloquialmente se piensa que la temporada de lluvia en México inicia el día 15 de mayo y termina en noviembre, junto con el inicio y final estadístico de la temporada de ciclones tropicales. Si bien es cierto que los ciclones tropicales aportan una gran cantidad de precipitación a su paso cerca o sobre el territorio nacional, patrones estacionales de circulación atmosférica como el desplazamiento de la Zona Intertropical de Convergencia hacia latitudes medias, la ubicación de sistemas de alta presión semipermanentes y hasta efectos locales de contraste térmico se encargan de definir el inicio de la temporada de lluvia en cada región. Para identificar el comportamiento de la temporada de lluvia en México durante el 2019, se hizo el siguiente análisis.

Se utilizó la base de datos CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed with Station data), que posee información de satélites y estaciones que cubren una buena porción de masa continental, así como una alta resolución. Es una base con datos de más de 30 años, de 1981-presente; con una cobertura cuasi-global. El producto utilizado para éste trabajo posee una malla de 0.025° x 0.025° y una resolución temporal diaria. CHIRPS fue creado para tener una base confiable, completa y actualizada para análisis tales como monitoreo estacional (Funk et al., 2015).

El periodo climatológico de la temporada de lluvias (periodo base 1981-2010) fue identificado con el uso de la metodología propuesta por Liebmann et al. (2012). El primer paso es obtener la anomalía climatológica de lluvia diaria acumulada (C), la cual es una función del día d (Ecuación 1).

$$C(d) = \sum_{i=1\,Ene}^{d} Q_i - Q_m \qquad \textbf{Ecuación 1}$$

Donde Q_i es la precipitación climatológica de cada día, Q_m la precipitación climatológica diaria promedio y el índice d va del 1 de enero al 31 de diciembre.

A continuación, se localiza el mínimo y máximo de la función C, que corresponden al inicio (d_i) y final (d_f)

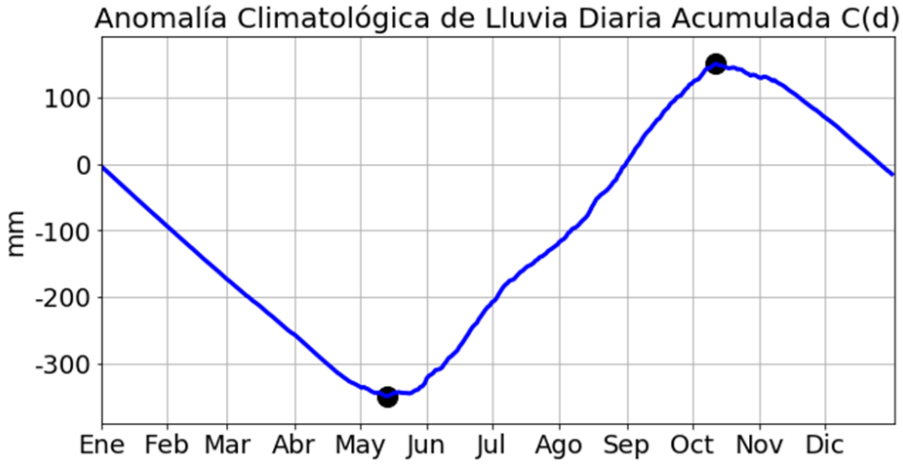


Figura 17. Como ejemplo, se muestra la anomalía climatológica de lluvia diaria acumulada para un punto de malla. Los puntos indican el inicio (mínimo) y final (máximo) de la temporada de lluvia climatológica.

Posteriormente, la temporada de lluvias 2019 se obtuvo de manera similar; con la ayuda de la anomalía de lluvia diaria acumulada $A(D)$ (Ecuación 2.).

$$A(D) = \sum_{j=d_i-50}^{D} R_j - Q_m \qquad \textbf{Ecuación 2}$$

Donde R_j son los acumulados de lluvia en el día j, y D va del día d_i-50 al d_f+50.

El día después del mínimo de A(D) marca el inicio de la temporada de lluvias, y su final queda determinado por su punto máximo.

En la Figura 18, dónde se muestra el inicio climatológico de la temporada de lluvias, se puede ver que esta no es una fecha homogénea para todo el país, ya que inicia en la región al norte de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila durante la última quincena de abril y a lo largo de la Sierra Madre Oriental durante la primer semana de mayo, para posteriormente comenzar desde la Península de Yucatán hacía el noroeste del país, dónde la temporada de lluvia no es durante el verano como en el resto del territorio nacional, sino durante la temporada invernal asociada con el paso de frentes fríos en esta región. Durante 2019, se observó un claro retraso en el inicio de la temporada de lluvias en Nuevo León, Tamaulipas, Coahuila, Durango, Zacatecas, Puebla y Quintana Roo, en ningún estado se observó un adelanto de la temporada de lluvias. Sin embargo, las regiones que se muestran cubiertas en color gris indican que no se observó un patrón característico de temporada de lluvia, es decir que las lluvias se retrasaron o no llegaron, coincidiendo con regiones que presentaron condiciones de sequía durante el verano, como se describe más adelante en la sección del Monitor de Sequía.

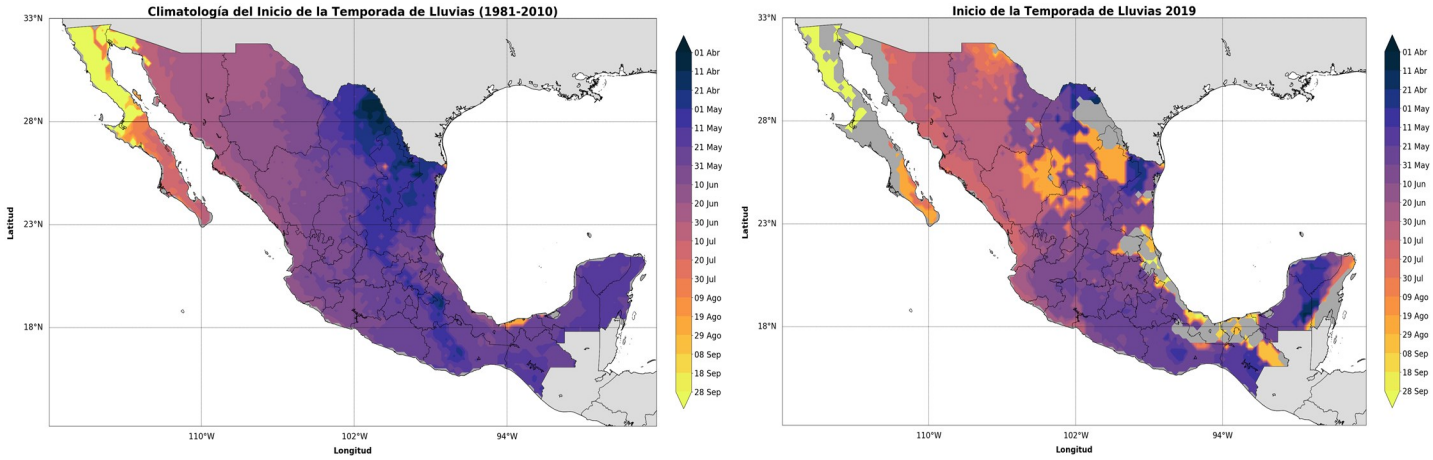


Figura 18. (Izquierda) Climatología (1981-2010) del inicio de la temporada de lluvias. (Derecha) Inicio de la temporada de lluvias en el año 2019 a nivel nacional.

En cuanto al final climatológico de la temporada de lluvia (Figura 19), se observa un patrón que desciende desde el noroeste del país hacia el sur sureste. Durante el 2019, este patrón no fue tan homogéneo como el climatológico, ya que se pueden observar regiones donde se adelantó el termino de la temporada de lluvias, principalmente en los estados de Nuevo León, Coahuila, Zacatecas, Jalisco, Guanajuato; en cambio hacia el occidente sur, en Campeche y Yucatán se observó un retraso en el termino de la temporada de lluvia durante el 2019.

Finalmente, como se puede ver en las Figuras 20 y 21 , que muestra la anomalía de la duración de la temporada de lluvias durante el año 2019, en los estados del occidente sur del país, así como en Campeche y Yucatán se presentaron anomalías positivas, es decir que estas regiones tuvieron una temporada de lluvia más larga de lo

normal, en cambio en los estados del norte, noreste y Golfo de México se presentaron anomalías negativas en la duración de la temporada de lluvia, por lo que esta duró menos de lo normal.

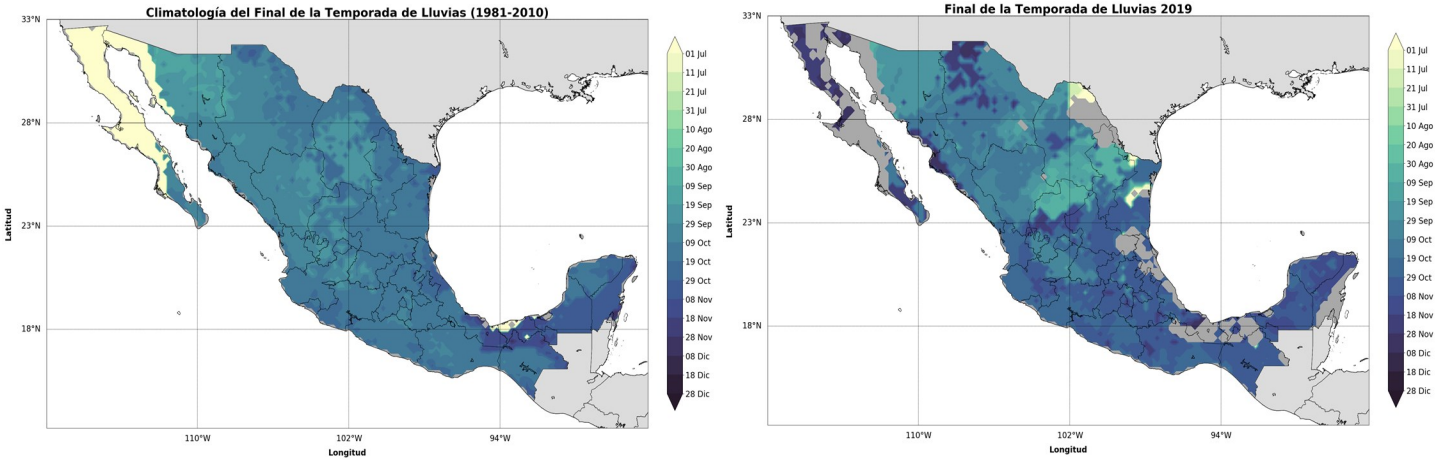


Figura 19. (Izquierda) Climatología (1981-2010) del final de la temporada de lluvias. (Derecha) final de la temporada de lluvias en el año 2019 a nivel nacional.

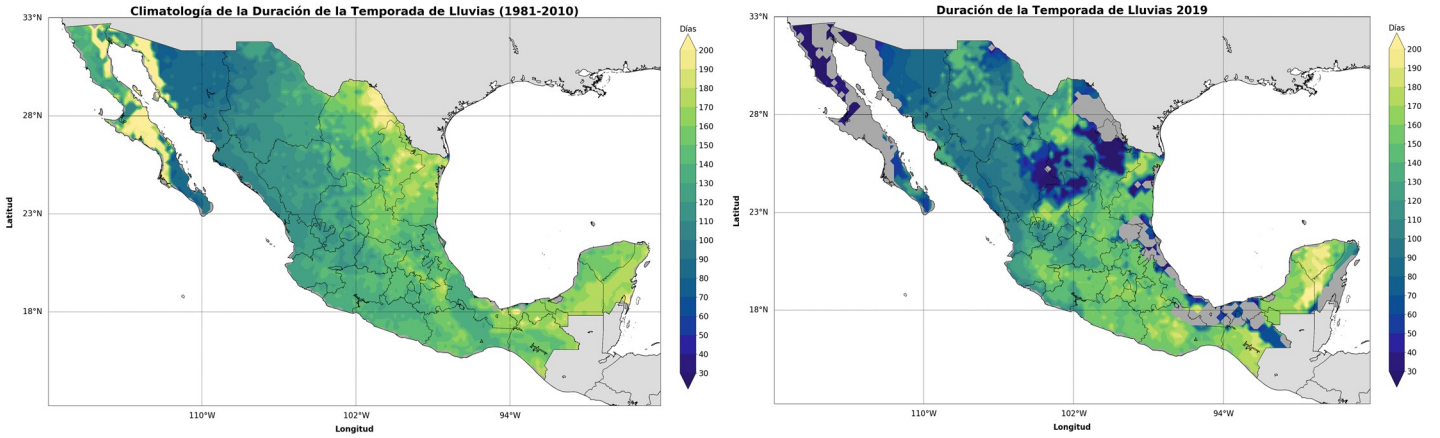


Figura 20. (Izquierda) Climatología (1981-2010) de la duración de la temporada de lluvias. (Derecha) duración de la temporada de lluvias en el año 2019 a nivel nacional.

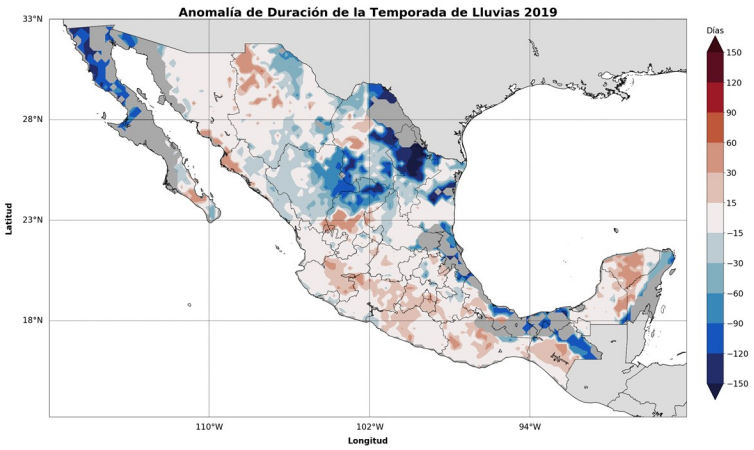


Figura 21. Anomalía de la duración de la temporada de lluvias en el año 2019 a nivel nacional.

2. 2 Canícula

La Canícula, sequía intraestival o veranillo, consiste en una disminución de precipitación durante lo que se conoce como la temporada de lluvias. El patrón de déficit de precipitación no es uniforme, es decir, no se presenta en todos los estados con la misma duración e intensidad y muchas veces se puede ver suavizado por eventos extremos como el impacto de algún ciclón tropical o la llegada de ondas del este que dejen lluvia en estas regiones, por lo que su monitoreo es importante.

Hablar de un déficit de precipitación durante la temporada de lluvias, no implica que en cada evento individual de lluvia se presente menos precipitación, si no que se observa un patrón descendente en el acumulado de lluvias en varios días, al menos en los acumulados semanales o mensuales. Es como ver una montaña rusa, en la cual se observa un pico más alto, conocido como el primer pico de la temporada de lluvias que ocurre habitualmente durante junio en estas regiones, y después de este, comienzan a descender los acumulados, no necesariamente tienen que ser nulos (es decir, que no llueva nada durante este periodo). Posteriormente se observa otro incremento llegando al segundo pico de la temporada que normalmente se presenta durante septiembre, siendo este mes el más lluvioso del año.

En cuanto a los patrones que modulan la canícula, algunos estudios recientes indican que la interacción entre la temperatura superficial del mar cercana a las costas de México y Centroamérica, la ubicación de la Zona Intertropical de Convergencia, la ubicación de sistemas semipermanentes de alta presión (anticiclones) tanto en el Océano Atlántico como en el Océano Pacífico y corrientes de viento en niveles bajos sobre la región del caribe pueden repercutir en la duración e intensidad de este fenómeno. Para identificar el comportamiento de la Canícula en México durante el año 2019, se realizó el siguiente análisis.

Para describir el comportamiento de la canícula a nivel nacional, se hizo uso de la base de datos de precipitación CHIRPS en una escala temporal mensual. Se dividió al país en una malla regular de 2° x 2°, la cual se empleó como referencia para calcular el promedio areal de la precipitación mensual dentro de cada una de las celdas; estos valores se representan en las gráficas de barras mostradas en la Figura 22. Cabe mencionar que si al momento de realizar el promedio se encontraba un porcentaje mayor al 70% correspondiente al océano en la celda, este valor se desechó dado que la base CHIRPS no posee datos sobre el océano.

La intensidad del evento se calculó con la metodología de Mosiño y García (1966), la cual consiste en calcular el déficit de precipitación (Dp).

$$D_p = 100 * \frac{A_d}{P_T}$$ **Ecuación 3**

Donde Ad es el área del polígono con vértices en los máximos y el mínimo de precipitación mensual, presentes durante el verano y PT es el acumulado de lluvia de mayo a octubre.

Si Dp es menor al 10%, se considera que el evento de canícula es débil; cuando 10% ≤ Dp < 16%, se le asigna la categoría de moderado; y finalmente, si Dp ≥ 16% el evento es intenso. En la Figura 22 presentadas en esta sección, las intensidades obtenidas son representadas por el color de las barras de la siguiente manera: débil (verde), moderada (amarillo) y fuerte (rojo). Así mismo, en las regiones en las que la canícula no estuvo presente, el color asignado fue gris.

En la imagen superior se muestra la climatología de la canícula en cada cuadricula, con la distribución mensual promedio en cada una de las barras, como se puede observar, climatológicamente se presenta la canícula en los estados de la vertiente del Golfo de México, desde Tamaulipas hasta Yucatán, así como en Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca, occidente de Michoacán, Colima y Jalisco.

De acuerdo con la clasificación de intensidad antes mencionada, climatológicamente se presenta la canícula intensa (graficas rojas) únicamente al norte de Tamaulipas, en cambio canícula moderada (graficas amarillas) al oriente de Coahuila, Nuevo León y el resto de Tamaulipas; por último, la canícula débil se observa desde Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, norte del Estado de México, occidente de Jalisco y de Michoacán, Veracruz, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, Chiapas, Tabasco y Península de Yucatán.

Durante el verano del 2019, se observó un claro incremento en las zonas con canícula intensa, principalmente en Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo y Tabasco, las regiones con canícula moderada se registraron en Campeche, centro de Veracruz y al occidente de Michoacán y de Jalisco. En Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Yucatán y Quintana Roo, se observó canícula débil durante el 2019.

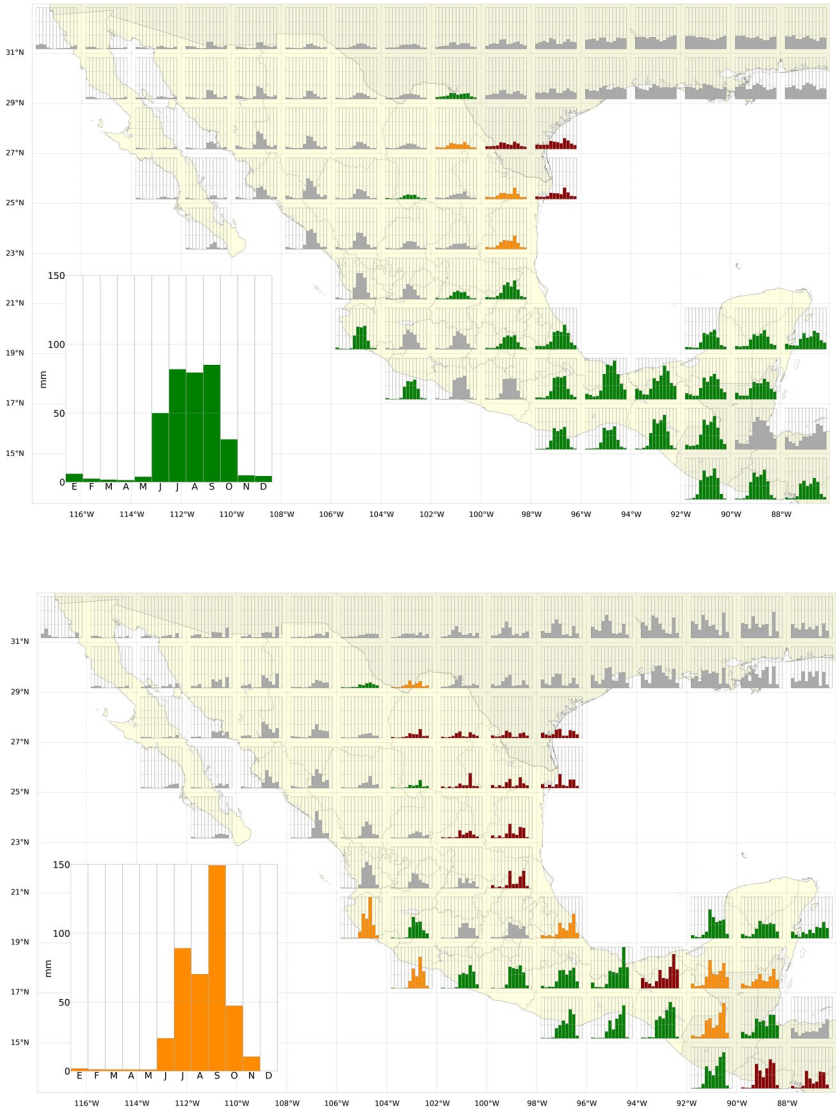


Figura 22. Precipitación acumulada mensual por cuadricula. (Superior) promedio climatológico del periodo 1981–2010, (Inferior) registro de 2019. Ambos mapas representan regiones con canícula y su intensidad.
Datos: CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed with Station data) de enero de 1981 a noviembre de 2019.

3. Ciclones tropicales

La temporada de ciclones tropicales (CTs) 2019 concluyó por arriba del promedio climatológico 1981-2010, tanto para la cuenca del Pacífico Noreste como dentro del Océano Atlántico.

En el Océano Pacífico la temporada inició como la más tardía desde 1970, por lo que desde el 25 de junio hasta el 31 de noviembre se desarrollaron un total de 17 ciclones con nombre, tres depresiones tropicales (la DT *12-E* se formó dentro de esta cuenca oceánica, sin embargo alcanzó el estatus de tormenta tropical en el océano Pacífico Central y fue nombrada *Akoni*) y un Potencial de Ciclón Tropical (PCT). Con 17 tormentas nombradas en esta cuenca, 2019 se ubicó con dos CTs por arriba de la media, que es de 15, de las cuales el huracán *Lorena* y las tormentas tropicales *Narda* y *Priscilla* afectaron directamente costas mexicanas (Figura 23).

En el océano Atlántico, la temporada se ubicó como la tercera más activa (con datos desde 1850) junto al año 1969, con 18 CTs nombrados, la más activa continua siendo la de 2005 con 28 CTs desarrollados. En esta cuenca, México únicamente fue afectado directamente por la tormenta tropical *Fernand,* sin embargo como puede consultarse mensualmente en los Reportes del Clima de 2019, el país también se vio afectado por diversas zonas de inestabilidad que posteriormente en algunos casos evolucionaron en ciclones tropicales lejos de costas Mexicanas. A continuación se describen los eventos más significativos de la temporada 2019.

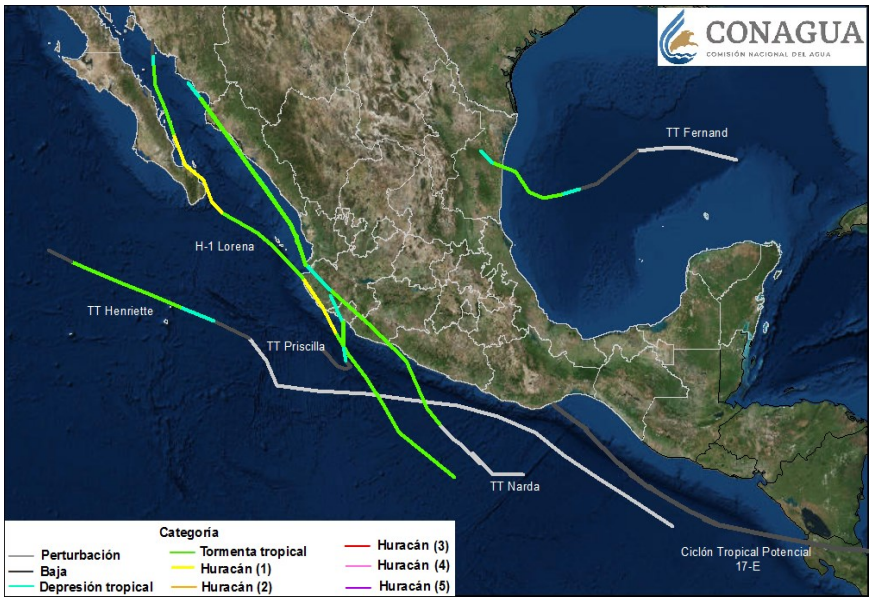


Figura 23. Trayectorias de los ciclones tropicales que afectaron al territorio nacional en el año 2019.

3.1 Océano Atlántico

Tormenta tropical *Fernand* (1-5 de septiembre)

La tarde del 30 de agosto de 2019, se inició la vigilancia de una zona de baja presión asociada a una línea de vaguada al norte de la Península de Yucatán. Durante el 1 de septiembre la presión atmosférica dentro de la circulación comenzó a disminuir cuando se mantuvo al centro del Golfo de México. Tormentas puntuales fuertes se reportaron en Yucatán ese día. Las condiciones atmosféricas el día 2, favorecieron una mejor organización del sistema, hasta que a las 10 horas (hora del centro de México) del 3 de septiembre la zona de inestabilidad

evolucionó en la depresión tropical 7 a 295 km al este del municipio La Pesca en el estado de Tamaulipas, tres horas más tarde alcanzó el status de tormenta tropical *Fernand,* al anochecer alcanzó su intensidad máxima con vientos sostenidos de 85.0 km/h y una presión mínima de 1000 mb.

La tormenta tropical *Fernand,* ingresó a la costa de Tamaulipas por las cercanías de Boca de Catán, con vientos de 75.0 km/h, adentro del continente comenzó a debilitarse sobre la Sierra Madre Oriental. La precipitación máxima registrada en 24 horas, se produjo sobre la estación de Radiosondeo Monterrey, en el estado de Nuevo León con un valor de 528.0 mm. El patrón de lluvias más significativas sobre el estado de Nuevo León (Figura 24a) fue debido al relieve del lugar y la convección del ciclón tropical, que principalmente se ubicó al oeste de su circulación.

3.2 Océano Pacífico Noreste

Tormenta tropical *Henriette* (8-10 de agosto)

Una zona de inestabilidad asociada a la onda tropical 26, contribuyó a la evolución de la tormenta tropical *Henriette.* Esta zona de inestabilidad favoreció con lluvias sobre las costas del Pacífico sur como se puede observar en la Figura 20b durante el periodo del 8 al 10 de agosto

De acuerdo con los boletines emitidos por la CGSMN, el mayor acercamiento al que se ubicó la zona de inestabilidad con la línea de costa fue a la 1:00 am (hora del centro de México) del 10 de agosto cuando se localizó a 160.0 km al sureste de Acapulco, Guerrero. La precipitación acumulada máxima registrada durante el avance de la perturbación fue de 236.7 mm en la estación de Palma Sola-Camarón, Guerrero (Figura 24b).

Tormenta tropical *Lorena* (15-22 de septiembre)

La onda tropical 39, comenzó a asociarse con un centro de baja presión durante el día 15 de septiembre al sur de Chiapas. Sobre temperaturas superficiales del mar de hasta 31.0 °C y una condición de débil cizalladura, la zona de inestabilidad evolucionó en la tormenta tropical *Lorena* la mañana del 17 de septiembre, aproximadamente a 330 km al sur-suroeste de Punta Maldonado, Guerrero.

La noche del 18, la tormenta tropical *Lorena* alcanzó la categoría 1 en la escala Saffir-Simpson, misma con la que ingresó a la costa de Jalisco, por las cercanías de punta El Estrecho la madrugada del 19 de septiembre. Durante su primer impacto se produjeron los mayores acumulados (Figura 24c) que alcanzaron los 343.0 mm en Chamela-Cuixmala, Jalisco del 18 al 19 de septiembre.

Después de ingresar por el occidente de México, *Lorena* se desplazó hacia el mar, donde su categoría descendió a tormenta tropical, pero en su trayectoria nuevamente se intensificó a categoría I en la madrugada del 20 de septiembre frente a las costas de Baja California Sur. Por la tarde, el ciclón alcanzó su intensidad máxima con vientos de 140.0 km/h y una presión mínima de 985 mb y por la noche ingresó por segunda ocasión a tierra firme en las inmediaciones de la localidad de La Venta en Baja California Sur con vientos sostenidos de 130.0 km/h. Finalmente se disipó sobre la costa central de Sonora el día 22.

Tormenta tropical *Narda* (26-30 de septiembre)

Se comenzó la vigilancia de una zona de baja presión al sur de Oaxaca, la mañana del 26 de septiembre. Durante lo siguientes días la zona de inestabilidad se asoció con flujo de viento monzónico que transportaba abundante humedad tropical, lo cual propició un temporal de lluvias sobre las costas del sur de México (figura 24d). A las 10 h (hora del centro de México) la zona inestable fue nombrada por el NHC como Ciclón Tropical Potencial 16-E, al sur de Guerrero. Doce horas después el ciclón tropical potencial se intensificó a la tormenta

tropical *Narda* a 185 km al suroeste de Acapulco con vientos máximos sostenidos de 65.0 km/h. La mañana del 29 de septiembre el CT ingresó a tierra por la desembocadura del río Balsas con vientos máximos de 75.0 km/h. Después de ingresar el occidente de México la trayectoria de la tormenta tropical *Narda* regresó al mar, la madrugada del día 30. Posteriormente comenzó a intensificarse frente a las costas de Nayarit y Sinaloa. Finalmente, *Narda* tocó tierra por segunda vez en la desembocadura del río Sinaloa, al anochecer de ese mismo día, con vientos máximos de 85.0 km/h y una presión mínima de 997 mb.

Ciclón tropical potencial 17-E (13-16 de octubre)

La madrugada del 13 de octubre, una zona de inestabilidad comenzó a ser monitoreada, debido a que esta evolucionó a partir del giro de Centroamérica. Durante los siguientes días rápidamente fue ganando una mejor organización debido a las altas temperaturas del mar y una condición de débil cizalladura.

La zona de inestabilidad fue denominada como Ciclón Tropical Potencial 17-E (CTP 17-E), la noche del 15 de septiembre cuando se localizaba al sur de Chiapas. A la 1 am del 16 de octubre, la zona de inestabilidad se halló a 270 km al sur de Salina Cruz, Oax con vientos máximos de 55 km/h y se desplazó hacia el noroeste. Poco después de las 7 am del mismo día, el sistema ingresó a la línea de costa por el suroeste de El Cuyul, municipio de San Pedro Huamelula, en el estado de Oaxaca, así bien, se presentaron lluvias severas e inundaciones.

Finalmente la tarde del 16 de octubre se disipó debido a su interacción dentro de tierra con la Sierra Madre del Sur. El acumulado máximo de entre el 15 y 16 de octubre alcanzó los 445.0 mm en km51+740, en el estado de Oaxaca (Figura 24e).

Tormenta tropical *Priscilla* (18-20 de octubre)

Una zona de inestabilidad comenzó a ser vigilada la tarde del 18 de octubre al sur de Colima. Las condiciones atmosféricas de los siguientes días como anomalías positivas de temperaturas del mar y debilitamiento paulatino de la cizalladura, favorecieron que a las 4 horas (hora del centro de México) del 20 de septiembre el sistema evolucionara en la depresión tropical 19-E y tres horas después alcanzó el status de tormenta tropical *Priscilla*.

La tormenta tropical *Priscila,* ingresó a tierra aproximadamente a las 2:45 pm en la barra de la Laguna de Coyutlán del estado de Colima con vientos máximos de 65.0 km/h y una presión mínima de 1004 mb. Sobre el territorio continental el ciclón rápidamente se debilitó a depresión tropical y finalmente se disipó a las 10 pm, cuando se localizó a 65.0 km al noroeste de Playa Pérula, en el estado de Jalisco.

El acumulado máximo de precipitación, asociado a esta tormenta tropical, dentro del periodo del 19 al 20 de octubre fue de 163.0 mm en San Blas, Nayarit. (Figura 24f).

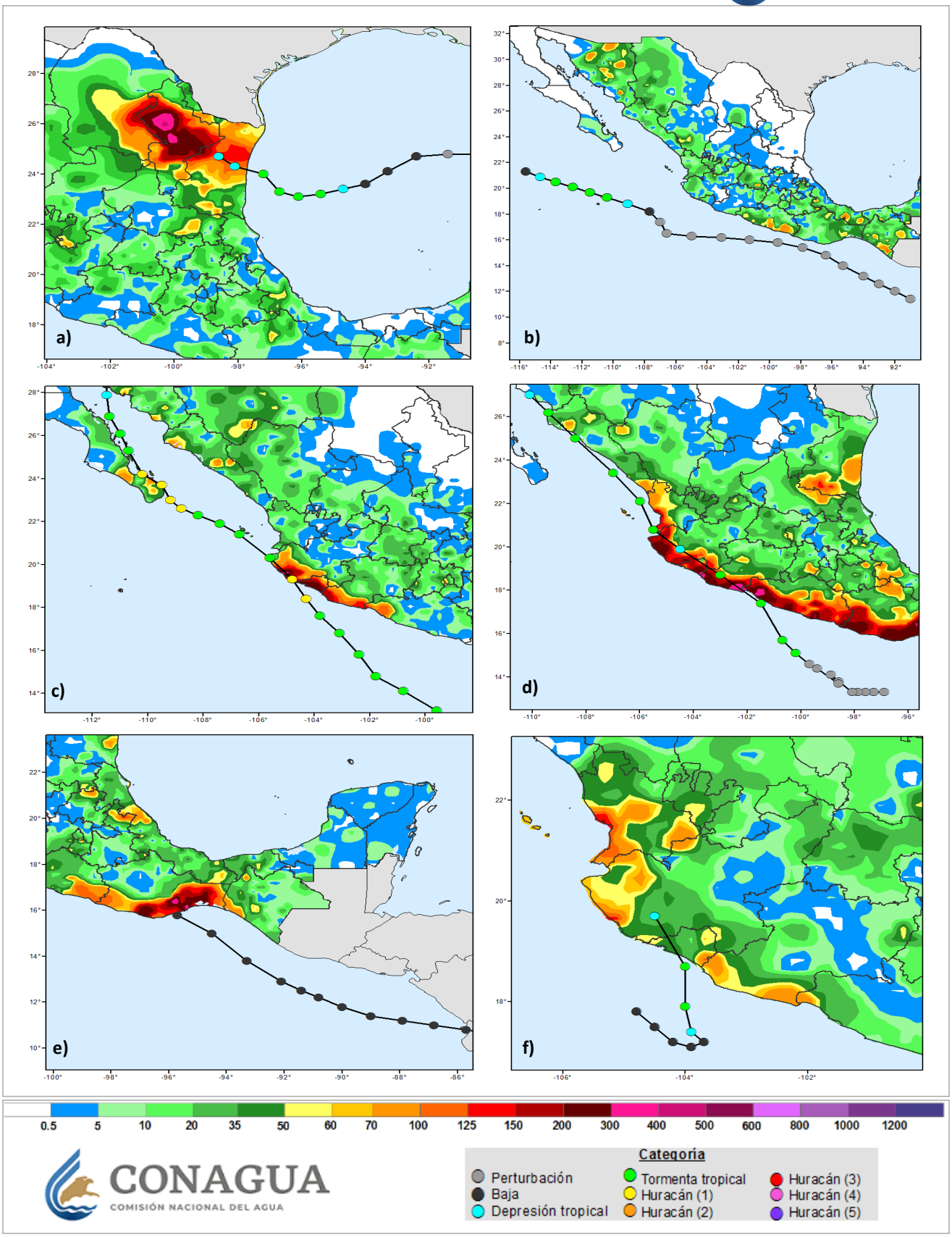


Figura 24. Trayectoria y lluvia acumulada en mm por ciclones tropicales del Atlántico y Pacífico Noreste que incidieron en la República Mexicana en el año 2019. a) tormenta tropical *Fernand*, b) tormenta tropical *Henriette*, c) huracán *Lorena*, d) tormenta tropical *Narda*, e) ciclón tropical potencial 17-E, f) tormenta tropical *Priscilla.*

4. Ondas tropicales

La Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CGSMN), define una onda tropical (OT) o también llamada onda del este como una ondulación de la corriente de vientos alisios cuyas características incluyen el desarrollo de un canal de baja presión, la generación de fuerte convección sobre la zona en la que se encuentre y un desplazamiento generalmente hacia el oeste, aproximadamente entre los 5° y 15° de latitud. La CGSMN numera a las ondas tropicales (OTs) que superan los -85° de longitud oeste y que generan inestabilidad atmosférica sobre nuestro país.

Ferreira y Schubert (1997), encontraron que las ondas evolucionan a partir de las inestabilidades baroclínicas y barotrópicas entre el oeste de África y el este del Océano Atlántico que son provocadas por una inversión del gradiente de vorticidad potencial meridional dentro del Jet Africano del Este (JAE) así como al fuerte gradiente de temperatura meridional en superficie.

La temporada de ondas tropicales en México, en el año 2019, dio inicio el 20 de mayo y concluyó el 2 de diciembre. Dentro de este periodo se desarrollaron 80 OTs sobre el Atlántico y Pacífico Tropical. De este total la CGSMN numeró 56 ondas, 19 por arriba de la climatología 1995-2018. A pesar de ello la temporada más activa continua siendo 2003 con 59. Aunque, no fue la temporada con el mayor registro de OTs, ya que en 2019 los meses de octubre y noviembre (Figura 25), se posicionaron como el octubre y noviembre con el mayor numero de OTs observadas desde 1995 con 7 y 8 eventos respectivamente.

La temporada de OTs del año 2019 en México, se considerada como la segunda más activa dentro de la climatología. Sin embargo, la temporada de lluvias sobre la mayor parte del la vertiente del Golfo de México, Península de Yucatán y el sur de México, en su mayor parte culminó por debajo de lo normal (climatología 1981-2010), lo cual se relaciona con el desplazamiento de las OTs, que de mayo a agosto se mantuvieron muy alejadas del sur de México (Figura 26),condición que estuvo asociada con la posición de la ITCZ. Para los meses consiguientes de la temporada (Figura 27) se pudo observar un acercamiento gradual de las trayectorias hacia la porción sureste del territorio Mexicano, pero no fue suficiente para recuperar los déficits de precipitación durante los meses anteriores.

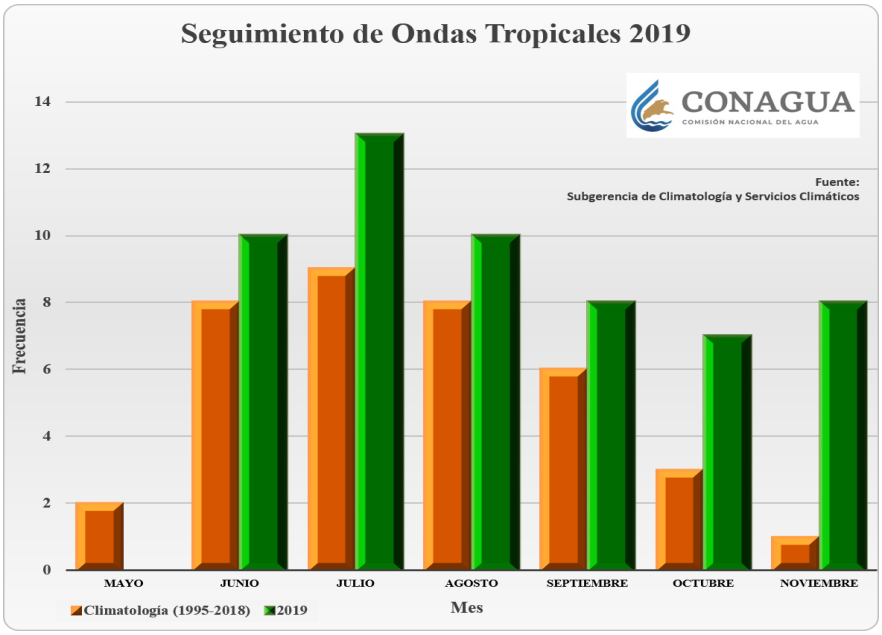


Figura 25. Seguimiento de ondas tropicales sobre la República Mexicana comparado con la climatología (1995-2018).

A continuación se presenta un resumen de las OTs cuyo centro del eje ingreso o favoreció directamente lluvias sobre el territorio nacional, para información mas detallada, consultar los reportes del clima mensuales.

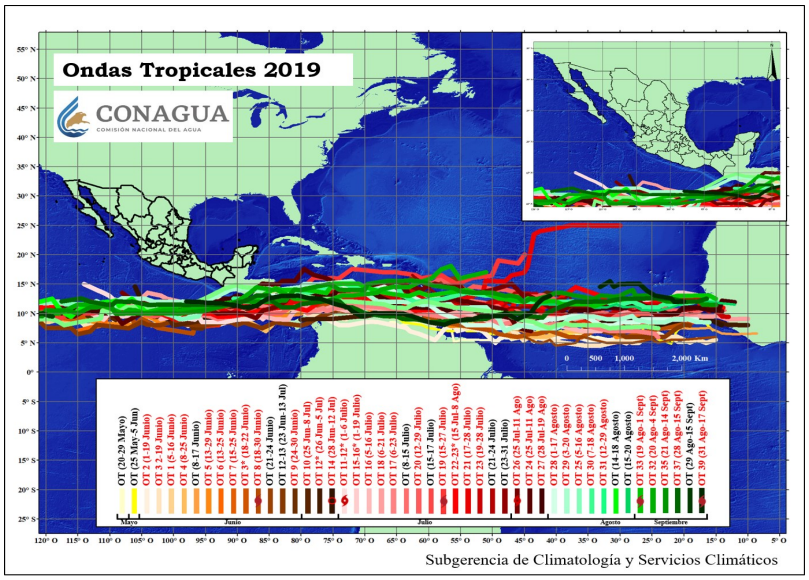


Figura 26. Trayectoria de las ondas tropicales desarrolladas o activas sobre la zona tropical del Océano Atlántico y Pacífico Este durante los meses de mayo a agosto. Nota: Las trayectorias indican la ubicación del centro del eje de la OT a través de su avance hacia el oeste.

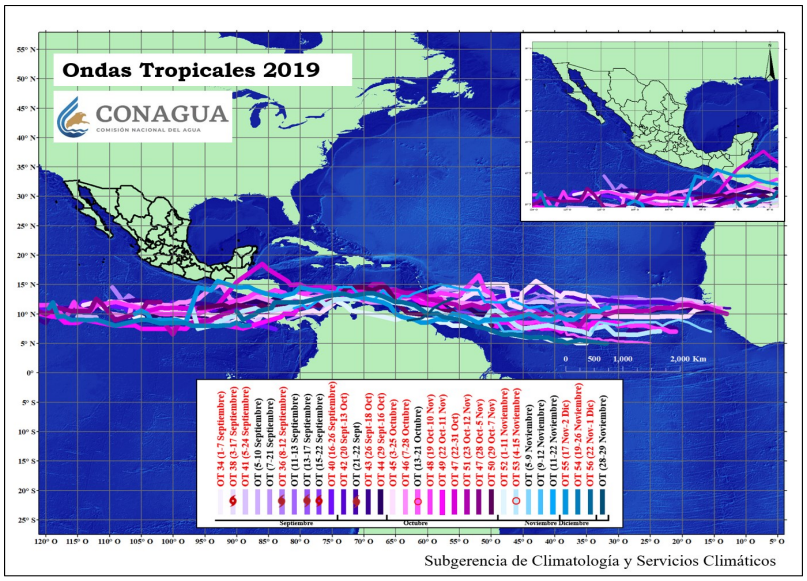


Figura 27. Trayectoria de las ondas tropicales desarrolladas o activas sobre la zona tropical del Océano Atlántico y Pacífico Este durante los meses de septiembre a diciembre. Nota: Las trayectorias indican la ubicación del centro del eje de la OT a través de su avance hacia el oeste.

Onda tropical Núm. 31 (20-21 de agosto)

La tarde del 20 de agosto la CGSMN numeró a la OT 31 de la temporada, fue la primer onda cuya trayectoria favoreció lluvias sobre México. Cruzó la Península de Yucatán con un amplio eje que se extendía desde los 5°

de latitud hasta el Golfo de México (Figura 28) esta condición y la entrada de humedad desde Mar Caribe produjeron lluvias de hasta 88.7 mm en la estación Cancén, en el estado de Quintana Roo. Al día siguiente (21 de agosto) la posición del centro del eje comenzó a alejarse de las costas del sur de México, sin embargo la cercanía de la ITCZ y el ingreso de humedad desde el Caribe y El Golfo de México favorecieron lluvias que alcanzaron los 88.9 mm en el observatorio de Campeche.

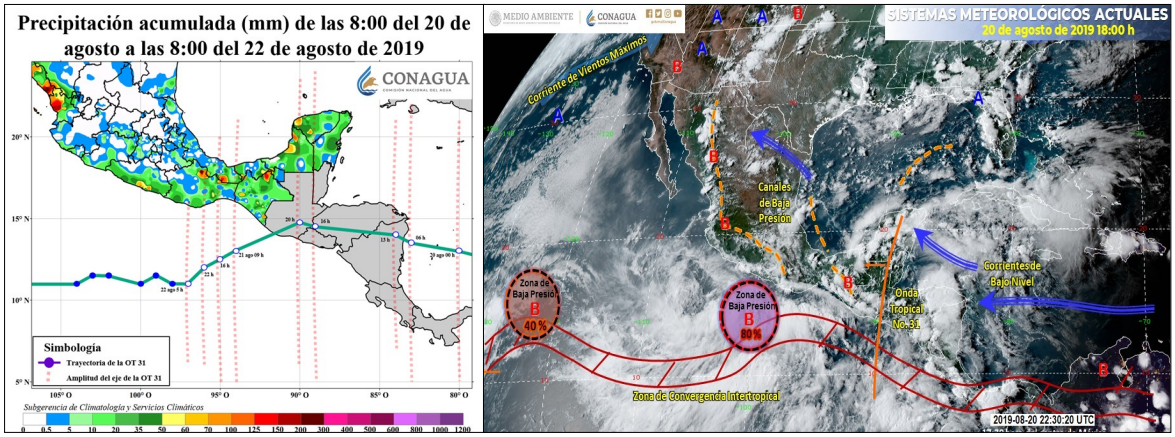


Figura 28. (Izquierda) Principales lluvias ocasionadas por la OT 31 del 20 al 21 de agosto de 2019. (Derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos la tarde del 20 de agosto de 2019. Imagen interpretada del la subgerencia de meteorología del Servicio Meteorológico Nacional.

Onda tropical Núm. 46 (22-23 de octubre)

La segunda OT sobre el país, fue numerada la mañana del 22 de octubre cuando se posicionó frente a las costas de Quintana Roo. Por la tarde atravesó a la Península de Yucatán mientras que el frente frío 6 de la temporada 2019-2020 avanzaba sobre el estado de Veracruz (Figura 29, derecha). La disponibilidad de humedad proveniente del Mar Caribe, así como la inestabilidad favorecida por ambos fenómenos provocaron lluvias acumulas máximas en 24 horas de 90.0 mm en la estación Palenque, estado de Chiapas. Al día siguiente, la onda avanzo al sur de las costas de Chiapas y Oaxaca, mientras que el frente frío número 6 comenzaba a adquirir características estacionarias, a su vez de desarrolló una zona de baja presión sobre Guatemala que en los siguientes días evolucionó en la tormenta tropical *Olga.* Todos estos factores generaron lluvias sobre Veracruz de 239.3 mm en la estación de Tres Zapotes.

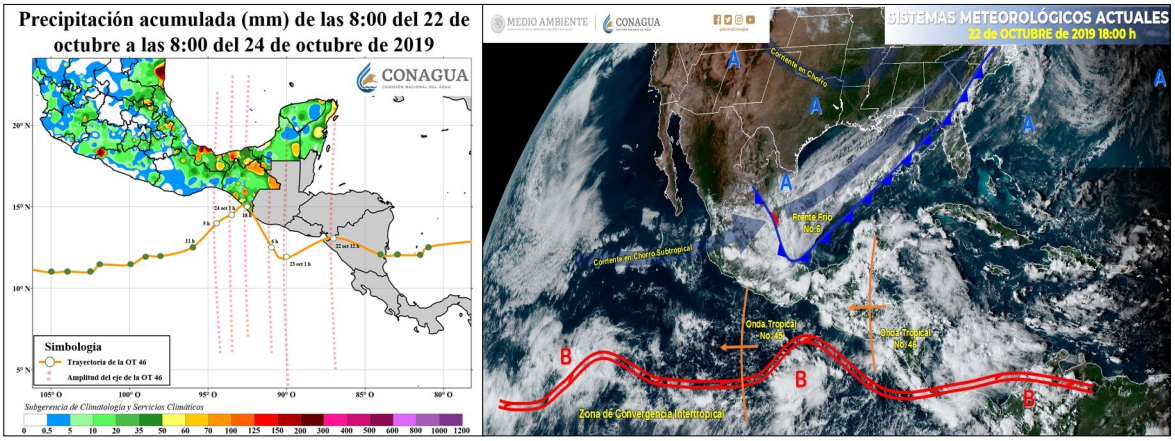


*Figura 29. (*Izquierda) Principales lluvias ocasionadas por la OT 46 con la interacción del frente frío 6 del 22 al 23 de octubre de 2019. (Derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos la tarde del 22 de octubre de 2019. Imagen interpretada del la subgerencia de meteorología del Servicio Meteorológico Nacional.

Onda tropical Núm. 47 (27-28 de octubre)

La OT 47 fue numerada la tarde del 26 de octubre, sobre el oeste del Mar Caribe, en ese momento producía una extensa área de tormentas al sur de Cuba. A partir del día 27, la OT se hallaba frente a las costas de Quintana Roo, su monitoreo se resultó complejo, por lo tanto en los reportes la OT se apreciaba sobre la misma región con un amplio eje durante todo el día y las primeras horas del 28 de octubre, favoreciendo lluvias fuertes de hasta 69.5 mm sobre Noh-Yaxche, Camp. en interacción con el aporte de humedad del sistema frontal número 7 de la temporada 2019-2020 (Figura 30). Finalmente la posición de la OT fue detectada ya sobre el sur del istmo de Tehuantepec por la noche del día 28, sin embargo antes de dejar de afectar el sur de México favoreció el registro de lluvias puntuales fuertes sobre Chiapas.

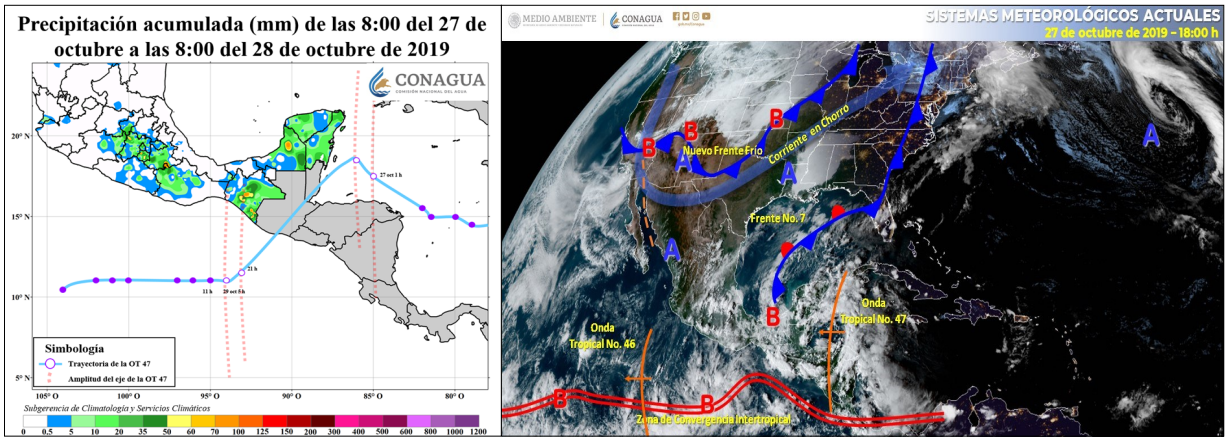


Figura 30. (Izquierda) Principales lluvias ocasionadas por la OT 47 con la interacción del frente frío 7 del 27 al 28 de octubre de 2019. (Derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos la tarde del 27 de octubre de 2019. Imagen interpretada del la subgerencia de meteorología del Servicio Meteorológico Nacional.

Onda tropical Núm. 55 (27-28 de noviembre)

La última OT fue numerada la tarde del día 27 de noviembre, mismo día que ingresó a la Península de Yucatán y provocó intervalos de chubascos en Campeche y Yucatán. Al día siguiente la OT comenzó a incrementar la amplitud de su eje sobre el istmo de Tehuantepec como se observa en la Figura 31 a la izquierda. Esta condición asociada con la cercanía del sistema frontal número 18 de la temporada (Figura 31, derecha) produjeron precipitaciones intensas al sur de Veracruz que alcanzaron los 141.2 mm en estación de Las Perlas. Durante el día 29 la OT comenzó a perder amplitud y dejó de afectar al país, finalmente al termino del mes de noviembre la OT mantenía su trayecto rumbo al Pacífico central.

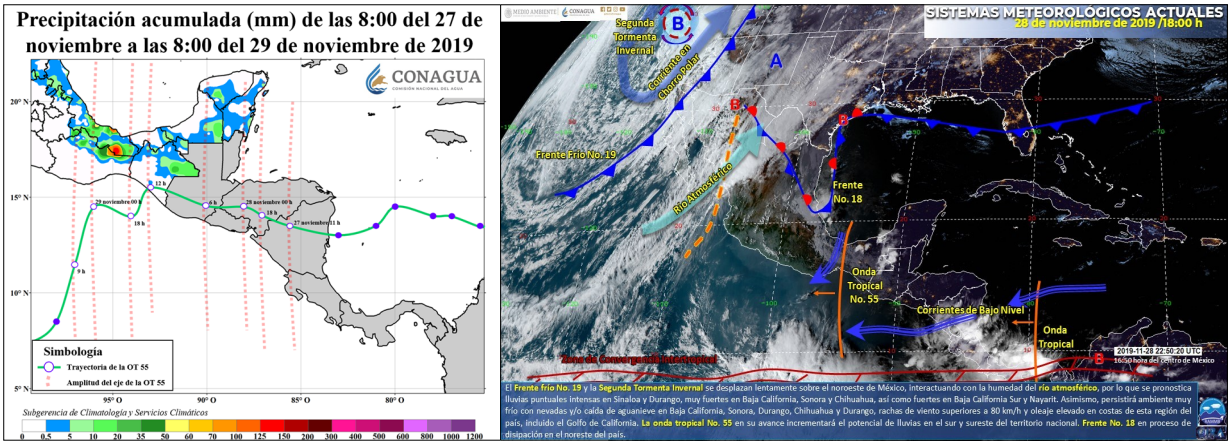


Figura 31. (Izquierda) Principales lluvias ocasionadas por la OT 55 del 27 al 28 de noviembre de 2019. (Derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos la tarde del 28 de noviembre de 2019. Imagen interpretada del la subgerencia de meteorología del Servicio Meteorológico Nacional.

Una condición por debajo de la climatología 1981-2010 en la intensidad del JAE se mantuvo durante toda la temporada de OTs 2019. La intensidad del viento en promedio dentro del núcleo del chorro africano alcanza los 40 km/h, mientras que este año solamente alcanzó los 30 km/h hacia la región de la costa oeste de África en los 600 mb. En la región principal de desarrollo ciclónico también se puede apreciar que durante el periodo mayo-diciembre los vientos de componente este se presentaron ligeramente más débiles que la climatología, opuesto a lo observado al sur de centro américa donde los vientos se presentaron mucho más intensos de lo normal (Figura 32).

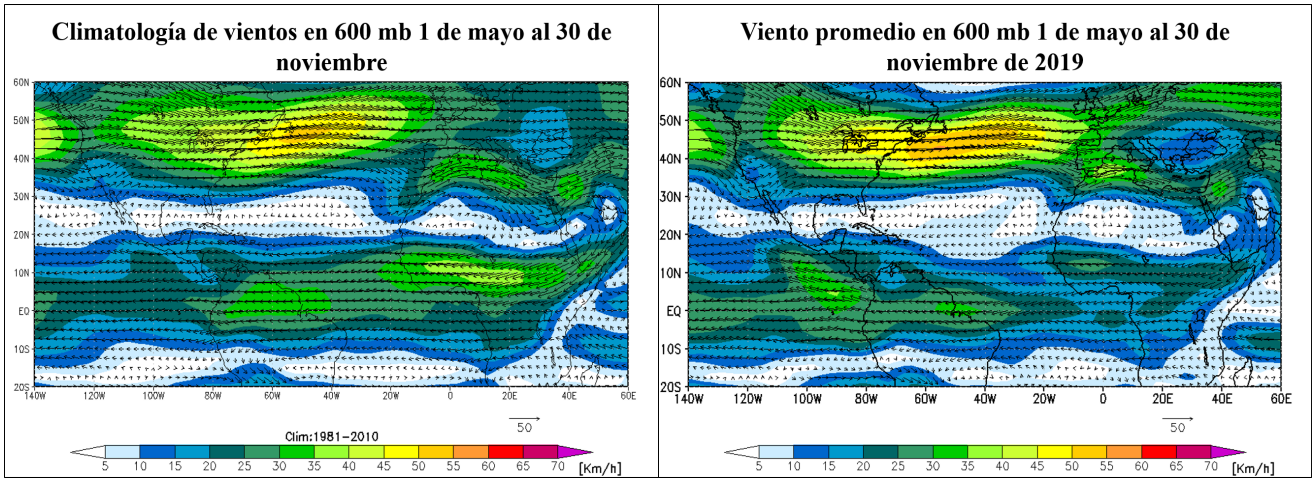


Figura 32. (Izquierda) Climatología 1981-2010 de los vientos (km/h) en 600 mb. (Derecha) Promedio de los vientos (km/h) en 600 mb del 1 de mayo al 30 de noviembre de 2019 con datos de reanálisis de los National Centers for Environmental Prediction (NCEP)/ National Center for Atmospheric Research (NCAR).

En las anomalías de la temperatura superficial sobre la región del JAE, durante la primera mitad de la temporada de OTs, se pudo observar un patrón bien definido de anomalías negativas en la región del Sahel con valores de –4.0 °C en el mes de junio, sin embargo este patrón se fue debilitando en los meses de septiembre a noviembre. Mientras que las anomalías positivas en promedio, alcanzaron los 4.0 °C por arriba de la media en zonas puntuales de Niger y Chad. En la región principal de desarrollo ciclónico las temperaturas se mantuvieron muy cerca del promedio durante la temporada. Por su parte, el Golfo de México presentó anomalías positivas de 0.5 a 1.5 °C por arriba de la media.

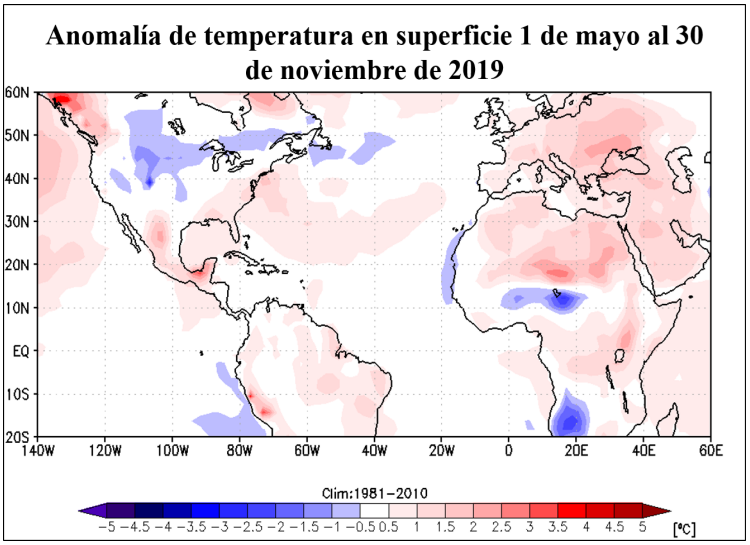


Figura 33. Anomalías de temperatura en superficie (°C) del 1 de mayo al 30 de noviembre de 2019 con datos de reanálisis de los National Centers for Environmental Prediction (NCEP)/National Center for Atmospheric Research (NCAR).

Finalmente, durante la temporada 2019 un total de 14 OTs se asociaron con la evolución de ciclones tropicales (Tabla 4), 5 del lado del Atlántico y 10 en el Pacífico Noreste, tomando en cuenta que la OT 39 fue precursora tanto de la tormenta tropical *Gabrielle* como del huracán *Lorena*.

Dentro de la cuenca del Atlántico el huracán más intenso que evolucionó a partir de una OT fue *Lorenzo* que alcanzó durante un breve periodo la categoría 5, la noche del 28 de septiembre (hora del centro de México). En el Pacífico Noreste, el huracán *Barbara* de categoría 4 con vientos máximos sostenidos de 250 km/h, fue el ciclón tropical más intenso cuyo génesis estuvo vinculado a una OT.

Tomando en cuenta el numero total de eventos por cuenca en 2019 (desde depresiones tropicales hasta huracanes mayores) en el Océano Atlántico se desarrollaron 21 ciclones tropicales, por lo tanto el 23.8 % evolucionó a partir de una OT, mientras que sobre el Pacífico Noreste de los 21 ciclones tropicales (tomando en cuenta a la tormenta *Akoni*, debido a que antes de ser tormenta tropical fue la DT *12-E*, el 47.6 % se formó asociado a una onda tropical.

Tabla 4
Lista de las ondas tropicales que se asociaron con el desarrollo de ciclones tropicales durante la temporada 2019.

N° de Onda Tropical (OT)	Periodo de actividad (día-día/mes)	Ciclón tropical (CT) asociado	Categoría Máxima del CT (Saffir-Simpson)	Vientos máximos sostenidos (km/h)	Presión Mínima (mb)	Impacto en México
8	18-30/jun.	Barbara	4	250	930	No
14	28/jun.-12/jul.	4-E	DT	55	1006	No
11-12	1-6/jul.	Cosme	TT	85	1001	No
19	15-27/jul.	Erick	4	215	952	No
26	25/jul.-11/agto.	Henriette	TT	75	1003	No
33	19/agto.-1/sept.	Juliette	3	205	953	No
39	31/agto.-17/sept.	Gabrielle	TT	90	999	No
		Lorena	1	140	985	**Si**
38	3-17/sept.	Mario	TT	110	991	No
36	8-12/sept.	Kiko	4	215	950	No
S/N	13-17/sept.	Jerry	2	165	976	No
S/N	15-22/sept.	Karen	TT	75	1002	No
S/N	21-22/sept.	Lorenzo	5	260	925	No
S/N	13-21/oct.	15	DT	55	1006	No
53	4-15/nov.	21-E	DT	55	1006	No

5. Frentes Fríos

La temporada de frentes fríos inicia en septiembre y finaliza en mayo del siguiente año de acuerdo con la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CGSMN), por lo que, durante un año calendario se contabilizan sistemas frontales de dos temporadas, como se observa en la Figura 34.

Durante el año 2019, una de estas temporadas inició en septiembre de 2018 y finalizó en mayo de 2019, mientras que la segunda terminará hasta mayo de 2020. En los meses de junio a agosto es viable el ingreso de al menos uno frente frío al país, por lo que se consideran fuera de temporada, pero forman parte del conteo anual (barras grises en la Figura 34).

EL periodo más activo de la temporada de frentes fríos ocurre entre los meses de noviembre a marzo (el 68.2% de los eventos de acuerdo a la climatología 1981-2010). Durante la temporada 2018-2019 para este periodo se registró el ingreso de 40 sistemas frontales, 10 más que el promedio entre noviembre y marzo del periodo 1981-2010 (Figura 35). La temporada con el mayor número de registros continua siendo la de 2015-2016 con 42 frente fríos.

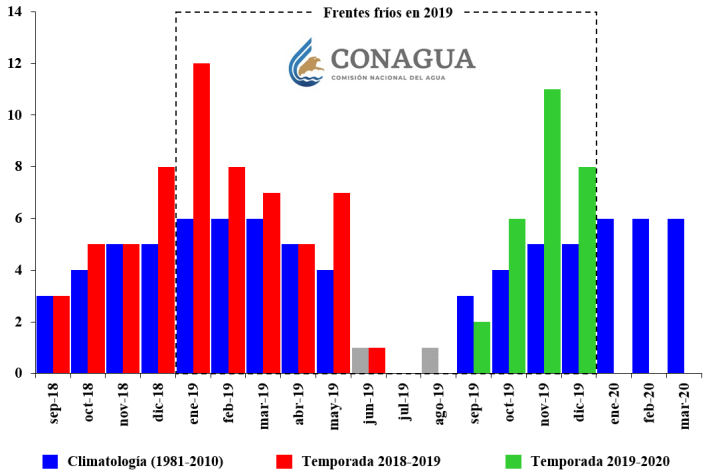


Figura 34. Número de frentes fríos en el año 2019 y climatología 1981-2010.

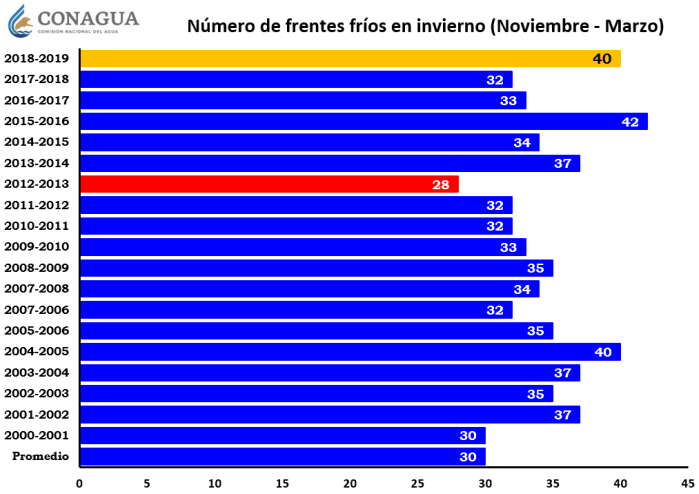


Figura 35. Número de frentes fríos en los meses entre noviembre y marzo en el periodo 1981-2010. Fuente: CGSMN.

Temporada septiembre 2018-mayo 2019

En enero de 2019 se numeraron 12 frentes fríos, 6 más que la climatología 1981-2010.

Frente frío Núm. 29 (17-21 de enero)

Fue el frente frío que provocó la temperatura más baja durante el año (debido al paso de un sistema frontal) a nivel nacional. Comenzó como una masa de aire fría marítima que ingresó al país por el norte del estado de Baja California la noche del 17 de enero. Reforzado por una nueva masa de aire frío continental alcanzó rápidamente la costa central de Veracruz la tarde del día 19 y favoreció un evento de "norte" sobre la costa de Tamaulipas y Veracruz. Al día siguiente por la mañana se extendió desde Sonora hasta la Península de Yucatán. Finalmente se disipó sobre el Mar Caribe al anochecer del 21 de enero.

A través de su pasó por el territorio nacional, el sistema frontal provocó un acumulado máximo de precipitación de 54.0 mm del 17 al 20 de enero en Chiapas, una temperatura mínima (Figura 36) de –15.0 °C en Zayaleta, Veracruz el 21 de enero (ese día la escasa humedad y las bajas temperaturas provocaron el registro de heladas sobre la zona montañosa central de Veracruz), ráfagas de viento máximas sobre Monterrey, nuevo León de hasta 76.0 km/h el 19 de enero y un gradiente de disminución en la temperatura sobre Palenque, Chiapas de 11.0 °C del 19 al 20 de enero.

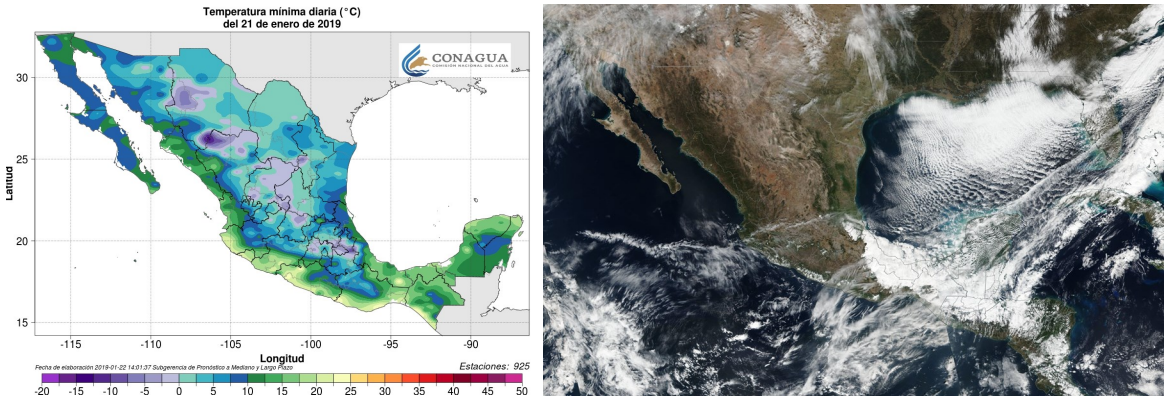


Figura 36. (Izquierda) Mapa de la distribución de las temperaturas mínimas del día 21 de enero de 2019. (Derecha) Imagen satelital del Frente frío No. 29 el día 20 de enero de 2019, tomada mediante el instrumento VIIRS del Satélite Suomi NNP de la NASA.

En febrero de 2019 se numeraron 8 frentes fríos, 2 más que la climatología 1981-2010.

Frente frío Núm. 36 (10-13 de febrero)

Fue el frente frío que provocó la ráfaga más intensa durante el año (debido al paso de un sistema frontal) a nivel nacional. Comenzó como una masa de aire fría marítima que ingresó al país por el extremo noroeste de Baja California la noche del 10 de febrero. Durante los siguientes días el sistema frontal se desplazó sobre el norte de México hasta que en la tarde del 12 de febrero alcanzó la costa de Tabasco y provocó un fuerte evento de "norte" sobre la vertiente del Golfo de México, ese día se registraron lluvias intensas sobre Quintana Roo, debido a la interacción del frente frío y una línea de vaguada (no prefrontal) en la Península de Yucatán (Figura 37). A la mañana del siguiente día se extendió desde San Luis Potosí hasta la Península de Yucatán. Finalmente por la tarde del día 13 de febrero el sistema frontal abandonó el sur del país rumbo al Mar Caribe.

A través de su pasó por el territorio nacional, el sistema frontal provocó un acumulado máximo de precipitación de 249.4 mm del 11 al 13 de febrero en Quintana Roo (Figura 37, derecha), una temperatura mínima de –9.0 °C en Peñitas, Chihuahua el 12 de febrero y ráfagas de viento máximas sobre la Administración Portuaria Integral de Veracruz de hasta 119.0 km/h el 12 de febrero.

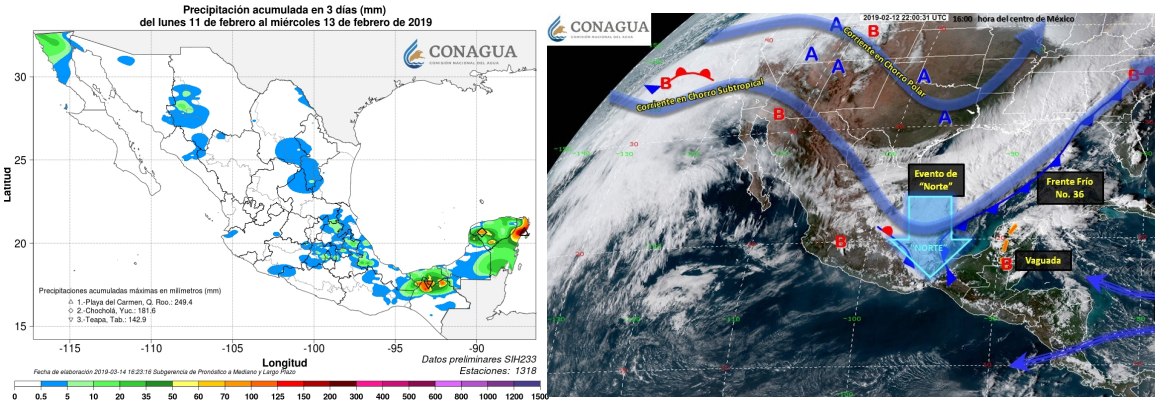


Figura 37. (Izquierda) Mapa de la distribución de las precipitaciones del 11 al 13 de febrero de 2019. (Derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos de la tarde del 12 de febrero de 2019. Imagen interpretada del la subgerencia de meteorología del SMN. Mapa de lluvias elaborado con datos del Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA.

En marzo de 2019 se numeraron 7 frentes fríos, uno más que la climatología 1981-2010.

Frente frío Núm. 44 (11-21 de marzo)

Comenzó como una masa de aire fría marítima, que ingresó al país por la Península de Baja California la noche del 11 de marzo, la cual se asociaba a la décima tormenta invernal. Durante los siguientes días el frente frío atravesó el norte del país, hasta que en la tarde del 15 de marzo alcanzó la costa de Tabasco y provocó un evento de "norte" sobre la vertiente del Golfo de México (Figura 38). Desde ese día al 19 de marzo por la mañana se mantuvo sobre el sur de México en condiciones estacionarias. Por la tarde afectó la Península de Yucatán. Finalmente abandonó la región y surgió al Mar Caribe el día 20.

A través de su pasó por el territorio nacional, el sistema frontal provocó un acumulado máximo de precipitación de 293.4 mm del 12 al 21 de marzo en Chiapas (Figura 38), una temperatura mínima de –12.0 °C en La Rosilla, Durango, el 14 de marzo, ráfagas de viento máximas sobre Tampico, Tamaulipas. de hasta 56.0 km/h. el 14 de marzo y un gradiente de disminución en la temperatura sobre Ciudad Victoria, Tamaulipas de 13.0 °C del 14 al 15 de marzo.

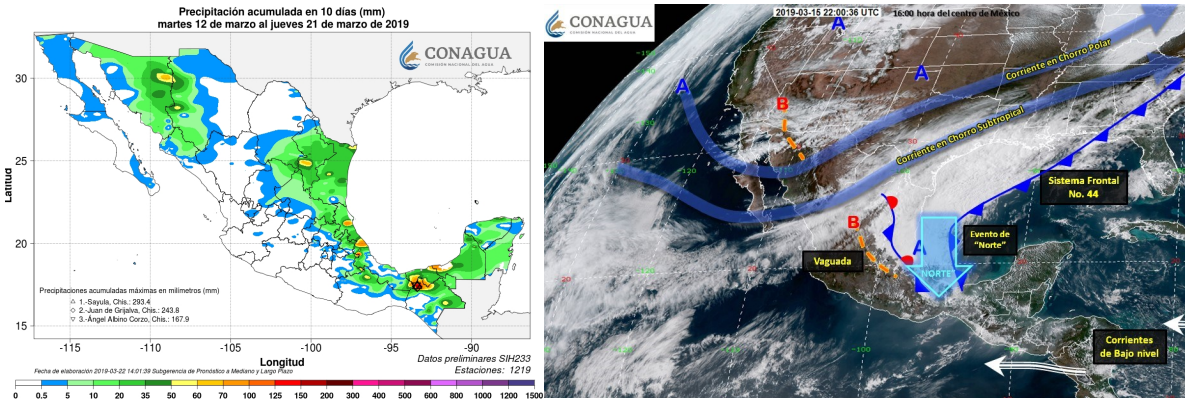


Figura 38. (Izquierda) Mapa de la distribución de las precipitaciones del 12 al 21 de marzo de 2019. (Derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos de la tarde del 15 de marzo de 2019. Imagen interpretada del la subgerencia de meteorología del SMN. Mapa de lluvias elaborado con datos del Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA.

En abril de 2019 se numeraron 5 frentes fríos, cifra igual a la climatología 1981-2010.

Frente frío Núm. 52 (16-20 de abril)

Fue el primero de los dos frentes fríos que provocaron las granizadas más intensas al norte del país durante el año.

Comenzó como una masa de aire fría marítima que ingresó por el noroeste de México la noche del 16 de abril. Al día siguiente por la tarde el sistema frontal interaccionó con una línea seca, esta condición favoreció el desarrollo de una tormenta supercelda al noreste del estado de Coahuila y generó la caída de granizó del tamaño de pelotas de Béisbol sobre los municipios de Jiménez y Zaragoza.

La tarde del 18 de abril el frente frío alcanzó al Golfo de México (favoreciendo un evento de norte sobre la vertiente del Golfo de México) y al día siguiente por la mañana la Península de Yucatán. Finalmente abandonó al país la tarde del día 20 de abril. A través de su pasó por el territorio nacional, el sistema frontal provocó un acumulado máximo de precipitación de 36.5 mm del 16 al 19 de abril en Coahuila (Figura 39), una temperatura mínima de –6.0 °C en El Vergel, Chihuahua el 18 de abril, ráfagas de viento máximas sobre Tuxtla Gutiérrez, Chis. de hasta 67.0 km/h el 18 de abril y un gradiente de disminución en la temperatura sobre Campeche de 11.0 °C del 18 al 19 de abril.

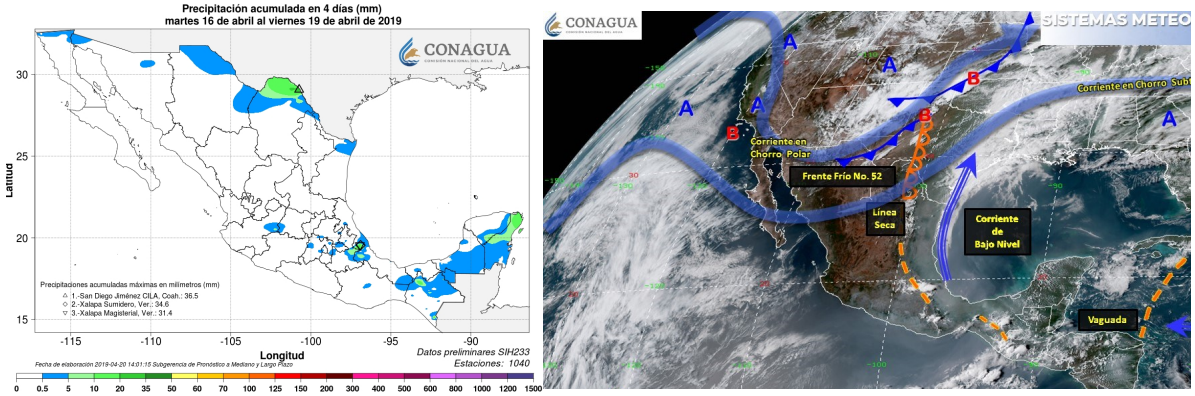


Figura 39. (Izquierda) Mapa de la distribución de las precipitaciones del 16 al 19 de abril de 2019. (Derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos de la tarde del 17 de abril de 2019. Imagen interpretada del la subgerencia de meteorología . Mapa de lluvias elaborado con datos del Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA.

En mayo de 2019 se numeraron 7 frentes fríos, tres más que la climatología 1981-2010.

Frente frío Núm. 55 (6-13 de mayo)

Fue el segundo frente frío que provocó las granizadas más intensas al norte del país durante el año.

Comenzó como una masa de aire fría marítima que ingresó al territorio nacional por el noroeste de Baja California la noche del 5 de mayo. En los siguientes días el frente frío comenzó a debilitarse sobre el noroeste de México, hasta que en la mañana del 9 de mayo una nueva masa de aire frío continental fue numerada como la continuidad del frente frío 55. Ese mismo día por la tarde al interaccionar con una línea seca (Figura 40) al norte de Coahuila provocó fuertes granizadas sobre Nuevo León.

En los días consiguientes el sistema frontal se estacionó sobre el noreste del territorio nacional hasta que finalmente abandonó la región la mañana del 14 de mayo y se adentró al norte del Golfo de México. A través de su pasó por México, el sistema frontal provocó un acumulado máximo de precipitación de 170.1 mm del 5 al 14 de mayo en Nuevo León (Figura 40), una temperatura mínima de –2.0 °C en Tejolocachi, Chih. el 9 de mayo y un gradiente de disminución en la temperatura sobre Piedras Negras, Coahuila de 14.0 °C del 9 al 10 de mayo.

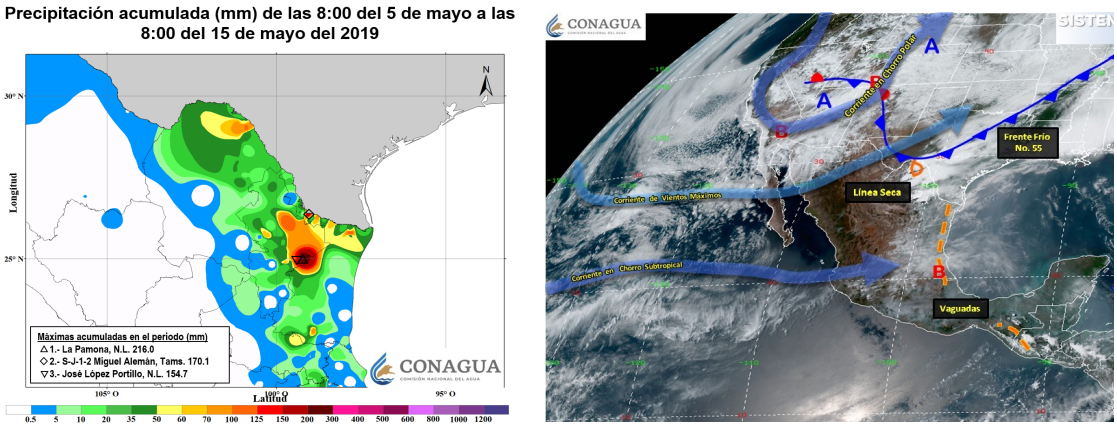


Figura 40. (Izquierda) Mapa de la distribución de las precipitaciones del 5 al 14 de mayo de 2019. (Derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos de la tarde del 9 de mayo de 2019. Imagen interpretada del la subgerencia de meteorología del SMN. Mapa de lluvias elaborado con datos del Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA.

Temporada septiembre 2019—mayo 2020

En septiembre de 2019 se numeraron dos frentes fríos, uno por debajo de la climatología 1981-2010.

Frente frío Núm. 1 (23-24 de septiembre)

Comenzó como una masa de aire frío marítimo que ingreso al territorio nacional, la tarde del 23 de septiembre por el extremo noroeste del estado de Baja California. Al amanecer del día 24 este sistema se localizó sobre el norte del estado de Sonora y posteriormente en las siguientes horas el frente frío se mantuvo sobre el norte de los estados de Baja California y de Sonora. Finalmente este evento de corta duración se disipó por la madrugada del 25 de septiembre. A través de su pasó por el territorio nacional, el sistema frontal provocó un acumulado máximo de precipitación de 164.5 mm, del 23 al 24 de septiembre en Sonora (Figura 41), una temperatura mínima de –2.9 °C en la estación Constitución de 1857, del estado de Baja California el 24 de septiembre.

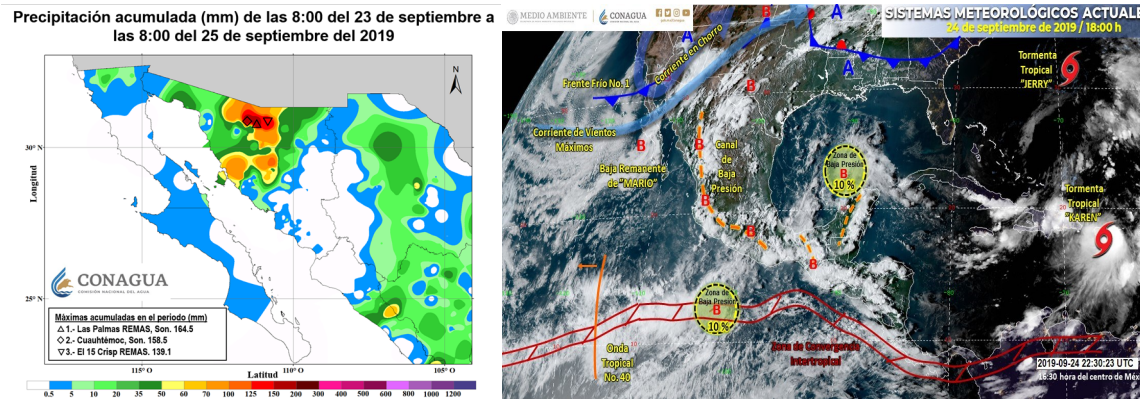


Figura. 41. (izquierda) Mapa de la distribución de las precipitaciones del 23 al 24 de abril de 2019. (Derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos de la tarde del 17 de abril de 2019. Imagen interpretada del la subgerencia de meteorología del SMN. Mapa de lluvias elaborado con datos del Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA.

En octubre de 2019 se numeraron 6 frentes fríos, dos más que la climatología 1981-2010.

Frente frío Núm. 6 (20-24 de octubre)

Comenzó como una masa de aire fría marítima que ingresó al país por el norte de Sonora, el día 20 de octubre. En los días siguientes se desplazó por el norte y noreste de México hasta que alcanzó la costa central de Veracruz, la tarde del 22 de octubre (Figura 42), ese día se produjeron fuertes lluvias sobre Tamaulipas. Al día siguiente comenzó a interaccionar con una zona de inestabilidad (que posteriormente evolucionaría en la tormenta tropical *Olga*).

Finalmente, el frente frío abandonó el territorio nacional y se disipó la tarde del 24 de octubre sobre el norte del Golfo de México. A través de su pasó por el territorio nacional, el sistema frontal provocó un acumulado máximo de precipitación de 313.4 mm del 21 al 23 de octubre en Tamaulipas (Figura 42), una temperatura mínima de –4.5 °C en La Rosilla, Durango el 22 de octubre y un gradiente de disminución en la temperatura sobre Ciudad Victoria, Tamaulipas de 11.0 °C del 21 al 22 de octubre.

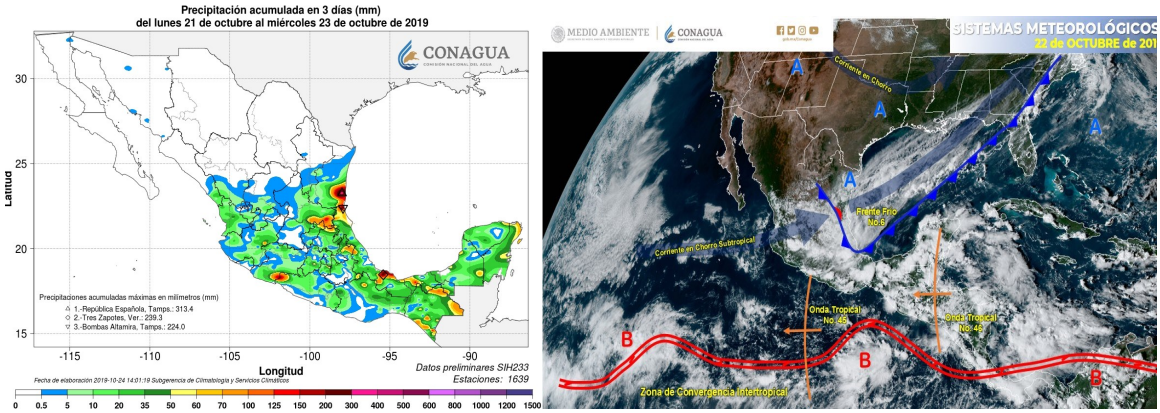


Figura 42. (Izquierda) Mapa de la distribución de las precipitaciones del 21 al 23 de octubre de 2019. (Derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos de la tarde del 22 de octubre de 2019. Imagen interpretada proporcionada por el Centro Nacional de Previsión del Tiempo (CNPT) del SMN. Mapa de lluvias elaborado con datos del Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA.

En noviembre de 2019 se numeraron 11 frentes fríos, 6 más que la climatología 1981-2010.

Frente frío Núm. 23 (11-14 de noviembre)

Fue el frente frío que provocó el gradiente más intenso de disminución en la temperatura (por efecto de un sistema frontal) durante el año.

Comenzó como una masa de aire fría continental que ingresó al territorio nacional por el norte del estado de Coahuila, la tarde del 11 de noviembre y se asociaba a la primera tormenta invernal de la temporada 2019-2020. Por la tarde del 12 alcanzó la costa sur de Veracruz y produjo un evento de "norte" sobre la vertiente del Golfo de México (Figura 43). A la mañana siguiente alcanzó a la Península de Yucatán y finalmente la tarde del día 14 con características estacionarias fue alcanzado y sustituido por el sistema frontal número 13.

A través de su pasó por el territorio nacional, el sistema frontal provocó un acumulado máximo de precipitación de 246.8 mm del 11 al 14 de noviembre en el estado de Tabasco (Figura 43), una temperatura mínima de –3.5 °C en la estación La Rosilla, Durango el 18 de abril, ráfagas de viento máximas sobre Veracruz de hasta 110.0 km/h el 12 de noviembre y un gradiente de disminución en la temperatura sobre Nuevo Laredo, Tamaulipas de 27.0 °C del 11 al 12 de noviembre.

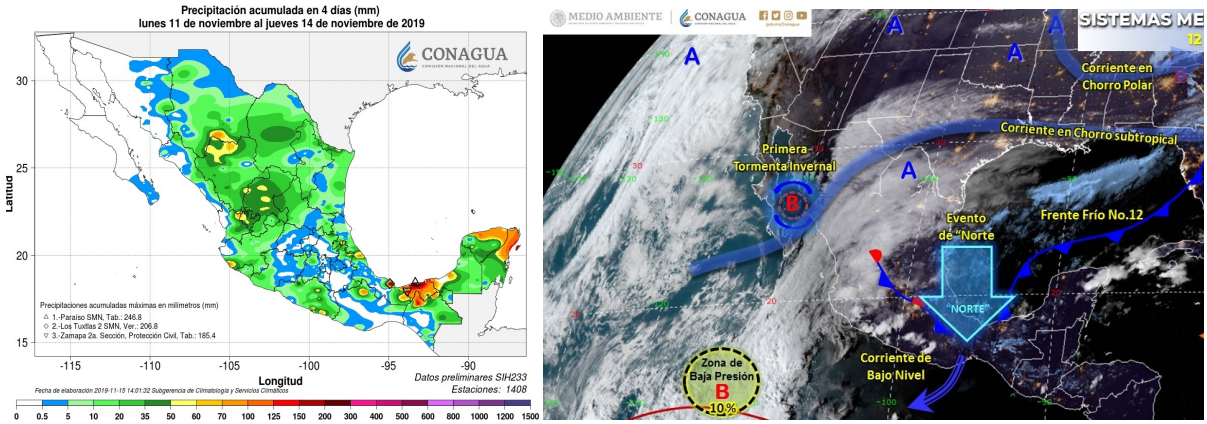


Figura 43. (Izquierda) Mapa de la distribución de las precipitaciones del 11 al 14 de noviembre de 2019. (Derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos de la tarde del 12 de noviembre de 2019. Imagen interpretada proporcionada por el Centro Nacional de Previsión del Tiempo (CNPT) del SMN. Mapa de lluvias elaborado con datos del Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA.

En diciembre de 2019 se numeraron 8 frentes fríos, tres más que la climatología 1981-2010.

Frente frío Núm. 23 (14-19 de diciembre)

Fue el frente frío que provocó el acumulado máximo de precipitación durante el año (debido al paso de un sistema frontal) a nivel nacional.

Comenzó como una masa de aire fría marítima que ingresó al país por el extremo noroeste de Baja California la madrugada del 15 de diciembre. Al día siguiente una nueva masa de aire fría continental reforzó al frente frío 23. Durante los siguientes días se desplazó sobre el norte y noreste del territorio nacional, hasta que en la tarde del 17 de diciembre alcanzó la costa de Tabasco y produjo un evento de "norte" sobre la vertiente del Golfo y el istmo de Tehuantepec (Figura 44). A la mañana siguiente ingresó a la Península de Yucatán y finalmente dejo de afectar al país la noche del 19 de diciembre.

A través de su pasó por el territorio nacional, el sistema frontal provocó un acumulado máximo de precipitación de 366.2 mm del 16 al 19 de diciembre al norte de Chiapas (Figura 44), una temperatura mínima de 13.0 ° C en la estación Navíos Viejos, Durango el 18 de diciembre, ráfagas de viento máximas sobre Veracruz de hasta 86.0 km/h el día 19 y un gradiente de disminución en la temperatura sobre Matamoros, Tamaulipas de 17.0 °C del 16 al 17 de diciembre.

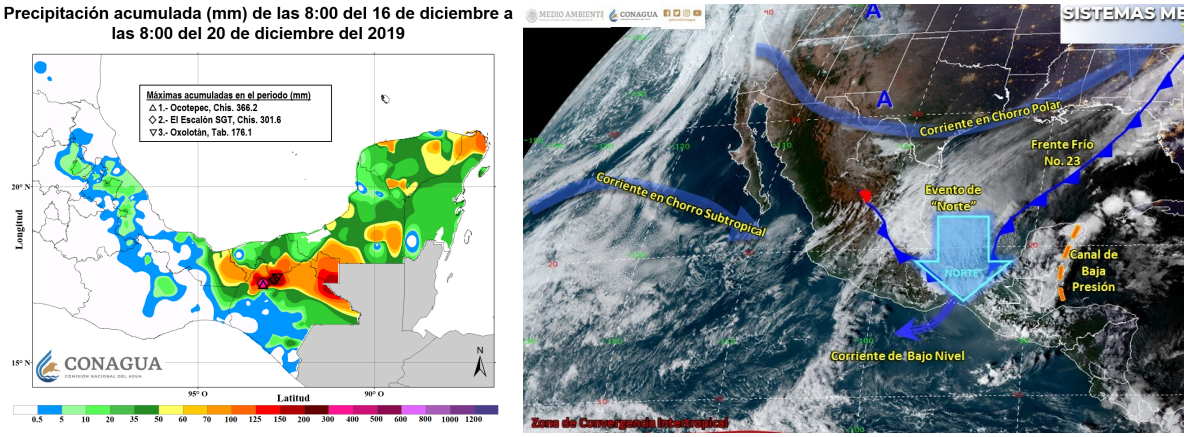


Figura 44. (Izquierda) Mapa de la distribución de las precipitaciones del 16 al 19 de diciembre de 2019. (Derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos de la tarde del 17 de diciembre de 2019. Imagen interpretada proporcionada por el Centro Nacional de Previsión del Tiempo (CNPT) del SMN. Mapa de lluvias elaborado con datos del Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA.

6. Sequía

El año de 2019 se caracterizó por la sequía que tuvo lugar durante el verano en los estados ubicados en la vertiente del golfo de México. A nivel nacional, en 2019 el mayor porcentaje de área con sequía de moderada a excepcional (D1-D4) se registró al 15 de agosto y fue de 31.4 %, mientras que el menor porcentaje de estas categorías de sequía se observó a inicios del año con 6.5 % (Figura 45).

En enero de 2019 las áreas con sequía se concentraron al oriente del país y en regiones de los estados de Baja California Norte, Guerrero y Oaxaca (Figura 46, izquierda); en el balance nacional, ese mes se clasificó como el 27° más seco en los registros de lluvia desde 1941. Los dos meses siguientes, febrero y marzo de 2019, se ubicaron como el 32° más seco y el 26° más húmedo. Aunque climatológicamente estos meses son parte de la temporada de estiaje, algunas regiones del país registran lluvias principalmente por el paso de sistemas frontales, sin embargo, en 2019 la mayor parte del país se mantuvo con anomalías por debajo del promedio. Las condiciones de déficit de precipitación continuaron en el mes de abril, que destacó como el 2° abril más seco en los registros desde 1941 y el 8° más cálido desde 1953, lo que favoreció que las áreas con sequía se extendieran, cubriendo una mayor área del territorio nacional en comparación con lo que se diagnosticó al principio de este año.

Al inicio de la temporada de ciclones tropicales en el océano Pacífico (15 de mayo), las regiones con sequía de moderada a extrema (D1 – D3) se localizaron en los estados de la vertiente del Golfo de México, mientras que la sequía moderada (D1) se observó en la vertiente del Pacífico Mexicano, dicha categoría (D1) también se extendió en el centro norte del país. En el verano, con el establecimiento de la temporada de ciclones tropicales en ambas cuencas (océano Pacífico y Atlántico) se espera normalmente el ingresó de humedad en México, sin embargo, los meses de junio a agosto de 2019 se ubicaron dentro del rango de los más secos, julio de 2019 sobresalió como el segundo julio más seco en los registros históricos.

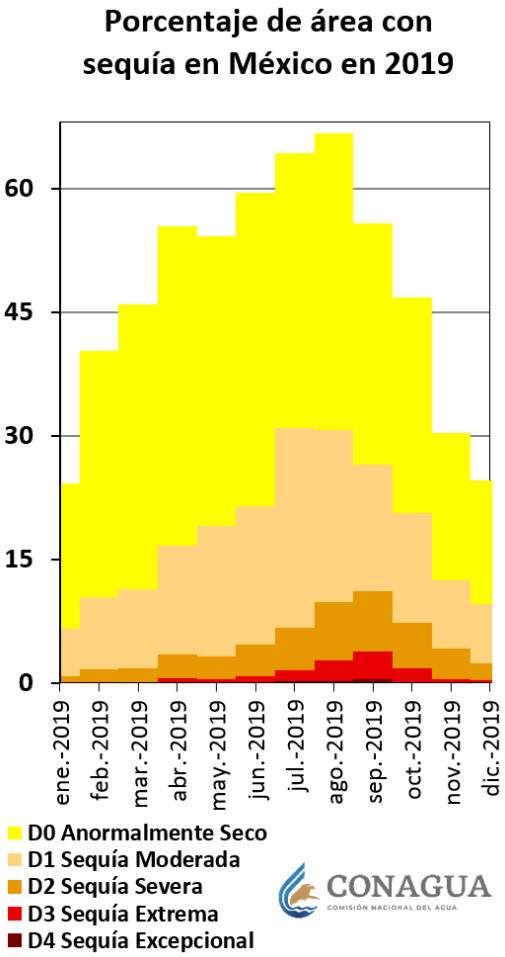


Figura 45. Porcentaje de área afectada con sequía a nivel nacional de enero a diciembre de 2019. recuperado del Monitor de Sequía en México. Servicio Meteorológico Nacional-CONAGUA.

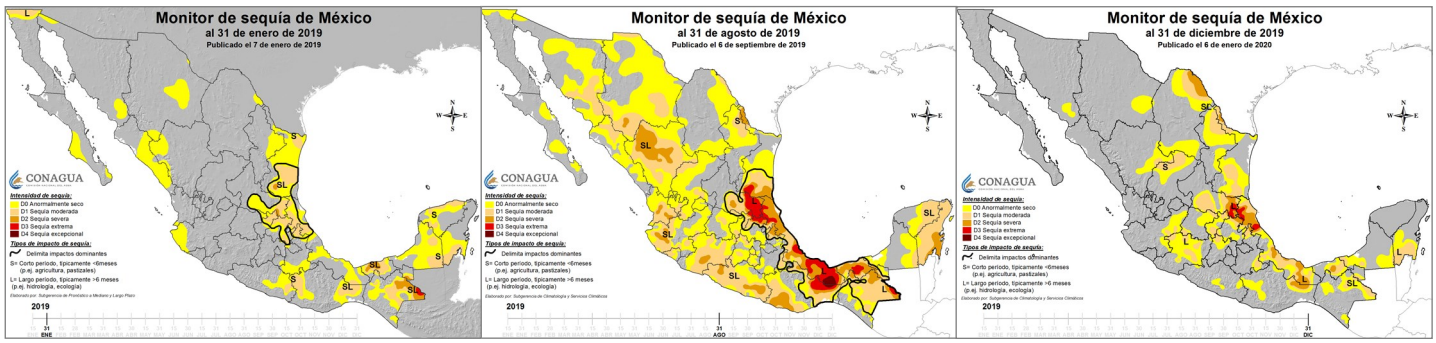


Figura 46. Mapas del Monitor de Sequía en México: (Izquierda) al 31 de enero de 2019, (Central) al 31 de agosto de 2019, y (Derecha) al 31 de diciembre de 2019. Fuente: Monitor de Sequía en México. Servicio Meteorológico Nacional-CONAGUA.

El trimestre junio-julio-agosto se clasificó como el 3° más seco, durante este período ningún ciclón tropical ingresó al territorio nacional y las ondas tropicales se desplazaron alejadas del sur del territorio nacional. Estas condiciones ocasionaron que durante el mes de agosto (Figura 46, central) y la primera mitad del mes de septiembre se desarrollaran condiciones de sequía excepcional (D4) al sur de Veracruz y en la región de Las Huastecas, estás regiones fueron las más afectada por sequía en 2019.

El último cuatrimestre del año, fue el periodo que dejó lluvias por arriba del promedio que ayudaron a mejorar las condiciones de sequía que se observaron durante la primavera y el verano de 2019. En septiembre ingresó la tormenta tropical *Fernand* en el noreste del país, y las tormentas tropicales Lorena y *Narda* en el Pacífico Mexicano. En octubre el ciclón tropical potencial 17-E y la tormenta tropical *Priscilla* también aportaron humedad en el sur y occidente del territorio nacional. Mientras que en noviembre el evento de "río atmosférico" aportó precipitaciones importantes en el noroeste del país. Gracias a las benéficas lluvias al 31 de diciembre de 2019, las áreas con sequía de moderada a extrema (D1-D3) disminuyeron 21.1 % con respecto a agosto de 2019, y desapareció la sequía excepcional (D4), (Figura 46, derecha).

La sequía que se observó durante el año de 2019, afectó principalmente a los siguientes estados: San Luis Potosí, donde se registró por primera vez, dentro de las estadísticas del Monitor de sequía (2003-2019), la categoría de sequía excepcional (D4). Sin embargo, en el año 2011 una mayor superficie del territorio de este estado tenía condiciones de sequía desde moderada a extrema (D1-D3), (Figura 47); Veracruz, en este estado también se observó por primera vez la categoría de sequía excepcional (D4). De acuerdo a las estadísticas del Monitor de sequía (2003-2019), en el verano de 2019 para este estado, se registraron las mayores intensidades de sequía, así como la mayor persistencia y superficie afectada por este fenómeno (Figura 47); Tabasco, la máxima categoría de sequía que se cuantificó en esta entidad fue la sequía excepcional (D3), aunque ha sido un período de largo de sequía (mayor a 15 meses), entre 2009 y 2010 se observaron mayores superficies e intensidades de sequía (Figura 47).

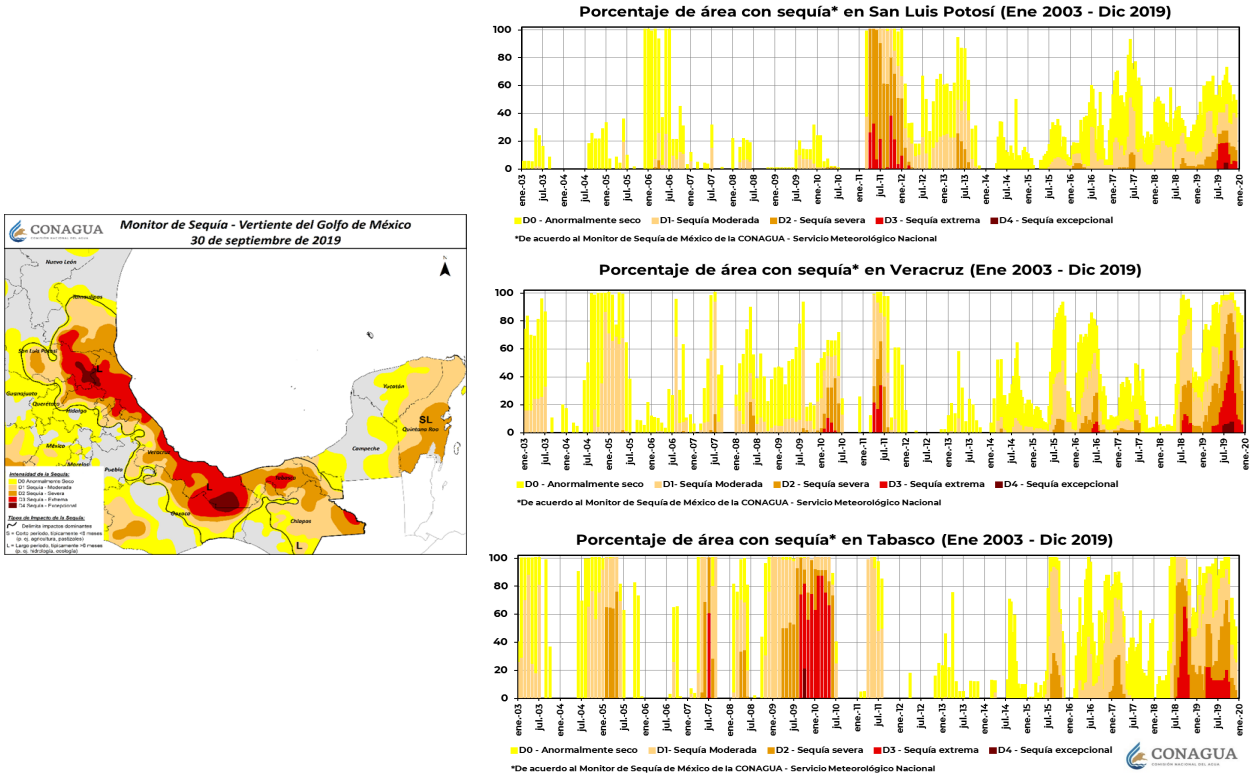


Figura 47. (Izquierda) Monitor de sequia en la región de la vertiente del Golfo de México al 30 de septiembre de 2019. (Derecha) Porcentaje de área con sequía en San Luis Potosí, Veracruz y Tabasco de enero de 2003 a diciembre de 2019. Fuente: Monitor de Sequía en México. Servicio Meteorológico Nacional-CONAGUA.

7. Temperatura

La temperatura media a nivel nacional el año 2019 fue de 22.4 °C, registrando 1.5 °C por arriba de la normal climatológica 1981-2010, este valor continua con la tendencia en el incremento de la temperatura media desde el año 2011.

En 2019 se presenció un descenso en la precipitación (para mayor información del comportamiento de esta variable consultar la sección "Precipitación", condición favorable para considerarlo un año cálido y seco como se aprecia en la Figura 48.

En la Figura 49, se puede observar un gráfico de barras, en donde la barra en color rojo indica que el año 2019 igualó junto con 2016 como el segundo año más cálido, sin embargo, 2017 continúa siendo el año más cálido, lo anterior de acuerdo con la información disponible desde 1953.

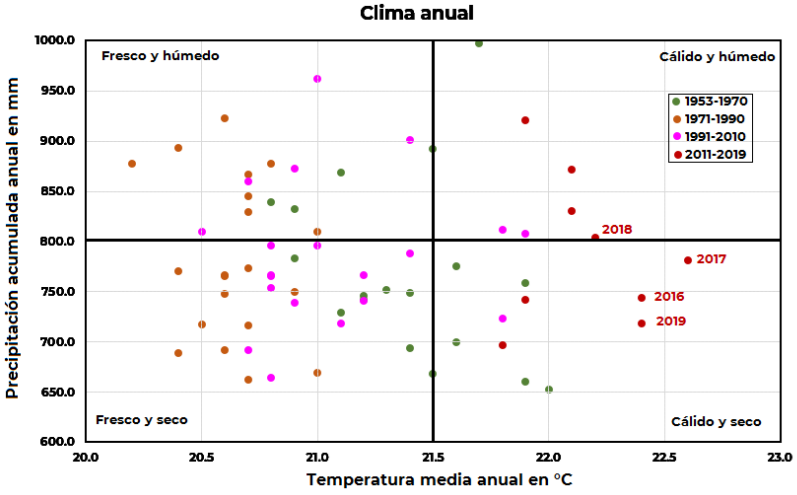


Figura 48. Clasificación del clima respecto a la precipitación y temperatura media anual a nivel nacional. Con información disponible al 31 de diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA. Cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

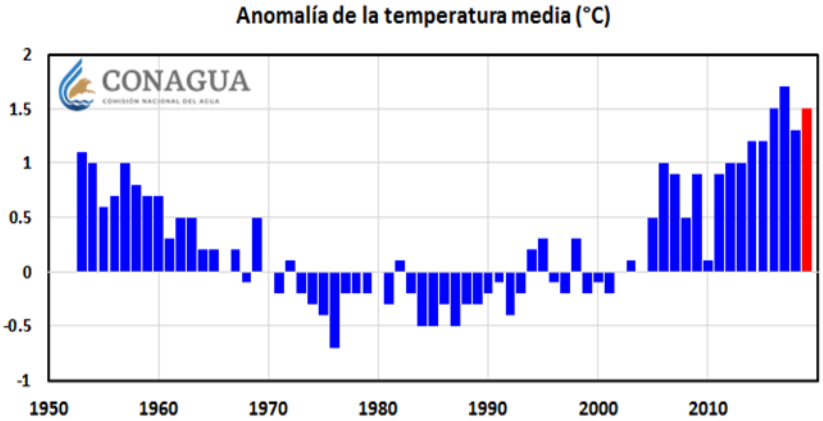


Figura 49. Anomalía de la temperatura media anual en grados Celsius (°C), la barra en color rojo corresponde a la anomalía nacional estimada en 2019. Elaborado en base a las estimaciones desde 1953 del Servicio Meteorológico Nacional.

En la Figura 50, se observa que de enero a diciembre de 2019 cada uno de los meses se ubicó por arriba de su climatología, este mismo patrón se ha repetido en tres ocasiones, para los años 2005, 2006 y 2017.

El mes más cálido del año fue agosto, en el que se registró un promedio nacional de 27.0 °C y una anomalía de 3.3 °C por arriba de su promedio, valor que además es considerado el más alto respecto a los demás meses. Adicionalmente, agosto de 2019 se consideró como el mes más cálido comparado contra los demás meses de agosto y el más cálido de respecto a cualquier mes del registro histórico nacional desde 1953.

Opuesto a esto, climatológicamente el mes menos cálido del año fue enero, en el que se registró un promedio de temperatura nacional de 16.6 °C y una anomalía positiva de 0.1 °C.

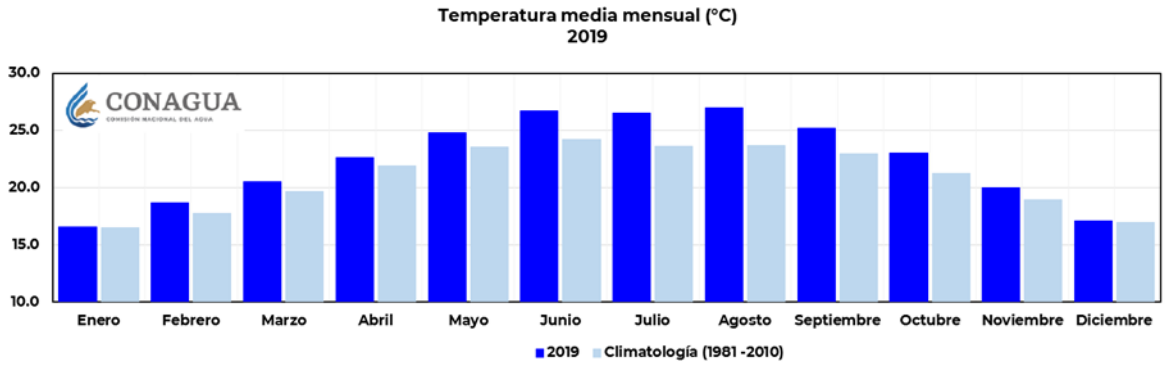


Figura 50. Temperatura media mensual durante 2019 comparada con su climatología. Elaborado con información disponible al 31 de diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA y el registro histórico desde 1953. Cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

El seguimiento diario de temperatura mostrado en la Figura 51, ubica los valores más altos en el mes de junio, inclusive quedando por arriba del umbral de dos desviaciones estándar. Considerando que el verano es la época más calurosa para México, comprendida dentro de los meses de junio a septiembre, el verano de 2019 fue considerado como el verano más cálido quedando por arriba del verano de 2017, año mencionado anteriormente como el más cálido.

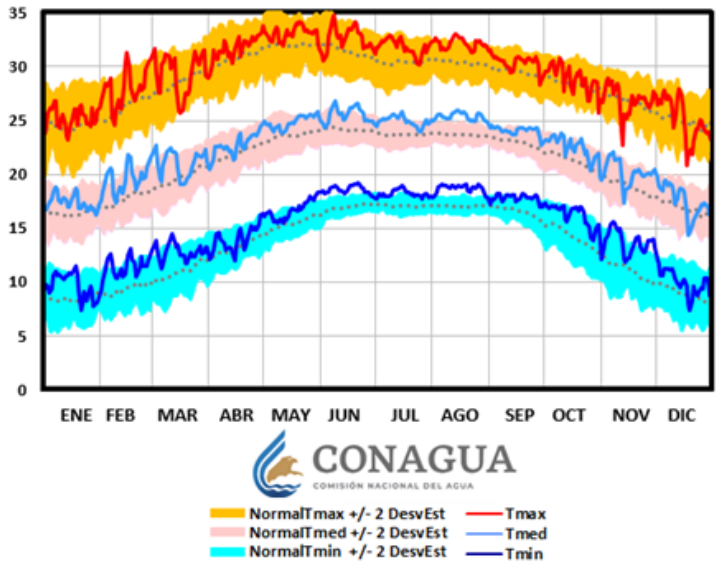


Figura 51. Marcha diaria de la temperatura a nivel nacional (°C) de enero a diciembre de 2019. Los umbrales para las desviaciones estándar fueron calculados con respecto a la normal 1971-2000. Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

A lo largo del año, las condiciones cálidas sobre las costas de los estados de Jalisco hasta Chiapas permanecieron por arriba de los valores promedios de temperatura de 25.0 °C, cubriendo a partir del mes de marzo la Península de Yucatán, posteriormente avanzando a través del litoral del Golfo de México hacia el noreste y noroeste, estas últimas regiones para los meses de junio a septiembre alcanzaron promedios por arriba de 35.0 °C principalmente en Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.

Los valores promedio dentro del rango de 10.0 °C a 15.0 °C, se pudieron observar al sur de Chihuahua, norte de Durango y sobre el corredor del Eje Neovolcánico Transversal, para Estado de México, Ciudad de México, Tlaxcala y Puebla. De acuerdo con la Figura 52, los valores de anomalía por arriba del promedio climatológico 1981-2010 se registraron en regiones puntuales del noreste de Chihuahua, noroeste de Durango, sobre la Sierra Madre Oriental en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo, de manera opuesta los valores de anomalía de -3.0 °C por debajo del promedio se localizaron sobre la Sierra Madre del Sur en occidente de Michoacán, norte de Guerrero, poniente y centro de Chiapas.

Con valores promedios de 15.0 °C a 26.0 °C, doce estados registraron su año más cálido: Aguascalientes, Colima, Chiapas, Ciudad de México, Hidalgo, Jalisco, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tlaxcala y Zacatecas.

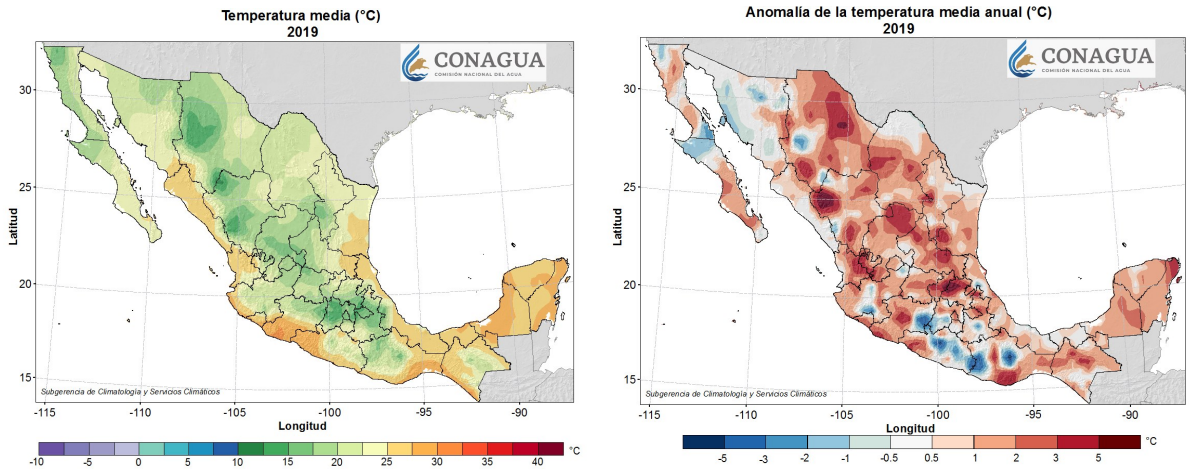


Figura 52. (Izquierda) Temperatura media y (Derecha) anomalía de temperatura media en 2019. Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

7.1 Frecuencia de días fríos y cálidos

7. 1. 1 Número de días con temperatura mínima igual o menor a 0°C

En 2019, los periodos de enero-marzo y octubre-diciembre presentaron más de 70 días con condiciones de temperatura mínima igual o menor a 0 °C también conocidos como días con heladas, sin embargo en la Figura 53 se puede apreciar que en comparación a la extensión del territorio nacional, dichos valores ocuparon una área mayor para el primer periodo, centrándose en los estados de Sonora, Chihuahua y Durango en los que se observaron hasta 90 días con estos valores en los registros diarios. Además, esta cantidad de días en comparación con el año anterior, aumentó para la misma región del norte de Durango en donde se registraron 75 días.

De 10 a 30 días con helada se presentaron al centro y norte de Baja California, norte de Sonora, Coahuila, Zacatecas, poniente de San Luis potosí, sur de Nuevo León, estado de México, Tlaxcala y centro de Puebla (Figura 53).

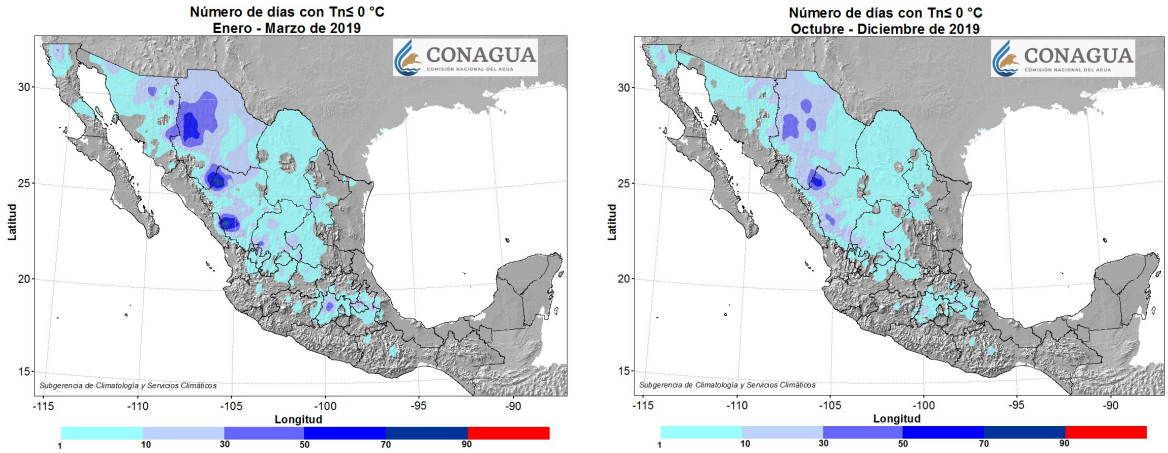


Figura 53. Cantidad del número de días con heladas (temperatura mínima diaria igual o menor a 0°C). (Izquierda) de enero a marzo y (Derecha) de octubre a diciembre. Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

Veintiún entidades del país presentaron registros de temperatura mínima con valores iguales o menores a 0.0 ° C. El valor extremo fue de -17.0 °C en la estación La Rosilla, Durango el día 24 de febrero, sin embargo dicho valor no superó al mínimo histórico de -30.0 °C reportado en la estación Villa Ahumada, Chihuahua el día 11 de enero de 1962. Continuando con los valores extremos mínimos mensuales está el registrado el 21 de enero de -15.0 en la estación Zalayeta, Veracruz; -13.0 °C el día 3 de enero también en la estación Yécora, Sonora. La Tabla 5 muestra más valores mínimos extremos a nivel estatal durante 2019.

Tabla 5
Temperatura mínima extrema a nivel estatal durante 2019.

Edo.	Tn	Estación	Día	Edo.	Tn	Estación	Día
Ags.	-6.0	Calvillo	09/01/2019	Mor.	-0.6	Tres Marías*	31/01/2019
B. C.	-8.6	Agua Hechicera	20/02/2019	Nay.	6.0	Jesús María	04/01/2019
B. C. S.	0.0	Díaz Ordaz	09/02/2019	N. L.	-7.5	San Rafael	24/01/2019
Camp.	8.3	Calakmul*	29/01/2019	Oax.	-4.0	Ayutla	20/01/2019
Ciudad de México	1.0	Kilómetro 6+250	21/12/2019	Pue.	-10.0	Alchichilca	21/01/2019
Chih.	-13.0	Peñitas	03/01/2019	Qro.	0.5	San Ildefonso	09/01/2019
Chis.	2.0	Puente Morelos	02/01/2019	Q. Roo	10.2	Observatorio de Felipe Carrillo Puerto	21/01/2019
Coah.	-8.3	Observatorio de Piedras Negras*	23/12/2019	Sin.	0.5	Sanalona hidrométrica	01/01/2019
Col.	9.0	La Esperanza	30/01/2019	S. L. P.	-3.0	Valentín Gama	14/12/2019
Dgo.	-17.0	La Rosilla	24/02/2019	Son.	-13.0	Yécora	03/01/2019
Gro.	6.0	Olinalá	21/01/2019	Tab.	13.2	Cañón Usumacinta*	26/12/2019
Gto.	-5.0	San Luis de la Paz	21/01/2019	Tamps.	-1.0	Abasolo	24/01/2019
Hgo.	-4.0	La Esperanza	09/01/2019	Tlx.	-10.0	El Carmen Tequexquitla	21/01/2019
Jal.	-7.0	San Gaspar de los Reyes	28/01/2019	Ver.	-15.0	Zalayeta	21/01/2019
Mex.	-9.0	Santa María del Llano	01/01/2019	Yuc.	5.0	Oxkutzcab	29/01/2019
Mich.	-3.0	Melchor Ocampo	18/12/2019	Zac.	-9.0	El Saladillo	28/01/2019

Nota. Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la Conagua, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente. *Automática CONAGUA, **Automática CFE ***Automática INIFAP.

7. 1. 2 Número de días con temperatura máxima (Tx) igual o mayor a 40 °C

El conteo de días calurosos registrados durante 2019, se consideró en dos periodos abril-junio y julio-septiembre.

El periodo considerado de abril a junio, resultó el más cálido al tener un mayor número de estados que presentaron dichas condiciones y que disminuyeron una vez iniciada la temporada de lluvias en nuestro país, En la Figura 54 a la izquierda se observa que en el sur y sureste del país, para este periodo, se registraron más de 20 días con temperaturas diarias de 40.0 °C. Al sur de Veracruz y Yucatán se contabilizaron más de 30 días. Por otro lado, en regiones puntuales de los límites entre Jalisco y Michoacán y noroeste de Guerrero se registraron entre 30 y 50 días con temperaturas ,mayores o iguales a los 40 °C, Finalmente en la región norte de México estas temperaturas se observaron en los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit, así como en el noreste de Chihuahua y regiones de Nuevo León y Tamaulipas.

En el periodo comprendido de julio a septiembre (Figura 54, derecha) se presentaron registros de más de 30 días extremadamente calurosos en los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Resaltando que en los estados de Baja California, Sonora y Chihuahua se observaron, en regiones puntuales de hasta 70 días con condiciones de igual o mayor a 40.0 °C.

De acuerdo con este análisis, se puede inferir que en los dos periodos descritos, las regiones del norte de México así como los estado de Michoacán y Guerrero representan los estados de mayor numero de días con temperaturas iguales o superiores a 40 °C. Resaltando que en el sur de México, hubo una cantidad importante de registros con estas temperaturas.

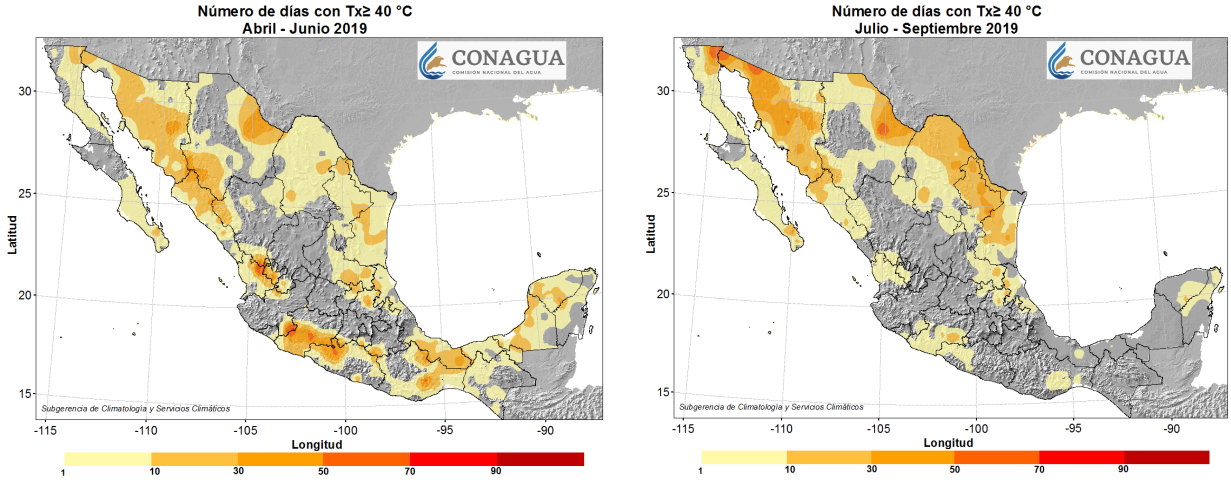


Figura 54. Cantidad del número de días cálidos (temperatura máxima diaria mayor o igual a 40°C). (Izquierda) de abril a junio y (Derecha) de julio a septiembre. Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

Veinticinco estados del territorio registraron temperaturas máximas iguales o mayores de 40.0 °C durante 2019.

El valor máximo extremo se registró en dos entidades, con 49.0 °C en las estaciones San Luis Río Colorado en Sonora y Mexicali en Baja California los días 5 y 16 de agosto respectivamente. Sin embargo este valor no fue suficiente para superar al máximo histórico de 60.0 °C en la estación Delta, Baja California reportado el 13 de agosto de 1953. Más valores de temperatura máxima a nivel estatal en la Tabla 6.

Tabla 6
Temperatura máxima extremas a nivel estatal durante de 2019.

Edo.	Tn	Estación	Día	Edo.	Tn	Estación	Día
Ags.	37.5	Villa Juárez	02/06/2019	Mor.	44.0	Ticumán	08/03/2019
B. C.	49.0	Mexicali	16/08/2019	Nay.	45.0	Jesús María	23/04/2019
B. C. S.	45.0	San Antonio, B.C.S.	30/06/2019	N. L.	46.0	Carmen de los Elizondo Linares	09/06/2019
Capm.	42.0	Canasayab	10/05/2019	Oax.	47.0	Río Manso Lalana	09/05/2019
Ciudad de México	35.0	Campamento Amealco	11/05/2019	Pue.	44.0	Cuetzalan del Progreso	20/05/2019
Chih.	48.0	Chínipas	13/06/2019	Qro.	45.0	Jalpan	22/05/2019
Chis.	44.0	Huixtla*	14/04/2019	Q. Roo	42.0	Cancún	10/07/2019
Coah.	45.4	Observatorio de Piedras Negras	19/08/2019	SIN.	48.5	Huites hidrométrica	30/06/2019
Col.	41.5	Callejones	05/07/2019	S. L. P.	46.1	El Pujal	12/04/2019
Dgo.	44.5	El Tule del Real	23/06/2019	Son.	49.0	San Luis Río Colorado, Son.	05/08/2019
Gro.	46.0	San Marcos	07/06/2019	Tab.	42.0	Villahermosa Muelle	10/05/2019
Gto.	39.5	Xichú	22/05/2019	Tamps.	46.0	Padilla	09/06/2019
Hgo.	46.0	Metztitlán	04/03/2019	Tlx.	31.5	Observatorio de Tlaxca-la	19/04/2019
Jal.	44.5	Constitución de Apatzin-gán	28/05/2019	Ver.	45.6	Tempoal	14/04/2019
Méx.	37.0	Totolica hidrométrica	23/05/2019	Yuc.	45.0	Acanceh	16/03/2019
Mich.	45.0	Caimanera	02/05/2019	Zac.	42.0	José María Morelos	25/05/2019

Nota. Con información disponible en el mes de diciembre 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente. *Automática CONAGUA, **Automática CFE, ***Automática INIFAP.

7.2 Tormentas invernales

Una tormenta invernal (TI), ocurre cuando se presenta un sistema de baja presión con un vórtice de núcleo frío (ubicado en las capas medias y altas de la atmósfera), la cual combinando bajas temperaturas en superficie y humedad favorecen la formación de nieve, aguanieve y ráfagas de vientos. Estos sistemas de baja presión provienen de desprendimientos del Vórtice Polar, por lo que su ocurrencia e intensidad depende principalmente de los patrones climáticos como el ENOS, la NAO, la AO y la PNA (más información en la Sección 1 de este reporte). México en promedio (1991-2019) es afectado durante la temporada invernal por 14 vórtices de núcleo frío. Durante 2019 se registraron 16 vórtices (2 por arriba de la media), de los cuales 10 alcanzaron el status de tormenta invernal; esta categoría está determinada por la severidad del tiempo atmosférico que provoca un vórtice sobre la República Mexicana, es decir la intensidad de la caída de nieve, heladas, vientos fuertes, lluvias y temperaturas mínimas. Cinco tormentas invernales se registraron dentro del periodo enero-abril (invierno 2018 -2019) y el resto en el periodo noviembre-diciembre (invierno 2019-2020). A continuación se describen las TI más significativas del 2019.

Sexta TI. Invierno 2018-2019 (31 de diciembre de 2018-4 de enero de 2019)

Esta tormenta no esta considerada dentro de las estadísticas mencionadas en el párrafo anterior, porque fue numerada en diciembre de 2018, sin embargo, sus efectos más importantes se produjeron en enero de 2019.

Su monitoreo comenzó como una ondulación del vórtice polar, que descendía la mañana del 30 de diciembre desde el noroeste de los Estados Unidos. Al día siguiente por la mañana, su intensa circulación absorbió a la quinta TI y por la tarde fue numerada como la sexta TI cuando se localizó sobre los estados de California y Nevada en los Estados Unidos, se asociaba al frente frío número 22 de corta duración. Ese día se reportó la caída de nieve y/o agua nieve en la regiones altas de Baja California, Sonora y Chihuahua.

Durante el día 1° del año 2019 la sexta TI se mantuvo al norte de Sonora y continuó favoreciendo bajas temperaturas y posibilidad de caída de nieve y/o agua nieve sobre el noroeste de México. Al día siguiente, el vórtice ingresó sobre el norte de Sonora y Coahuila por lo que de acuerdo con datos de reanálisis del NCEP/NCAR la temperatura por la noche alcanzó los –22.0 °C y una humedad relativa mayor al 30% (Figura 55) en los 500 mb sobre la región norte de Sonora y Chihuahua. Esta condición provocó la caída de nieve y/o agua nieve más intensa durante el periodo del paso de la sexta TI. Por la mañana del día 3, el vórtice de núcleo frío dejo de afectar directamente el norte de México y por la tarde se localizó sobre el norte de Texas en los Estados Unidos, sin embargo se reportaron heladas en Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila y Durango (Figura 55).

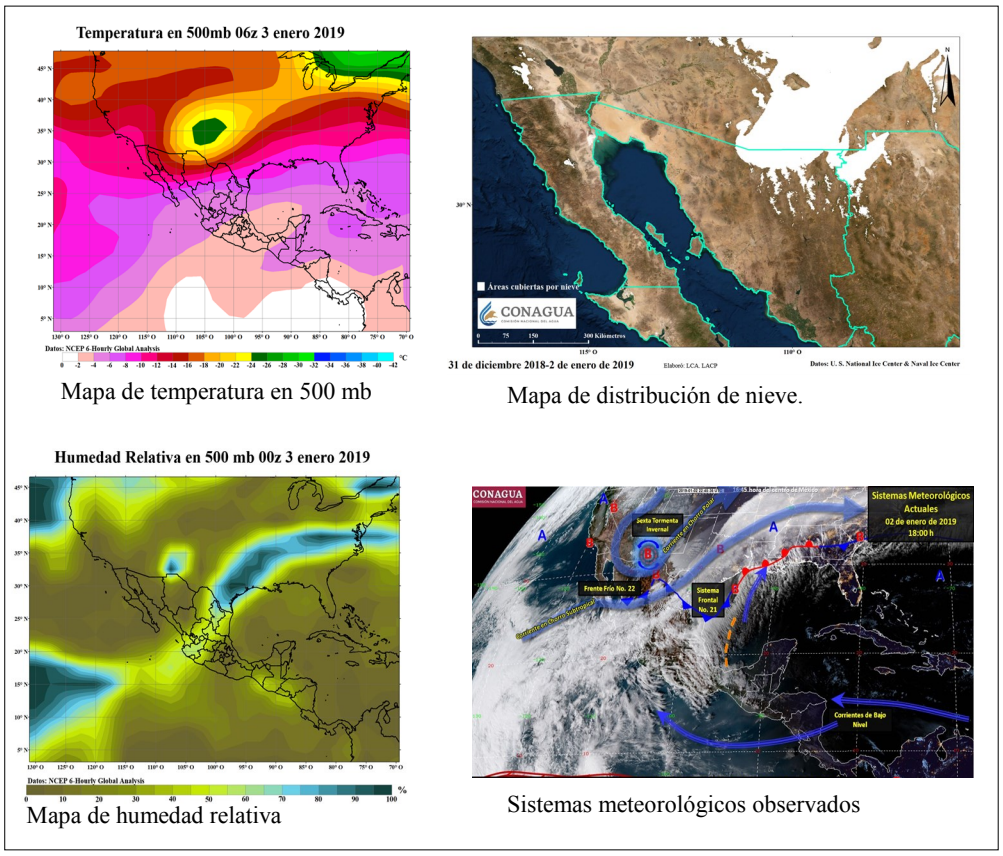


Figura 55. (Superior izquierda) Mapa de temperatura en 500 mb el 3 de enero a las 0 hrs (hora del centro de México). (Superior derecha) Mapa de la distribución de nieve sobre la República Mexicana del 31 de diciembre de 2018 al 2 de enero de 2019 de acuerdo con datos del Centro Nacional de Cubierta de Hielo y del Centro Nacional de Hielo de los Estados Unidos. (Inferior izquierda) Mapa de humedad relativa en 500 mb el 2 de enero a las 18 hrs (hora del centro de México). (Inferior derecha) Imagen Interpretada con los principales sistemas meteorológicos de la tarde del 2 de enero de 2019. Imágenes de temperatura y humedad relativa elaborados con datos de reanálisis del NCAR/NCEP. Imagen interpretada proporcionada por el Centro Nacional de Previsión del Tiempo (CNPT) de la CGSMN.

Octava TI, invierno 2018-2019 (21-22 de febrero)

Fue la TI que provocó la cubertura de nieve más amplia sobre el territorio nacional en 2019. La condición inicial que favoreció el desarrollo de la octava TI, fue que a partir del debilitamiento de la séptima tormenta invernal, una vaguada polar se mantuvo sobre la región noroeste del país el día 19 de febrero. La vaguada mantuvo condiciones frías sobre dicha región durante el día 20 y al día siguiente un reforzamiento en las condiciones frías desde el noroeste de los estados unidos, favoreció el desarrollo de una circulación cerrada de baja

presión dentro de la vaguada polaren los niveles altos y medios de la atmosfera por la tarde, momento en el cual fue denominada como la octava TI al norte de Baja California y se asociaba al frente frío 40 de la temporada. Ese día se reportó la caída de nieve y/o aguanieve sobre la Sierra de San Pedro Mártir en Baja California, vientos de hasta 54.0 km/h en Chihuahua y granizo en Mexicali, Baja California.

El 22 de febrero, se produjo la caída de nieve más significativa del año, por la tarde, cuando la temperatura ambiente alcanzo los –24.0 °C y la humedad se mantuvo por arriba del 70 % sobre el norte de los estados de Sonora y Chihuahua en los 500 mb de acuerdo con los datos de reanálisis del NCEP/NCAR, debido a que la octava TI se ubicó sobre el estado de Nevada en los Estados Unidos. También se reportaron ráfagas máximas de 101.0 km/h sobre Zacatecas, Zac. y heladas sobre Baja California, Chihuahua, Sonora y Durango (Figura 56).

Por la mañana del día 23, la circulación y vorticidad dentro del vórtice de núcleo frío se debilitó y volvió a ser denominada vaguada polar por la CGSMN, sin embargo ese día se presentaron de nueva cuenta heladas sobre los estados de Baja California, Chihuahua, Sonora, Coahuila y Nuevo León, así como caída de nieve y/o aguanieve en las zonas altas de Sonora y Chihuahua. Al día siguiente finalmente la vaguada ascendió de regreso al núcleo del vórtice polar (Figura 56).

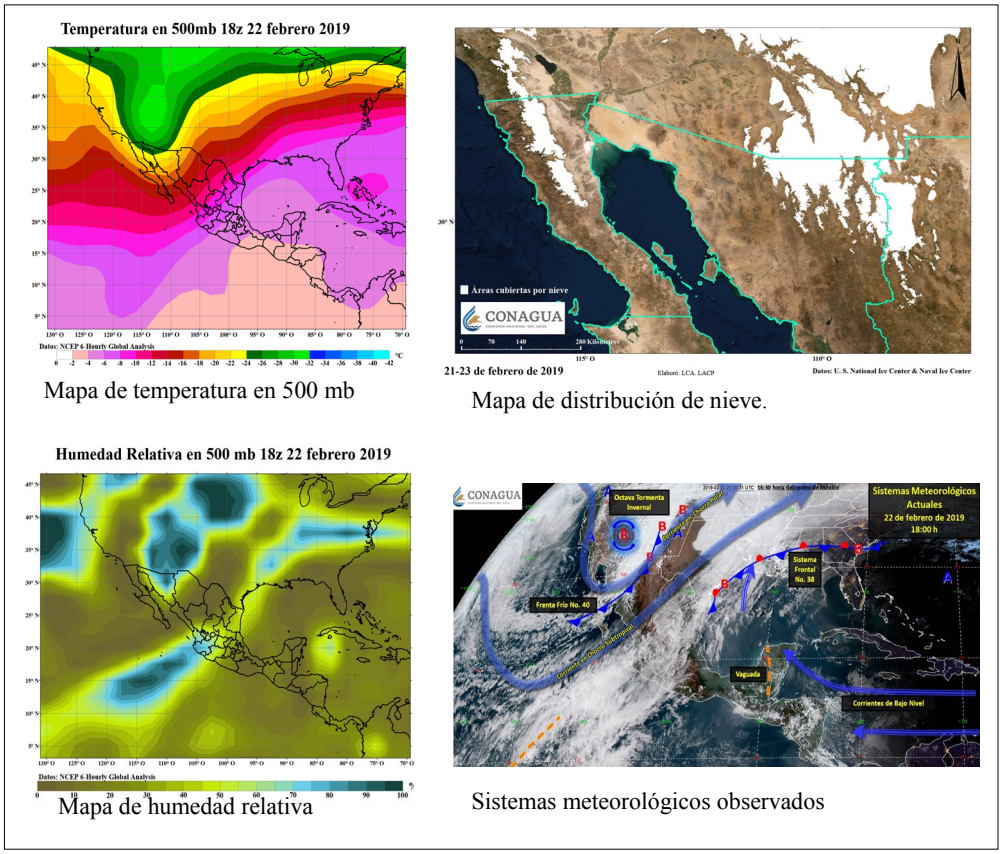


Figura 56. (Superior izquierda) Mapa de temperatura en 500 mb el 22 de febrero a las 12 hrs (hora del centro de México). (Superior derecha) Mapa de la distribución de nieve sobre la República Mexicana del 21 al 23 de febrero de 2019 de acuerdo con datos del Centro Nacional de Cubierta de Hielo y del Centro Nacional de Hielo de los Estados Unidos. (Inferior izquierda) Mapa de humedad relativa en 500 mb el 22 de febrero a las 12 hrs (hora del centro de México). (Inferior derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos la tarde del 22 de febrero de 2019. Imágenes de temperatura y humedad relativa elaborados con datos de reanálisis del NCAR/NCEP. Imagen interpretada proporcionada por el Centro Nacional de Previsión del Tiempo (CNPT) de la CGSMN.

Décima TI, invierno 2018-2019 (10-13 de marzo)

Un vórtice de núcleo frío comenzó a descender desde el norte del Océano Pacífico durante el día 8 de marzo y alcanzó la costa sureste de los Estados Unidos la tarde del día 9, asociado al frente frío número 44. Por la mañana del día siguiente, el vórtice se ubicó sobre la costa de California y al atardecer la CGSMN lo designó como la décima TI de la temporada 2018-2019. Ese día se registraron ráfagas máximas de viento sobre Chihuahua de hasta 40.0 km/h. Durante el día 11 de marzo la décima TI comenzó a descender en latitud hasta ubicarse muy cerca de la costa de Baja California Sur en los niveles altos y medios de la atmósfera, situación que favoreció la caída de nieve y/o aguanieve sobre las zonas altas del norte de la Península de Baja California.

La mañana del 12 de marzo, la TI ingresó al estado de Baja California y por la tarde a Sonora, en donde la temperatura ambiente descendió hasta los –24.0 °C, mientras que la humedad se mantuvo por arriba del 70 % sobre los 500 mb de acuerdo con datos de reanálisis del NCEP/NCAR. Ese día se reportó la caída de nieve y/o agua nieve (más significativa dentro del periodo del paso de la TI en México) sobre las zonas altas de Baja California, Sonora y Chihuahua, también se registraron heladas en Baja California, Chihuahua y Durango, así como ráfagas máximas de viento de hasta 100.0 km/h en la estación de Cuauhtémoc del estado de Chihuahua. La mañana siguiente la octava TI abandonó el noroeste de México y se localizó sobre los estados de Nuevo México y Colorado en los Estados Unidos, sin embargo ese día su proximidad y el paso del frente frío 44 sobre el noreste del territorio nacional favoreció ráfagas máximas de viento de hasta 61.0 km/h sobre Monterrey, Nuevo León (Figura 57).

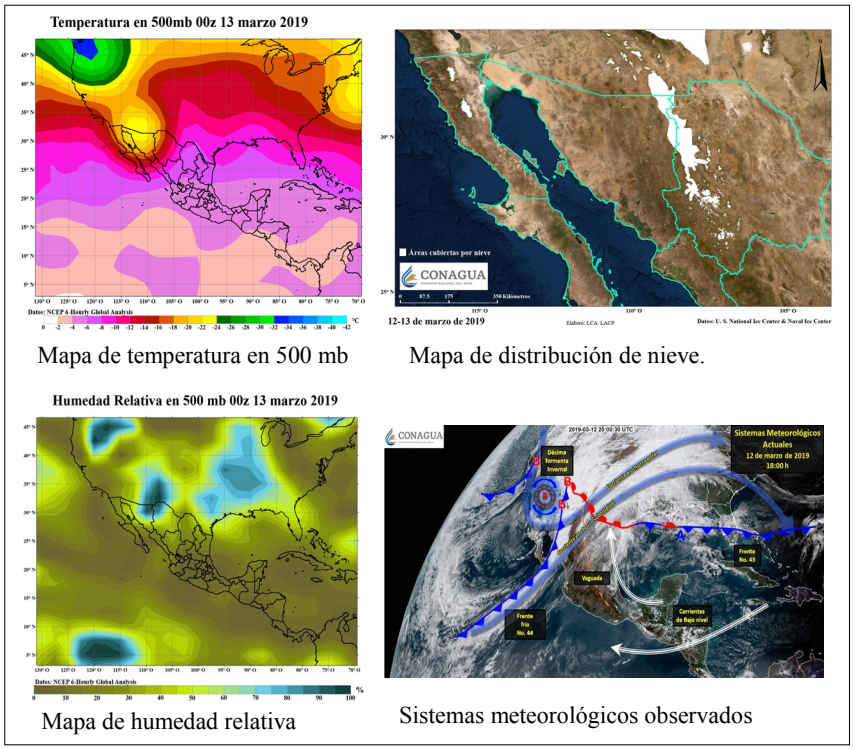


Figura 57. (Superior izquierda) Mapa de temperatura en 500 mb el 13 de marzo a las 18 hrs. (Superior derecha) Mapa de la distribución de nieve sobre la República Mexicana del 12 al 13 de marzo de 2019 de acuerdo con datos del Centro Nacional de Cubierta de Hielo y del Centro Nacional de Hielo de los Estados Unidos. (Inferior izquierda) Mapa de humedad relativa en 500 mb el 13 de marzo a las 18 hrs. (Inferior derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos la tarde del 12 de marzo de 2019. Imágenes de temperatura y humedad relativa elaborados con datos de reanálisis del NCAR/NCEP. Imagen interpretada proporcionada por el Centro Nacional de Previsión del Tiempo (CNPT) de la CGSMN.

Segunda TI, invierno 2019-2020 (27-29 de noviembre)

Un vórtice de núcleo frío comenzó a descender desde la costa suroeste de Canadá la mañana del 26 de noviembre. Al día siguiente, la zona de baja presión en altura se posicionó sobre la costa oeste de los Estados Unidos y por la tarde cuando el vórtice se localizó al suroeste, fue designado por la CGSMN como la segunda TI de la temporada 2019-2020, así mismo se numero al sistema frontal 19 que la acompañaba. Debido a la interacción de estos fenómenos con un evento de "río atmosférico", ese día se reportó la caída de nieve y/o aguanieve sobre las zonas altas de Baja California, así como heladas en ese mismo estado, Chihuahua y Durango.

Al amanecer del día 28 de noviembre, la segunda TI se ubicó sobre California (Estados Unidos) y por la tarde comenzó a desplazarse ligeramente hacia latitudes más altas, sin embargo su proximidad provocó que la temperatura ambiente por la noche descendiera de entre los –24.0 y –18.0 °C en la región alta de Baja California, mientras que la humedad relativa se mantuvo por arriba del 80% en los 500 mb de acuerdo con los datos de reanálisis del NCEP/NCAR. Lo anterior tuvo como consecuencia la caída de nieve y/o agua nieve sobre la sierra de San Pedro Mártir y La Rumorosa en Baja California, también se registraron ráfagas máximas de hasta 52.0 km/h en Tijuana.

Durante el día 29 de noviembre el vórtice de núcleo frío se mantuvo estacionario al norte del estado de California en los Estados Unidos, mientras que el frente frío 19 se extendió sobre la porción noroeste de México. Esta condición favoreció a que se mantuviera el potencial de caída de nieve sobre las zonas altas de Baja California. También se reportaron ráfagas de viento de hasta 76.0 km/h en Ciudad Juárez, Chihuahua. Finalmente, el día 30 el vórtice se debilitó sobre el centro de los Estados Unidos (Figura 58).

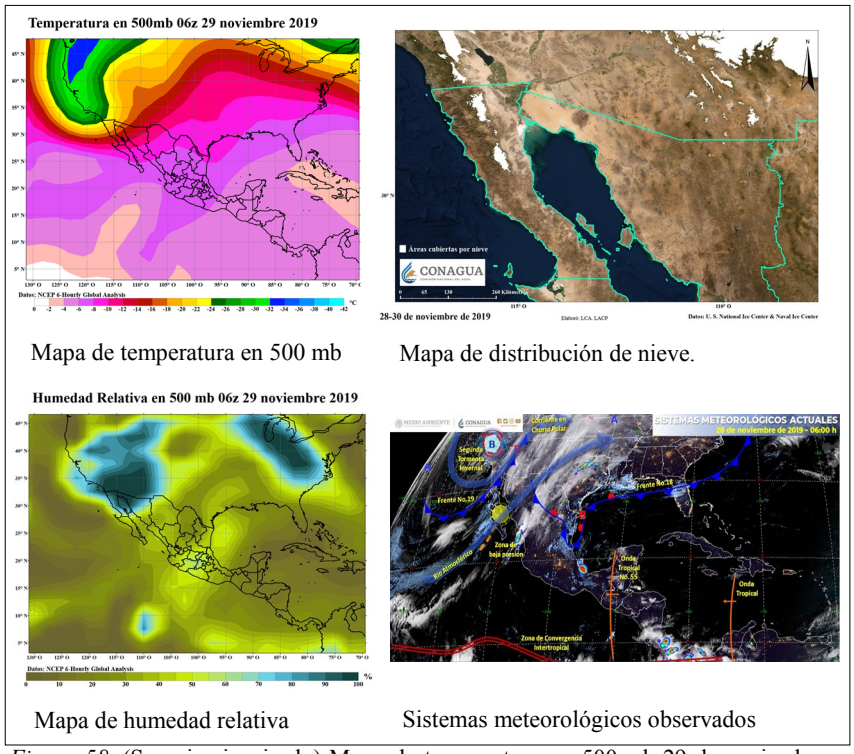


Figura 58. (Superior izquierda) Mapa de temperatura en 500 mb 29 de noviembre a las 0 hrs. (Superior derecha) Mapa de la distribución de nieve sobre la República Mexicana del 28 al 30 de noviembre, de acuerdo con datos del Centro Nacional de Cubierta de Hielo y del Centro Nacional de Hielo de los Estados Unidos. (Inferior izquierda) Mapa de humedad relativa en 500 mb el 29 de noviembre a las 0 hrs. (Inferior derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos la la mañana del 28 de noviembre de 2019. Imágenes de temperatura y humedad relativa elaborados con datos de reanálisis del NCAR/NCEP. Imagen interpretada proporcionada por el Centro Nacional de Previsión del Tiempo (CNPT) de la CGSMN.

Cuarta TI, invierno 2019-2020 (26-28 de diciembre)

Un vórtice de núcleo frío, comenzó a descender desde el sur de las Islas Aleutianas el día 18 de diciembre. Durante los siguientes días se desplazó hacia el sureste y fue hasta la tarde del 25 de diciembre que comenzó a alcanzar la costa suroeste de los Estados Unidos.

La mañana del día 26, ingreso por el extremo noroeste de Baja California y fue designada por la CGSMN como la cuarta TI de la temporada 2019-2020, mientras que al frente frío que la acompañaba se le numeró como el 26. A la mañana siguiente, el desplazamiento de la TI la posicionó sobre el estado de California (Estados Unidos) y por la tarde avanzó ligeramente más al norte, sin embargo su cercanía favoreció la caída de nieve y/o agua nieve sobre Baja California y Sonora, ráfagas máximas de 48.0 km/h en Chihuahua, así como el registro de heladas sobre Chihuahua y Durango.

La mañana del 28 de diciembre, se produjo la caída de nieve más significativa durante el paso de la TI sobre el país, esto debido a que en la mañana cuando el vórtice se localizo al norte de Chihuahua la temperatura ambiente alcanzó los –25.0 °C, mientras que la humedad relativa se mantuvo por arriba del 50% en los 500 mb de acuerdo con el NCEP/NCAR. La caída de nieve y/o aguanieve se observó sobre las zonas altas de Sonora y Chihuahua ese día, también se reportaron ráfagas máximas de viento en Ciudad Juárez, Chihuahua de hasta 46.0 km/h. Finalmente, el día 29 el vórtice se debilitó sobre el centro de los Estados Unidos (Figura 59).

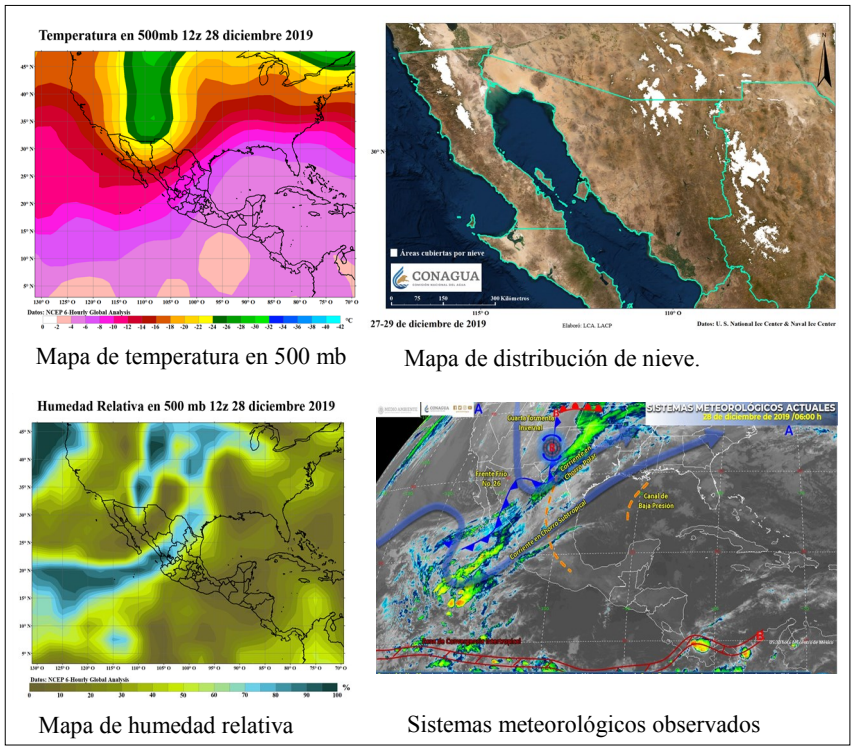


Figura 59. (Superior izquierda) Mapa de temperatura en 500 mb el 28 de diciembre a las 06 hrs (hora del centro de México). (Superior derecha) Mapa de la distribución de nieve sobre la República Mexicana del 27 al 29 de diciembre de 2019 de acuerdo con datos del Centro Nacional de Cubierta de Hielo y del Centro Nacional de Hielo de los Estados Unidos. (Inferior izquierda) Mapa de humedad relativa en 500 mb el 28 de diciembre a las 06 hrs (hora del centro de México). (Inferior derecha) Imagen interpretada con los principales sistemas meteorológicos la mañana del 28 de diciembre de 2019. Imágenes de temperatura y humedad relativa elaborados con datos de reanálisis del NCAR/NCEP. Imagen interpretada proporcionada por el Centro Nacional de Previsión del Tiempo (CNPT) del SMN.

8. Eventos Notables

Diversos eventos notables se presentaron en el año 2019, desde fenómenos de pequeña escala como tornados y trombas marinas hasta inundaciones y lluvias severas por efecto de un evento como "río atmosférico" sobre el noroeste del territorio nacional. En esta sección se describen los eventos más significativos.

8.1 Tornados y trombas marinas

El primer registro en este tipo de fenómenos fue una tromba marina que se produjo frente a las costas de Cancún, Quintana Roo la tarde del 8 de enero de 2019, mientras que el último evento se reportó el día 28 de noviembre en las cercanías de las Playas de El Camainero, en el municipio de El Rosario, Sinaloa. De acuerdo con los medios de comunicación, redes sociales y datos de la CGSMN durante el año se contabilizaron un total de 12 tornados y 11 trombas marinas (Tablas 7 y 8).

Tabla 7.
Información de los tornados reportados durante el 2019.

Estado	Mes	Día	Lugar
Quintana Roo	Enero	8	Punta Nizuc, Cancún
Colima	Junio	19	Manzanillo
Yucatán	Junio	29	Progreso, Yucatán
Quintana Roo	Julio	20	Playa del Carmen
Jalisco	Julio	22	Lago de Chapala
Colima	Julio	24	Manzanillo
Veracruz	Agosto	8	Coatzacoalcos, frente a la comunidad de Villa Allende, Río Coatzacoalcos
Colima	Septiembre	4	Manzanillo
Tamaulipas	octubre	4	Playa Bagdad de Matamoros, Tamps.
Guerrero	Noviembre	12	Ixtapa Zihuatanejo
Sinaloa	Noviembre	28	Playas de El Caimanero en el municipio de Rosario

Tabla 8.
Información de las trombas marinas reportadas durante el 2019.

Estado	Mes	Día	Lugar
Querétaro	Marzo	5	Zibatá, Querétaro
Hidalgo	Marzo	22	Entre Tolcayuca y Villa de Tezontepec sobre tierras de labor.
Tlaxcala	Mayo	16	Poblado de Zaragoza, Hueyotlipan, en el estado de Tlaxcala
Chihuahua	Junio	4	Villa Ahumada, Carretera Chihuahua a Villa Ahumada, km 165
Veracruz	Junio	23	Totalco, Veracruz
Michoacán	Junio	26	Comunidad de San Vicente y Meza de León en Maravatío, Michoacán
Zacatecas	Agosto	6	Comunidades de Saucito del Poleo y Valdecañas en el municipio de Fresnillo.
Nayarit	Agosto	20	Tepic, cerca del Valle de Camichin de Jauja
Baja California Sur	Agosto	22	El Carrizal
Baja California Sur	Septiembre	7	A 2 km de Ciudad Constitución
Sonora	Septiembre	21	Norte de Bahía de Kino
Querétaro	Octubre	20	Colón, Querétaro

Ningún tornado o tromba marina provocó daños materiales considerables en 2019, sin embargo sobresalen el tornado de Fresnillo, Zacatecas y la tromba marina de Coatzacoalcos, Veracruz ambos ocurridos en agosto. A continuación se describen dichos fenómenos.

Una línea de vaguada extendida desde el norte de chihuahua (asociada a la continuidad del Monzón de México) hasta el centro de Oaxaca se asoció al ingreso de humedad proveniente del Golfo de México y Océano Pacífico, comenzó a favorecer el desarrollo, zonas nubosas y tormentas sobre Zacatecas desde el medio día del 6 de agosto. Una zona de tormentas al sur de la cuidad de Fresnillo, que alcanzaron topes de nubes de hasta 11 km de altura desarrolló un tornado landspout (Figura 60) aproximadamente después de la una de la tarde y pudo ser videograbado sobre el poblado de Belaña. Los valores del radiosondeo de la estación de Guadalupe en zacatecas indicaron a las 19 horas (hora del centro de México) de ese día un CAPE de 1192 y un Lifted Index de –3.68. De acuerdo con los medios de comunicación, no se registraron daños o algún tipo de afectación material debido al fenómeno, ya que se desarrolló sobre una zona despoblada.

Por la mañana del día 8 de agosto una zona de inestabilidad que se asociaba a la OT 26 (posteriormente tormenta tropical *Henriette)* favoreció el desarrollo de una amplia zona de tormentas en el istmo de Tehuantepec y sobre las aguas al sur de esta región. La extensa área de tormentas favoreció el desarrollo de una tromba marina en las cercanías de la costa de Coatzacoalcos, Veracruz aproximadamente a las 8:50 am de ese día (hora del centro de México), en la Figura 61 a la izquierda, se puede apreciar que la nubosidad asociada alcanzó hasta los 11.0 km de altura en ese momento. De acuerdo con los medios de comunicación no se reportaron daños materiales en las zonas cercanas a la costa del puerto de Coatzacoalcos.

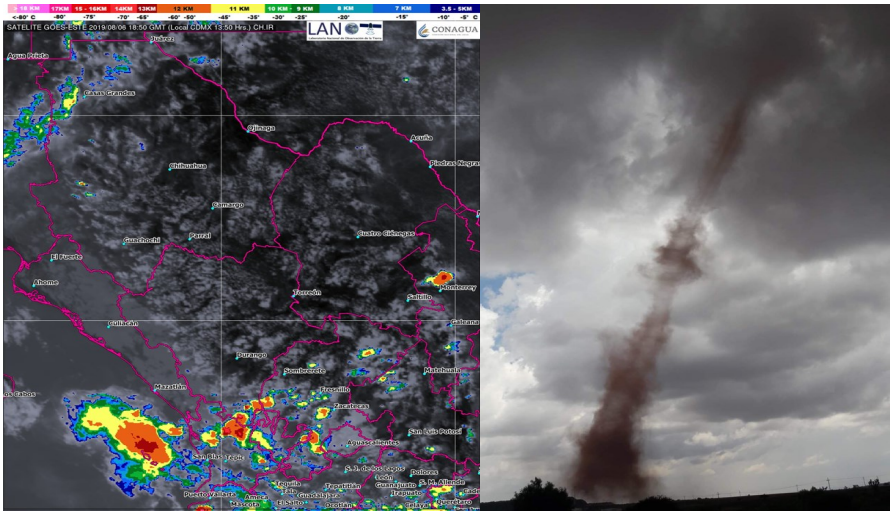


Figura 60. (Izquierda) Imagen infrarroja tope de nubes del día 6 de agosto de 2019 a las 13:50 horas (hora del centro de México). (Derecha) Imagen del tornado desarrollado al suroeste de la localidad de Fresnillo, Zacatecas el 6 de agosto de 2019, obtenida de la red social de Tornados México.

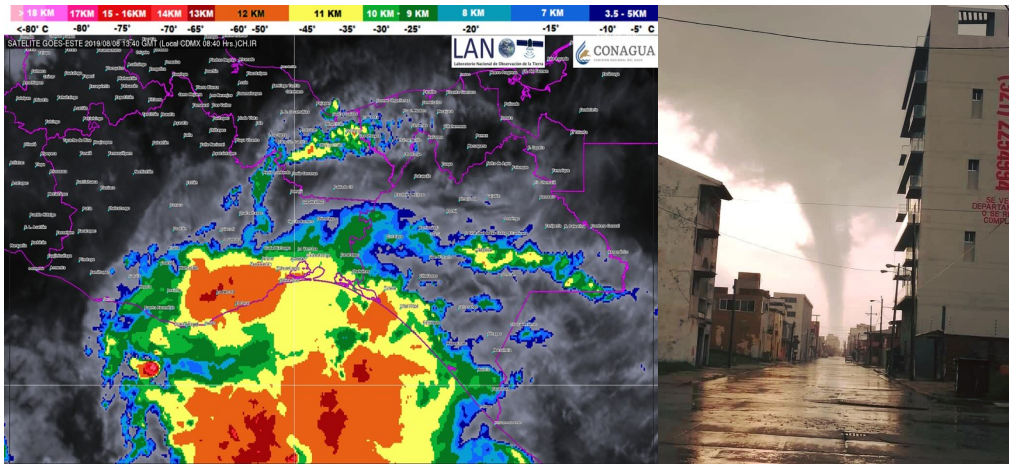


Figura 61. (Izquierda) Imagen infrarroja tope de nubes del día 8 de agosto de 2019 a las 8:40 horas (hora del centro de México). (Derecha) Imagen de la tromba desarrollada frente a las costas de Coatzacoalcos, Veracruz la mañana del 8 de agosto de 2019, obtenida de la red social de CódigoXalapa.

8.2 Nevadas

Cinco tormentas invernales en el año 2019, produjeron las nevadas más significativas sobre la República Mexicana, sin embargo el temporal más importante fue la nevada ocurrida del 21 al 23 de febrero (para más detalles ver la sección de tormentas invernales de este reporte), debido a la extensión de las áreas territoriales cubiertas por nieve, que afectaron principalmente al estado de Sonora.

Durante la madrugada del día 18 de febrero, el frente frío 39 de corta duración ingresó por Baja California y posteriormente su masa de aire fría marítima provocó las primeras heladas en la zona noreste de Sonora, con valores de temperaturas mínimas de hasta –10.7 °C en La Milpa, -10.2 °C en Agua Prieta y –8.6 °C en Santa Cruz-Fresnos.

Al día siguiente, el ingresó del frente frío 40 (ver sección de frentes fríos para mayor información) acompañado de la octava tormenta invernal, favoreció condiciones para la caída de nieve y evolución de heladas en el noroeste de México, ese día las temperaturas mínimas alcanzaron los –8.0 °C en Arizpe, -6.6 °C en Bacoachi y –5.2 °C en Cadaverachi.

El 22 de febrero se produjeron las nevadas severas más importantes de febrero favorecidas por temperaturas de hasta –21.0 °C en los 500 mb (Figura 62) de acuerdo con datos del NCEP/NCAR, en superficie las temperaturas mínimas más bajas estuvieron en –11.8 °C en Santa Cruz-Fresnos, -7.0 °C en Arizpe y 7.0 °C en Aribabi. Finalmente el día 24 se registraron temperaturas mínimas de –7.3 °C en Santa Cruz-Fresnos y –6.1 °C en La Milpa.

De acuerdo con los medios de comunicación tramos carreteros como Imuris-Cananea, Bacoachi-Nacozari (Figura 62) y Agua Prieta-Janos fueron cerrados por la acumulación de nieve y cristalización de la cinta asfáltica.

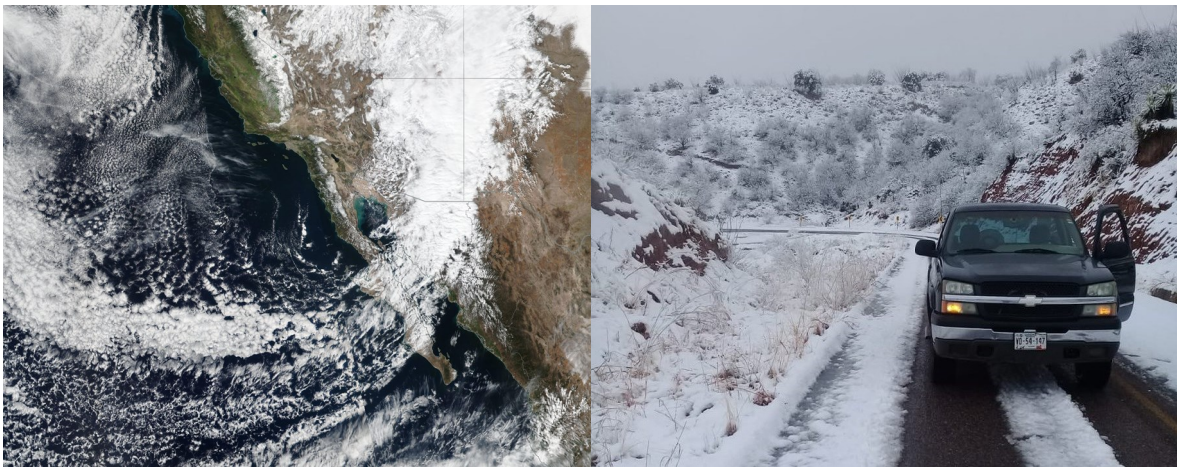


Figura 62. (Izquierda) Imagen Satelital del día 22 de febrero de 2019 tomada mediante el instrumento VIIRS del satélite Suomi NPP. (Derecha) Foto de las nevadas en el tramo carretero Bacoachi-Nacozari, Sonora el 22 de febrero de 2019, obtenida del Twitter de Protección Civil de Sonora.

8.3 Granizadas

La primera granizada reportada a la CGSMN en el año, fue el 13 de enero y ocurrió en Tapalpa, Jalisco, mientras que la última fue registrada el 14 de noviembre en la alcaldía de Coyoacán, Ciudad de México. El mes con el mayor número de granizadas fue Agosto, siendo el 27 de agosto el día con el mayor registro a nivel nacional, con 6 observaciones en diferentes estados. De entre enero a noviembre las principales granizadas ocurrieron en Baja California, Sonora, Chihuahua, Durango, Coahuila, Zacatecas, Nuevo Léon, Tamaulipas, San Luis

Potosí, Nayarit, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Colima, Guerrero, Ciudad de México, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca y Chiapas; siendo Ciudad de México en la que más días con granizadas se reportó. A continuación se describe la granizada más significativa durante el año 2019.

Fue el evento que más llamó la atención de los medios de comunicación durante el mes de junio, por la cantidad de granizo de pequeño tamaño que se acumuló sobre calles de la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco la madrugada del día 30, sin embargo la altura del hielo se debió al arrastre del mismo por las corrientes de agua hacia zonas más bajas de la región (desnivel).

Las condiciones sinópticas que favorecieron el desarrollo de tormentas convectivas, estuvieron asociadas con una línea de vaguada que se extendió desde el norte de Sonora hasta el centro de Oaxaca, acoplamiento de divergencia en altura, entrada de humedad del Océano Pacífico y Golfo de México, así como a un vórtice de núcleo en altura (Figura 63) cuya circulación estuvo aportando aire frío desde el norte hacia la zona occidente del territorio nacional. En cuanto a los radiosondeos sobre Guadalajara, a las 18 horas (hora del centro de México) del 29 de junio el CAPE fue de 100.6 y el Lifted index (LI) de –0.91, en ese momento la altura de las temperaturas por debajo de los 0.0 °C era de 3.5 km por arriba de la ciudad y la humedad relativa fue disminuyendo con la altura. A las 0 horas del 30 de junio el LI alcanzó hasta los –4.0 de acuerdo con el reanálisis del NCEP/NCAR.

El radiosondeo de las 7 horas, del 30 de junio, mostró que el nivel de las temperaturas de congelación había disminuido a 3.3 km aproximadamente y que la humedad relativa persistía hasta los 300 mb. Las bajas temperaturas asociadas con el vórtice en altura fueron una pieza clave en la caída de granizo sobre los municipios de Guadalajara y Tlaquepaque desde las 00:31 horas, alcanzando su máximo desarrollo de entre las 01:30 y 2:30 (hora del centro de México), cuando los topes de las nubes alcanzaron hasta los 16 km de altura (-75.0 °C). De acuerdo con los medios de comunicación, la altura del hielo superó un metro de altura en las regiones más bajas de la zona metropolitana (Figura 63). Esta cantidad de hielo produjo daños en 457 viviendas.

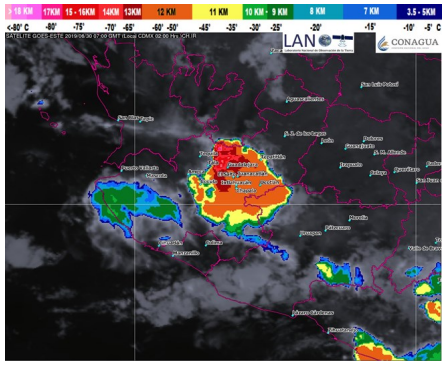
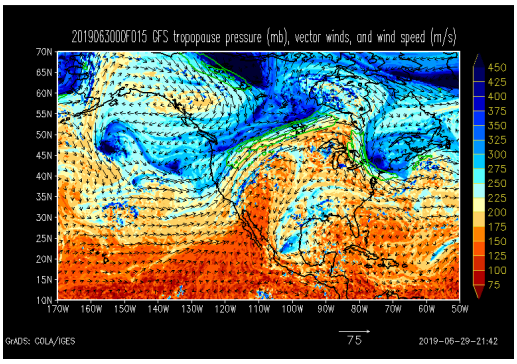
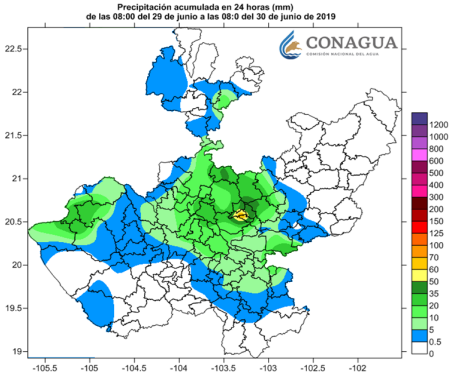


Imagen infrarroja, tope de nubes.



Pronóstico de la presión en la tropopausa del modelo GFS.



Precipitación en el estado de Jalisco

Acumulado de granizo en la colonia Rancho Blanco, Tlaquepaque, Jalisco

Figura 63. (Superior izquierda) Imagen infrarroja tope de nubes del día 30 de junio de 2019 a las 02:00 horas (hora del centro de México). (Superior derecha) Imagen pronóstico de la presión en la tropopausa del modelo GFS el 30 de junio de 2019 a las 0 hrs (hora del centro de México), elaborado por el departamento de Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Utah (Inferior izquierda) Mapa de la distribución de las precipitaciones el día 29 de junio de 2019. (Inferior derecha) Acumulamiento del granizo en la colonia Rancho Blanco, Tlaquepaque, Jalisco la mañana del 30 de junio de 2019 (tomada de la red social de Protección Civil Jalisco). Mapa de lluvias elaborado con datos del Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA.

8.4 Inundaciones

Las inundaciones afectaron este año a 18 estados en México, principalmente en la costa del Pacífico Mexicano; estas estuvieron asociadas al paso de ciclones tropicales, zonas de inestabilidad y frente fríos. A continuación se describen los fenómeno que provocó las inundaciones más significativas durante el año 2019.

Tormenta tropical Narda

La tormenta tropical Narda estuvo asociada a una amplia zona de bajas presiones que se extendió desde Centroamérica hasta el occidente de México y al flujo monzónico que favoreció el ingreso de humedad hacia la región de su evolución y a medida que dio inicio el desarrollo del ciclón tropical, el día 28 de septiembre (Figura 64) Oaxaca registró lluvias severas que alcanzaron los 300.0 mm en la estación de km 51+470 ubicada en el municipio de Magdalena Tequistlán, 250.0 mm en la estación de San Isidro (Tonameca), 232.5 mm en Astata (San Pedro Huamelula) y 229.1 en Cozoaltepec. Al día siguiente las lluvias persistieron debido a la amplia región de nublados asociados con las condiciones meteorológicas mencionadas en el párrafo anterior, estas alcanzaron los 207.6 mm en el Observatorio de Puerto Ángel, 138.8 mm en la estación de Río Grande (INIFAP) ubicada en el municipio de Villa de Tehuantepec de Melchor Ocampo y 127.4 mm en San Andrés Chicahuaxtla.

De acuerdo con los medios de los daños mas importantes se produjeron por desbordamientos de ríos y deslizamientos de tierra, entre los principales desbordamientos se encuentra los ríos Mixteco, Santo Santo Domingo, Verde, Zafra. Afectando a los poblados y carreteras de San Juan Mixtepec Tlaxiaco, Juxtla-Parral, Santa Catarina y Putla Villa de Guerrero respectivamente. En cuanto a los daños por derrumbes se registraron entre otros, en el tramo carretero Pueblo Viejo-Santa Maria Yucuhiti y en la carretera Llano Nopala a San José Yosocañu. Finalmente también se reportó el deceso de dos personas que fueron arrastradas por las corrientes de los ríos San Pedro, ubicado en el municipio de San Pedro Mixtepec (Figura 64) y San Cristobal en la Sierra Sur de Oaxaca.

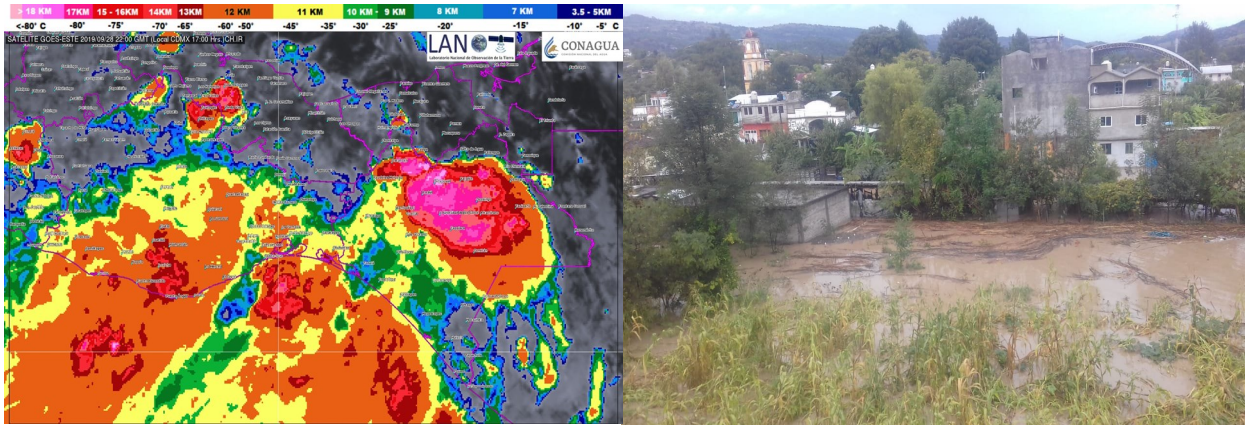


Figura 64. (Izquierda) Imagen infrarroja tope de nubes del día 28 de junio de 2019 a las 17:00 horas (hora del centro de México). (Derecha) Inundaciones sobre el municipio de San Juan Mixtepex Tlaxiaco el 29 de septiembre de 2019. Imagen recuperada del Twitter de Protección Civil de Oaxaca.

En el estado de Guerrero las lluvias severas se observaron a partir del 29 de septiembre y alcanzaron los 180.0 mm en las estación de Ometepec, 164.0 en San Marcos, 113.2 mm en Mochitlán y 102.0 mm en Zihuatanejo. Al día siguiente se presentaron las lluvias más importantes en la entidad que registraron acumulados máximos en 24 horas de 288.5 mm en Ometepec, 236.1 mm en Técpan, 227.0 mm en La Unión y 187.0 mm en Petaquillas. Fue el estado que registro las mayor precipitación acumulada durante el primer impacto de la tormenta tropical *Narda.*

Michoacán se vio afectado con inundaciones debidas a las precipitaciones que alcanzaron los 207.0 mm en Melchor Ocampo L. C. ubicada en el municipio de Lázaro Cárdenas y 127.3 mm en Infiernillo (Arteaga). De acuerdo con los medios de comunicación en el Municipio de Lázaro Cárdenas se presentaron inundaciones en las colonias de Noyola, El Tinoco, Centro Sector II y Revolución.

También para el estado de Colima las lluvias e inundaciones comenzaron a observarse a partir del día 29 de septiembre, sin embargo los acumulados máximos por *Narda* se observaron el día 30 con valores de 342.3 mm en la estación de Cerro de Ortega ubicada en el municipio de Tecomán, 300.9 mm en Camotlán y 280.7 mm en la estación Callejones (Ixtlahuacán).

Finalmente, se describen los efectos que tuvo la tormenta sobre el estado de Jalisco. Las lluvias más intensas comenzaron el día 29 de septiembre con acumulados máximos de 261.1 mm en Higuera Blanca (Tomatlán), 154.6 mm en El Cuale (Mascota), 152.5 mm en El Tuito y 148.0 mm en Chamela. Dichas precipitaciones provocaron que la estación hidrométrica de Cihuatlán reportara a partir de las 0 horas (hora del centro de México) del 30 de septiembre, que el río Marabasco comenzaba a superar su NAMO (4.0 m) y aproximadamente alcanzara una altura máxima de 6.19 metros a las 10 horas.

De acuerdo con los medios de comunicación 248 viviendas fueron afectadas por el paso de la tormenta tropical *Narda* sobre el estado de Jalisco, también se registró el desbordamiento de los ríos Marabasco, El Cuale, Los Horcones, Yelapa y Aquiles Serdán. 6 personas de la comunidad de El Rebalse en el municipio de Cihuatlán tuvieron que ser rescatadas por la Unidad Estatal de Protección Civil y Bomberos Jalisco, luego de que se desbordara el río Marabasco y fueran arrastradas por las corrientes (Figura 65).

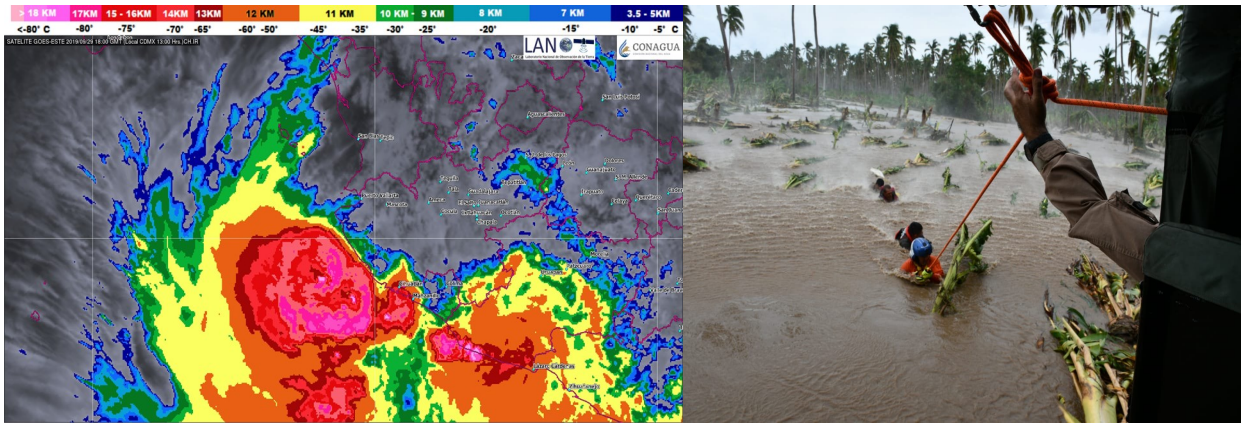


Figura 65. (Izquierda) Imagen infrarroja tope de nubes del día 29 de junio de 2019 a las 13:00 horas (hora del centro de México). (Derecha) Inundaciones sobre el municipio de Cihuatlán por el desbordamiento del río Marabasco el 30 de septiembre de 2019.Imagen recuperada del Twitter de Protección Civil de Jalisco.

8.5 Río atmosférico

Un evento conocido como "río atmosférico" (definición en el glosario) tuvo lugar sobre el noroeste de la República Mexicana de entre el 26 al 29 de noviembre, dicho fenómeno estuvo asociado al paso de los frentes fríos 18 y 19 de la temporada y provocó lluvias severas e inundaciones.

La Figura 66, superior izquierda, muestra el corredor de humedad en los 850 mb que se extendió desde aproximadamente los 5° de latitud hasta el estado de Chihuahua el 27 de noviembre de acuerdo con datos de reanálisis del NCEP/NCAR. En la misma Figura, superior derecha, se aprecia la tormenta extratropical, que a las 9 horas (tiempo del entro de México) se localizó sobre la región de la costa oeste de los Estados Unidos y que generaba al frente frío 18.

Las lluvias más importantes comenzaron el día 27 y en el estado de Baja California, los acumulados alcanzaron los 165.0 mm en la estación Todos Santos localizada en el municipio de Los Cabos, 152.0 mm en Las Barracas ubicada en el municipio de Los Cabos y 86.0 mm en Guadalupe (Mulegé). Estas precipitaciones generaron inundaciones que, de acuerdo con los medios de comunicación, se debieron al colapso y desbordamiento de cloacas y alcantarillas en los municipios afectados. También se reportaron inundaciones en el aeropuerto de San José del Cabo, deslaves en el tramo carretero San Antonio-Los Barriles y fallas transitorias en el sistema eléctrico de La Paz, B. C. S.

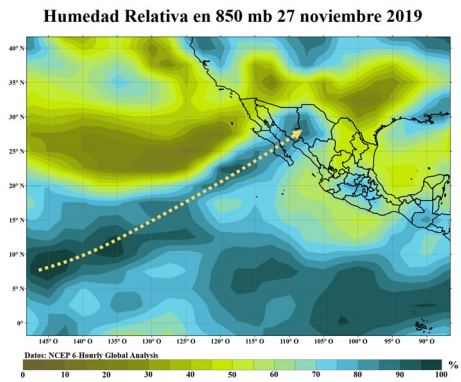
Ese mismo día en Sonora las lluvias máximas en 24 horas alcanzaron los 190.2 mm en la estación Peaña (Costa de Hillo) ubicada en el municipio de Hermosillo, 168.4 mm en Baviácora, 148.4 mm en la estación El Orégano II (Ures) y 136.8 mm en Nacozari. Las lluvias continuaron el 28 de noviembre con acumulados máximos de 78.4 mm en Cumbas y 49.0 mm en la estación de Sonoyta localizada en el municipio de General Plutarco Elías Calles. De acuerdo con información de los medios de comunicación en el municipio de Nacozari de García fue incomunicado debido a que el represo conocido como El Huacal llegó a su máxima capacidad por lo que su excedente se derramó y provocó daños en el 70% de la estructura de drenaje, telefonía y calles. También el deslave del cerro El Cajón produjo el cierre de la carretera federal entre Nacozari Viejo y Villa Esperanza.

Dentro del estado de Sinaloa las lluvias el 28 de noviembre alcanzaron los 153.0 mm en la estación de Ixpalino (San Ignacio), 147.0 mm en Elota, 111.0 mm en Mazatlán y 80.4 en Culiacán. De acuerdo con los medios de comunicación el municipio más afectado fue Mazatlán, donde las zonas de El Toreo (Figura 66, inferior derecha), colonia Jesús García, fraccionamiento Jacarandas y Playa Sur fueron las más dañadas por las crecidas de diversos arroyos. En el municipio de El Rosario se reportó la presencia de una tromba marina que posteriormente ingreso a la zona de playas de El Camainero, el cual provocó daños por la caída de postes de energía eléctrica y una palmera.

En Chihuahua las precipitaciones comenzaron el 27 de noviembre, sien embargo los acumulados máximos se presentaron el día 28 con valores de hasta 141.4 mm en Urique, 75.5 mm en Chinipas y 73.5 en Batopilas. Los medios de comunicación, reportaron el desbordamiento de el río Chinipas lo provocó inundaciones sobre las comunidades de Chinipas, Guarojia, El Triguito, El Limón y Mesa del Rosario. En Urique ocurrieron deslaves en el tramo carretero de la cabecera municipal hacia el pueblo de Bahuichivo, así como infiltraciones de agua en viviendas, calles y en la red de agua potable, también se informó del desborde del río Morelos en el camino Batopilas-Urique.

Finalmente, en Durango las lluvias de hasta 74.1 mm en la estación de Las Vegas ubicada en el municipio de San Dimas, 47.5 mm en Tamazula y 30.0 mm en Tepehuanes provocaron el desbordamiento del río Tepehuanes, que de acuerdo con los medios de comunicación provocaron inundaciones en dos colonias de Tepehuanes, así como en el tramo carretero Tepehuanes-El Tarahumar. En Tamazula el desbordamiento del río Humaya afectó la zona de Durazno e incomunicó la zona norte del municipio y el desbordamiento del río Tamazula afectó a 115 familias. En Canelas las comunidades más afectadas fueron La Angostura, La Higuera, El Oro, Zapotes de Valencia y Agua Blanca de Rocha.

En la Figura 67 se muestra la lluvia acumulada del 26 al 30 de noviembre de 2019 sobre la región noroeste de México, misma que fue afectada por el río atmosférico.



Mapa de humedad relativa en 850mb

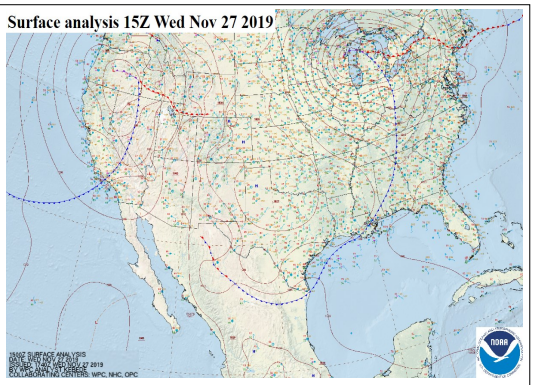


Imagen de análisis en superficie a las 9 h

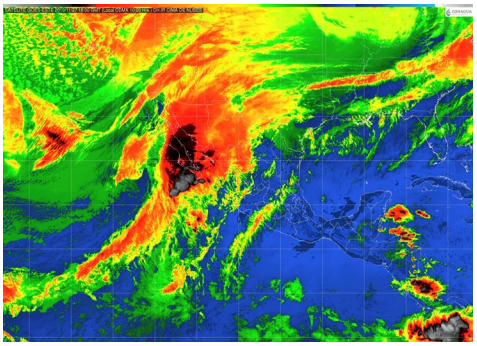


Imagen Satelital Infrarroja del 27 de noviembre

Inundaciones en Sinaloa

Figura 66. (Superior izquierda) Mapa de humedad relativa en 850 mb el 27 de noviembre de 2019 elaborado con datos de reanálisis de NCAR/NCEP. (Superior derecha) Imagen del análisis en superficie de las 9 horas (hora del centro de México) del Centro de Predicción del Tiempo de la NOAA. (Inferior izquierda) Imagen satelital infrarroja del 27 de noviembre de 2019 a las10 horas (hora del centro de México). (Inferior derecha) Imagen de las inundaciones en el fraccionamiento El Toreo en Mazatlán, Sinaloa el 28 de noviembre de 2019, obtenido de Red social de El sol de Mazatlán.

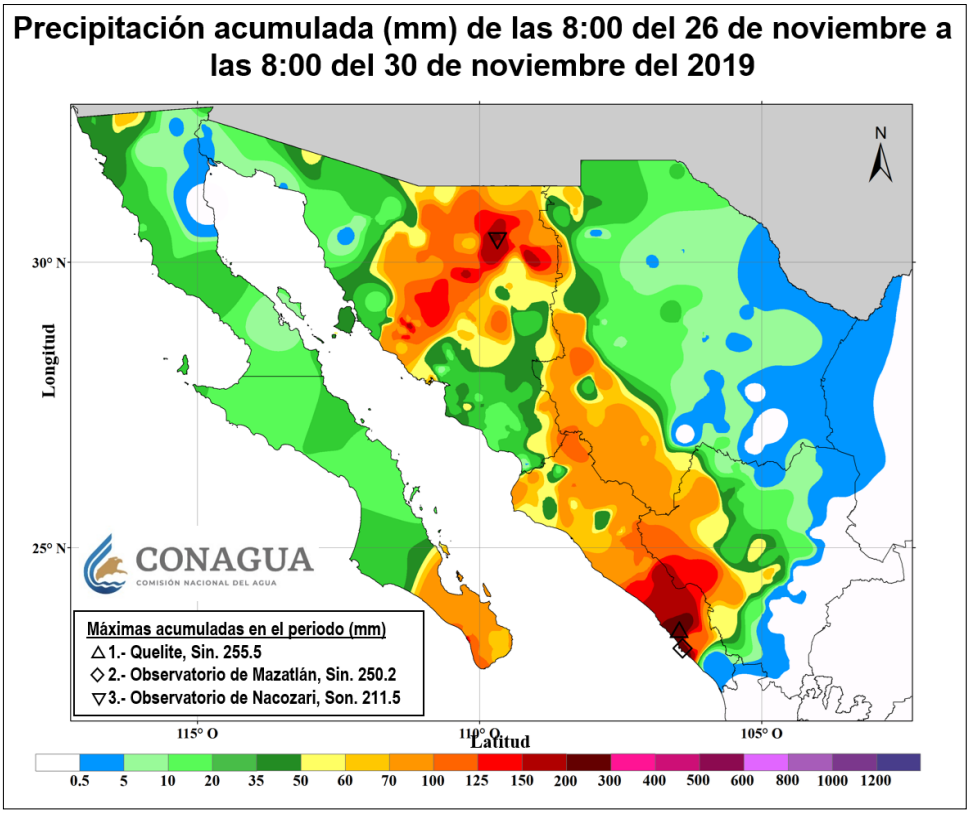


Figura 67. Lluvias acumuladas máximas del 26 al 30 de noviembre de 2019 sobre la región del noroeste de México. Mapa de lluvias elaborado con datos disponibles del Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA.

Anexos

Anexo 1

Precipitación a nivel nacional y por entidad federativa, láminas estimadas de los meses de enero a diciembre de 2019, valores expresados en milímetros (mm).

ENTIDAD FEDERATIVA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Aguascalientes	11.3	0.0	0.4	0.0	2.5	45.7	101.3	123.4	78.1	40.5	33.7	16.2	453.1
Baja california	17.8	49.5	13.4	1.2	5.6	0.0	5.1	3.0	14.0	1.9	53.1	41.6	206.1
Baja california sur	11.1	3.1	6.1	0.0	0.6	0.0	6.9	31.9	60.0	45.1	91.1	14.7	270.6
Campeche	26.7	14.2	34.6	32.7	72.6	250.9	156.8	124.7	182.8	235.3	90.5	81.4	1303.2
Coahuila	6.9	0.6	11.3	12.3	30.8	49.9	22.3	21.5	60.6	19.6	22.1	3.6	261.5
Colima	5.7	0.1	0.1	0.0	3.5	111.2	310.6	234.1	851.0	251.8	46.8	2.1	1816.7
Chiapas	39.8	28.5	34.6	14.0	200.4	277.0	142.6	236.5	308.2	359.7	66.5	59.7	1767.4
Chihuahua	15.2	13.8	11.5	1.0	3.5	26.0	76.1	99.3	98.5	41.3	69.0	15.2	470.3
Ciudad de México	5.3	5.7	7.2	4.3	21.6	108.1	145.5	87.2	76.1	86.8	17.6	0.1	565.3
Durango	6.6	0.7	0.7	0.0	1.9	31.5	74.8	89.5	106.1	31.3	74.9	10.7	428.8
Guanajuato	3.3	0.8	0.9	0.3	8.7	95.8	136.4	137.1	91.2	63.2	9.4	6.6	553.7
Guerrero	1.0	0.4	0.7	0.4	44.4	155.4	182.1	192.5	300.7	189.1	34.4	0.9	1102.1
Hidalgo	12.3	7.9	11.3	6.8	14.2	108.1	56.8	47.3	57.2	91.0	15.8	10.0	438.8
Jalisco	8.4	1.1	0.1	0.1	6.0	96.3	217.7	171.7	239.8	128.6	50.5	6.1	926.4
Estado de México	4.1	5.8	6.7	7.3	33.3	152.0	181.9	138.5	140.1	133.4	33.5	1.0	837.6
Michoacán	8.1	1.0	0.7	1.4	19.4	110.4	179.8	154.5	194.1	128.8	29.3	2.2	829.7
Morelos	1.5	1.2	2.3	0.5	115.2	366.8	270.0	265.5	342.6	298.7	27.2	0.0	1691.3
Nayarit	1.4	0.5	0.0	0.0	0.2	40.8	262.9	366.6	299.0	189.8	49.6	14.6	1225.3
Nuevo león	22.5	2.8	38.2	13.9	54.6	75.9	31.1	31.0	166.2	28.6	26.7	7.5	499.2
Oaxaca	14.9	4.7	9.6	8.5	96.9	155.8	145.2	162.7	227.3	209.9	47.7	6.3	1089.4
Puebla	6.8	9.1	11.4	8.0	51.7	223.2	164.5	150.6	182.7	194.1	29.1	9.4	1040.8
Querétaro	7.5	2.3	4.6	2.7	11.9	104.0	57.3	57.2	66.0	78.1	9.7	10.2	411.3
Quintana Roo	67.0	62.0	20.0	57.0	52.8	89.7	57.5	94.6	128.4	187.2	139.0	81.0	1036.1
San Luis Potosí	14.2	3.4	13.7	2.2	29.3	124.9	34.5	59.3	86.6	72.3	24.5	16.1	480.8
Sinaloa	11.3	1.2	4.8	0.0	0.3	12.0	150.3	339.6	199.3	39.4	159.5	10.6	928.2
Sonora	23.8	36.2	35.1	0.8	4.5	0.9	97.2	122.8	129.5	17.0	135.0	45.9	648.7
Tabasco	126.7	82.4	91.7	19.2	76.5	280.4	120.4	100.9	233.6	394.5	245.4	144.4	1916.0
Tamaulipas	25.2	7.5	36.2	10.1	50.7	132.0	38.0	19.9	142.2	78.7	25.9	12.7	579.1
Tlaxcala	1.3	5.2	4.7	6.3	25.5	129.1	125.7	103.4	81.2	60.4	20.9	0.5	564.2
Veracruz	50.6	15.5	30.3	8.0	31.6	162.3	121.7	90.8	168.0	271.9	124.1	32.7	1107.6
Yucatán	48.4	42.7	19.0	21.5	68.7	148.9	127.2	102.1	153.5	141.2	95.5	65.5	1034.2
Zacatecas	8.9	0.4	6.3	0.3	6.7	49.3	83.1	86.3	71.2	34.8	49.9	18.2	415.3
Nacional	19.0	13.7	16.2	6.6	31.8	86.2	97.6	110.8	144.4	100.1	68.5	23.5	718.3

Nota. Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la Conagua, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

Anexo 2

Temperatura máxima promedio a nivel nacional y por entidad federativa de los meses de enero a diciembre de 2019, valores expresados en grados Celsius (°C).

ENTIDAD FEDERATIVA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Aguascalientes	23.1	26.7	29.3	29.8	32.1	30.8	28.6	28.4	26.8	26.0	24.4	22.6	27.4
Baja california	20.4	17.9	22.2	27.6	26.4	30.6	32.7	35.3	31.8	28.5	24.3	19.0	26.4
Baja california sur	25.2	24.7	27.6	29.7	29.2	33.1	35.4	35.4	33.6	31.9	28.2	25.2	29.9
Campeche	29.4	33.2	33.5	35.6	37.7	35.8	35.0	35.3	34.3	33.2	31.1	29.9	33.7
Coahuila	20.6	24.7	25.5	31.2	33.0	35.0	35.6	37.6	33.6	30.1	24.7	22.9	29.5
Colima	33.2	33.0	34.1	33.3	33.8	35.2	35.0	34.5	33.9	32.9	33.5	32.9	33.8
Chiapas	29.6	32.3	32.6	34.0	34.3	32.3	32.3	32.7	31.9	31.0	30.6	29.6	31.9
Chihuahua	20.3	21.5	26.0	29.0	32.1	35.9	34.4	33.1	29.6	26.9	22.3	19.7	27.6
Ciudad de México	22.7	25.6	27.0	27.4	28.7	25.9	24.7	26.0	25.0	24.6	24.3	23.1	25.4
Durango	22.6	25.8	28.1	29.7	31.7	33.5	31.3	31.9	28.9	28.0	23.9	22.4	28.2
Guanajuato	24.6	27.9	30.1	30.9	32.8	30.2	28.2	28.7	27.7	27.1	26.3	24.5	28.3
Guerrero	30.9	32.6	33.7	33.6	34.2	32.9	32.2	32.6	31.8	31.0	31.6	31.5	32.4
Hidalgo	23.4	27.9	28.1	30.5	32.1	28.5	27.6	28.6	26.9	26.3	25.1	23.5	27.4
Jalisco	26.7	29.7	31.9	32.3	34.1	33.2	30.5	30.3	29.7	29.0	28.2	27.0	30.2
Estado de México	21.6	24.4	26.0	26.4	27.7	24.8	23.2	23.4	22.6	22.3	21.8	20.9	23.8
Michoacán	27.0	30.1	31.6	32.3	33.7	31.3	29.8	29.3	28.8	28.3	28.2	27.0	29.8
Morelos	28.3	31.3	33.5	33.9	33.9	29.9	28.7	29.3	28.7	27.6	27.8	27.7	30.1
Nayarit	31.3	32.1	34.4	34.7	35.6	37.0	35.9	33.8	33.6	33.3	33.2	30.8	33.8
Nuevo león	21.5	26.0	26.1	31.3	33.2	35.1	35.3	37.6	32.5	30.2	25.5	23.9	29.9
Oaxaca	28.3	31.8	32.3	33.8	34.6	31.9	30.8	31.7	31.2	29.4	29.3	28.5	31.1
Puebla	23.4	26.8	27.5	29.3	30.6	27.8	26.9	27.9	26.8	25.6	25.0	24.3	26.8
Querétaro	24.7	28.1	29.6	30.9	33.2	29.9	28.6	30.6	28.7	27.4	26.5	24.6	28.6
Quintana Roo	29.6	31.9	32.7	33.6	34.9	35.4	36.0	35.5	35.0	33.2	31.1	30.3	33.3
San Luis Potosí	24.8	29.4	29.2	34.5	36.3	35.1	34.6	36.6	33.3	31.4	27.2	25.9	31.5
Sinaloa	29.3	29.5	32.6	33.9	35.3	37.6	37.6	36.1	34.6	34.6	32.2	29.2	33.5
Sonora	23.1	22.5	27.7	31.3	32.0	38.2	38.6	37.9	34.3	32.2	27.8	23.2	30.7
Tabasco	28.1	31.3	32.0	34.1	37.6	35.0	34.5	35.3	33.7	32.3	29.9	29.0	32.7
Tamaulipas	23.4	27.6	28.1	32.5	34.8	36.2	36.1	38.1	34.3	31.3	26.4	25.6	31.2
Tlaxcala	22.4	25.1	26.4	27.1	27.6	24.4	23.9	24.2	23.5	22.4	22.4	21.8	24.3
Veracruz	24.1	27.9	27.8	30.8	33.7	31.7	31.0	31.9	30.3	28.5	25.5	25.4	29.1
Yucatán	28.8	33.0	33.6	35.8	37.4	36.6	35.7	35.6	34.7	33.4	30.5	29.9	33.8
Zacatecas	22.3	25.9	28.4	29.1	31.3	30.5	28.1	28.6	26.8	26.4	24.2	22.7	27.0
Nacional	24.4	26.7	28.8	31.5	33.0	34.1	33.5	33.9	31.5	29.8	26.7	24.8	29.9

Nota. Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la Conagua, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

Anexo 3

Temperatura media a nivel nacional y por entidad federativa de los meses de enero a diciembre de 2019, valores expresados en grados Celsius (°C).

ENTIDAD FEDERATIVA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Aguascalientes	14.0	16.9	19.0	19.6	22.3	23.2	21.4	20.9	19.5	18.6	16.7	13.8	18.8
Baja california	14.3	12.2	15.6	20.4	20.4	24.1	25.6	28.1	25.3	21.0	17.9	13.6	19.9
Baja california sur	18.7	18.4	20.3	22.5	22.6	26.5	29.6	30.0	28.4	25.6	22.8	18.9	23.7
Campeche	23.3	26.6	26.9	28.7	31.1	29.9	29.0	29.3	28.7	28.2	26.0	24.2	27.7
Coahuila	13.5	17.1	18.8	22.8	26.4	28.3	28.7	30.5	27.4	22.8	17.6	14.7	22.4
Colima	25.9	25.5	26.2	25.4	26.7	29.3	29.1	29.1	28.6	27.9	28.0	26.6	27.4
Chiapas	23.0	24.8	25.4	26.5	27.7	26.6	26.3	26.7	26.3	25.8	24.8	23.2	25.6
Chihuahua	11.0	12.8	16.4	18.9	22.0	26.3	26.4	25.8	22.8	19.0	15.0	10.8	18.9
Ciudad de México	15.4	18.1	19.2	20.2	21.4	20.1	18.9	19.8	19.4	19.1	17.9	15.7	18.8
Durango	12.6	15.6	17.6	19.0	20.9	24.5	23.3	23.9	21.6	19.8	15.9	12.6	18.9
Guanajuato	15.5	18.0	20.2	20.9	23.4	22.6	20.9	21.3	20.5	20.1	18.6	15.6	19.8
Guerrero	23.3	24.6	25.9	25.9	26.7	26.5	25.7	26.4	25.8	25.4	25.3	24.3	25.5
Hidalgo	15.4	19.0	19.5	21.4	23.7	22.0	21.1	21.3	20.4	20.0	18.5	15.5	19.8
Jalisco	17.3	19.6	21.4	21.8	24.2	25.4	23.5	23.6	23.1	22.4	21.1	18.5	21.8
Estado de México	12.3	14.6	16.1	16.8	18.3	17.7	16.4	16.5	15.9	15.7	14.7	12.5	15.6
Michoacán	17.5	19.9	21.5	21.8	23.9	23.5	22.3	21.9	21.5	21.2	20.6	18.3	21.2
Morelos	19.2	21.9	24.4	24.6	25.4	23.6	22.4	22.6	22.4	21.7	21.2	19.5	22.4
Nayarit	22.9	23.6	24.4	25.3	26.7	29.9	29.5	28.7	28.4	28.1	27.0	23.6	26.5
Nuevo león	14.2	18.2	19.4	22.7	26.5	28.2	27.9	29.8	26.4	23.4	18.3	16.2	22.6
Oaxaca	21.4	24.3	24.4	25.6	26.7	25.8	24.3	25.3	24.8	23.7	22.8	21.2	24.2
Puebla	15.2	18.1	18.9	20.4	22.1	20.8	19.6	20.3	19.7	18.9	17.8	16.0	19.0
Querétaro	16.6	19.2	20.8	22.3	25.0	23.2	21.7	23.3	21.8	20.8	19.4	16.2	20.9
Quintana Roo	23.9	26.7	27.0	28.2	30.1	30.6	30.7	30.4	29.6	28.7	26.2	24.9	28.1
San Luis Potosí	18.4	21.8	22.2	25.5	29.2	28.5	27.7	29.0	26.8	25.0	21.2	19.1	24.5
Sinaloa	20.4	20.8	22.7	24.2	26.0	30.0	31.0	30.2	29.0	28.2	25.3	21.2	25.8
Sonora	14.6	14.4	18.5	21.4	22.5	28.7	30.9	30.8	27.8	23.7	20.4	15.2	22.4
Tabasco	23.5	26.0	26.4	28.1	31.3	29.8	29.0	29.8	28.8	27.9	25.7	24.4	27.6
Tamaulipas	17.4	21.0	22.2	25.1	29.3	30.4	30.0	31.6	28.8	25.6	20.4	19.1	25.1
Tlaxcala	12.3	14.9	16.4	17.4	18.6	17.8	16.7	16.7	16.4	15.7	14.5	12.3	15.8
Veracruz	18.9	21.9	22.0	23.8	27.2	26.2	25.2	25.8	24.9	23.6	20.6	19.5	23.3
Yucatán	22.5	25.9	26.3	28.3	30.4	30.2	29.1	29.2	28.9	28.1	25.1	23.6	27.3
Zacatecas	13.1	16.0	18.0	18.5	21.1	22.6	20.9	21.3	19.9	18.9	16.5	13.2	18.3
Nacional	16.6	18.7	20.5	22.6	24.8	26.7	26.5	27.0	25.2	23.0	20.0	17.1	22.4

Nota. Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

Anexo 4

Temperatura mínima promedio a nivel nacional y por entidad federativa de los meses de enero a diciembre de 2019, valores expresados en grados Celsius (°C).

ENTIDAD FEDERATIVA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Aguascalientes	4.8	7.1	8.7	9.4	12.6	15.7	14.2	13.4	12.2	11.3	8.9	5.0	10.3
Baja california	8.0	6.5	9.0	13.2	14.3	17.6	18.5	20.9	18.8	13.6	11.4	8.2	13.3
Baja california sur	12.1	12.1	13.0	15.3	15.9	19.9	23.9	24.6	23.2	19.4	17.3	12.6	17.4
Campeche	17.2	20.0	20.2	21.8	24.5	24.0	23.0	23.3	23.2	23.2	20.9	18.5	21.7
Coahuila	6.4	9.6	12.1	14.5	19.8	21.5	21.7	23.4	21.2	15.5	10.5	6.4	15.2
Colima	18.6	18.0	18.3	17.5	19.7	23.5	23.2	23.7	23.3	22.8	22.5	20.3	21.0
Chiapas	16.4	17.4	18.2	19.0	21.1	21.0	20.4	20.6	20.6	20.6	19.0	16.8	19.3
Chihuahua	1.8	4.1	6.9	8.7	12.0	16.7	18.3	18.4	16.0	11.0	7.6	1.9	10.3
Ciudad de México	8.1	10.6	11.4	12.9	14.0	14.2	13.0	13.6	13.8	13.6	11.5	8.3	12.1
Durango	2.6	5.4	7.1	8.3	10.1	15.5	15.3	16.0	14.3	11.5	7.9	2.8	9.7
Guanajuato	6.4	8.0	10.3	10.9	13.9	15.0	13.6	13.9	13.3	13.0	10.9	6.6	11.3
Guerrero	15.9	16.7	18.2	18.1	19.2	20.0	19.2	20.2	19.8	19.7	19.1	17.1	18.6
Hidalgo	7.5	10.2	10.8	12.3	15.2	15.4	14.6	14.1	13.9	13.7	11.8	7.4	12.2
Jalisco	7.9	9.5	10.9	11.2	14.2	17.6	16.5	16.9	16.6	15.8	14.1	10.1	13.4
Estado de México	3.0	4.7	6.2	7.1	9.0	10.6	9.6	9.5	9.2	9.2	7.5	4.2	7.5
Michoacán	8.1	9.8	11.3	11.3	14.0	15.7	14.7	14.5	14.3	14.2	13.0	9.5	12.5
Morelos	10.1	12.6	15.4	15.3	16.8	17.3	16.1	15.9	16.0	15.9	14.5	11.3	14.8
Nayarit	14.6	15.2	14.4	15.8	17.8	22.8	23.2	23.5	23.2	23.0	20.7	16.4	19.2
Nuevo león	6.9	10.3	12.7	14.0	19.8	21.2	20.5	21.9	20.3	16.5	11.1	8.4	15.3
Oaxaca	13.9	16.8	16.5	17.4	18.9	19.6	17.8	18.9	18.5	17.9	16.4	14.0	17.2
Puebla	6.9	9.5	10.4	11.5	13.6	13.7	12.4	12.7	12.6	12.3	10.5	7.7	11.2
Querétaro	8.5	10.3	12.0	13.6	16.8	16.5	14.9	16.0	14.9	14.2	12.2	7.8	13.1
Quintana Roo	18.3	21.5	21.2	22.7	25.3	25.8	25.4	25.3	24.3	24.3	21.4	19.4	22.9
San Luis Potosí	11.9	14.2	15.3	16.5	22.1	21.9	20.7	21.4	20.2	18.6	15.3	12.4	17.5
Sinaloa	11.6	12.0	12.8	14.6	16.7	22.3	24.4	24.3	23.4	21.8	18.5	13.2	18.0
Sonora	6.0	6.2	9.2	11.5	12.9	19.1	23.3	23.8	21.2	15.3	13.0	7.2	14.1
Tabasco	18.8	20.7	20.8	22.1	25.1	24.6	23.6	24.3	23.9	23.6	21.5	19.8	22.4
Tamaulipas	11.3	14.4	16.3	17.7	23.7	24.5	23.8	25.0	23.4	19.8	14.5	12.7	18.9
Tlaxcala	2.2	4.8	6.3	7.7	9.7	11.2	9.5	9.2	9.3	9.0	6.6	2.9	7.4
Veracruz	13.6	15.9	16.1	16.9	20.7	20.7	19.4	19.7	19.4	18.7	15.6	13.7	17.5
Yucatán	16.1	18.8	19.0	20.7	23.4	23.9	22.6	22.9	23.0	22.7	19.7	17.3	20.8
Zacatecas	3.9	6.2	7.7	8.0	10.9	14.7	13.7	14.1	12.9	11.4	8.7	3.8	9.7
Nacional	8.8	10.6	12.2	13.7	16.6	19.3	19.6	20.2	18.9	16.2	13.4	9.5	14.9

Nota. Con información disponible en diciembre de 2019 en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la CONAGUA, cualquier cálculo posterior podrá resultar diferente.

Bibliografía

AEMET. (2018). Meteoglosario Visual. Diccionario ilustrado de meteorología. Disponible en: https://meteoglosario.aemet.es/

Allan R. J, J. A. Lindesay and D. E. Parker (1996). ENSO and climate variability in the past 150 years. In: El Niño and the southern oscillation, Multistage Variability and Global and Regional Impacts. (H. F. Díaz and V. Margrave, Eds.). Cambridge, UK, 3-56.

BBC News. (2020). Hundreds of temperature records broken over summer. Disponible en: https://www.bbc.com/news/science-environment-49753680

Earthobservatory.nasa.gov. (2020). Unusual Monsoon Season Causes Flooding in India. Disponible en: https://earthobservatory.nasa.gov/images/145703/unusual-monsoon-season-causes-flooding-in-india

Ferreira, R. N., and W. H. Schubert, 1997: Barotropic aspects of ITCZ breakdown. J. Atmos. Sci., 54, 261-285

Funk, C., Peterson P., Landsfeld M., Pedereros, D., Verdin J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison L., Hoell, A., et al. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations- a new environmental record for monitoring extremes. Scientific data, 2.

Hanley D, Bourassa M, so 'Brian J, Smith S, Spade E. (2003). A quantitative evaluation of ENSO indices. Journal of Climate.16: 1249–1258.

Huffpost.com. (2020). HuffPost is now a part of Verizon Media. Disponible en: https://www.huffpost.com/entry/wildfires-california-amazon-indonesia-climate-change_n_5dcd3f4ee4b0d43931d01baf

Imster, E. (2020). 2019's Arctic sea ice minimum 2nd-lowest on record | EarthSky.org. Earthsky.org. Available at: https://earthsky.org/earth/2019-arctic-sea-ice-minimum-2nd-lowest-video

Liebmann, B., Bladé, I., Kiladis, G. N., Carvalho, L. M., B. Senay, G., Allured, D., ... & Funk, C. (2012). Seasonality of African precipitation from 1996 to 2009. Journal of Climate, 25(12), 4304-4322.

Mosiño, A. P., & García, E. (1966). Evaluación de la sequía intraestival en la República Mexicana. In Proc. Conf. Reg. Latinoamericana Unión Geogr. Int (Vol. 3, pp. 500-516).

NASA. (2020). 2019 Arctic Sea Ice Minimum Tied for Second Lowest On Record. Disponible en: https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019-arctic-sea-ice-extent-fourth-lowest-on-record

Nsidc.org. (2020). Arctic sea ice reaches second lowest minimum in satellite record | Arctic Sea Ice News and Analysis. Disponible en: http://nsidc.org/arcticseaicenews/2019/09/arctic-sea-ice-reaches-second-lowest-minimum-in-satellite-record/

Masters, J. (2020). The Top 10 Weather and Climate Stories of 2019. Scientific American Blog Network. Available at: https://blogs.scientificamerican.com/eye-of-the-storm/the-top-10-weather-and-climate-stories-of-2019/

Masters, J. (2020). A Review of the Atlantic Hurricane Season of 2019. Scientific American Blog Network. Available at: https://blogs.scientificamerican.com/eye-of-the-storm/a-review-of-the-atlantic-hurricane-season-of-2019/

Organización Meteorológica Mundial. (2019). El Tiempo. Recuperado de https://public.wmo.int/es/nuestro-mandato/el-tiempo

Sheinbaum (2003).Current theories on El Niño-Southern Oscillation: A review. Geophysical International, Vol. 42, Núm. 3, pp. 291-305.

Wang, C-C., and G. Magnusdottir, 2005: ITCZ breakdown in three-dimensional flows. J. Atmos. Sci., 62, 1497–1512.

World Meteorological Organization. (2020). 2019 concludes a decade of exceptional global heat and high-impact weather. Disponible en: https://public.wmo.int/en/media/press-release/2019-concludes-decade-of-exceptional-global-heat-and-high-impact-weather

World Meteorological Organization. (2020). 2019 set to be 2nd or 3rd warmest year on record. Disponible en: https://public.wmo.int/en/media/news/2019-set-be-2nd-or-3rd-warmest-year-record

World Meteorological Organization. (2020). Global Climate in 2015-2019: Climate change accelerates. Disponible en: https://public.wmo.int/en/media/press-release/global-climate-2015-2019-climate-change-accelerates

World Meteorological Organization. (2020). Greenhouse gas concentrations in atmosphere reach yet another high. Disponible en: https://public.wmo.int/en/media/press-release/greenhouse-gas-concentrations-atmosphere-reach-yet-another-high.

Zhang Y, Wallace JM, Battisti DS (1997) ENSO-like interdecadal variability: 1900–93. J Clim 10:1004–1020.