

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Tendencias Mensuales de Índices de Precipitación en México

Por:

ALEJANDRA JIMÉNEZ VELÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Tendencias Mensuales de Índices de Precipitación en México

Por:

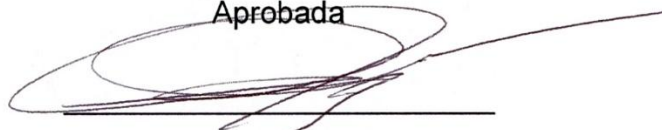
ALEJANDRA JIMÉNEZ VELÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada



Dr. Jorge Méndez González

Asesor Principal



Dr. Alejandro Zárate Lupercio

Coasesor



Dr. Mario Alberto García Aranda

Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2015

Dedicatoria

La consumación de este logro es dedicado principalmente para tres mujeres muy importantes en mi vida, Eva Jiménez Velázquez (†), Narcisa Jiménez Velázquez y Filomena Velázquez Salas, y para un hombre que ha sido un ejemplo a seguir ya que siempre ha estado presente dando su cariño de Padre y del cual me siento completamente orgullosa Esteban Jiménez Velázquez, los cuales han sido mi fuente de energía y por ellos me encuentro en este lugar. Al igual que mis hermanas Guadalupe y Virginia, mi pequeña sobrina Gabriela a mis tíos y primos que me han brindado su apoyo y confianza en todo este recorrido.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme la vida, fuerza y salud para llegar hasta donde me encuentro en compañía de las personas que aprecio.

A mi familia por su apoyo incondicional y la confianza depositada en mí para lograr esta meta que me propuse, un infinito agradecimiento para ellos Micaela, Pablo, Amada, Elena, Blas (†), Yolanda, Martín, Mundo, Rosa Linda, Eduardo y Danny los cuales conforman parte de mi gran familia y que siempre estuvieron allí dándome ánimos para salir adelante.

Mi gratitud para mis madrinas Estela Rocha y Rosy Vásquez que me han dado su mano para sostenerme cuando he estado a punto de caer y formar parte de mi desarrollo como persona y como profesional.

Para mi ALMA TERRA MATER por darme la oportunidad de formar parte de ella, y lograr sacar lo mejor de mí para mi vida profesional.

A mis asesores el Dr. Jorge Méndez, Dr. Alejandro Zarate y el Dr. Mario García por su paciencia y apoyo para este trabajo y las enseñanzas dentro del aula de clases.

Al M.C. Juan Antonio Encina Domínguez por su apoyo para la elaboración del proyecto y sus consejos para realizar un buen trabajo.

A cada uno de los docentes que conforman el Departamento de Forestal, por su aportación para alimentación de mi conocimiento, por la paciencia y confianza que me tuvieron.

Y claro agradecer al vida o destino que puso en mi camino a unos excelentes compañeros, una generación de la cual aprendí demasiado y en la cual encontré a esa familia que se elige a voluntad llamados amigos los cuales son Cecilia Pérez, José Luis Elías, Denisse Gómez, María Hernández, Alejandro Gómez, Manuel Pérez, Eduardo Santiago, Xóchitl Cervantes y Rosa Linda Mondragón, con los cuales pasé buenos y malos momentos, con el apoyo y confianza en nosotros nos mantuvimos de pie y aún a través de la distancia siempre nos mantuvimos unidos.

La presente tesis es parte del proyecto de investigación financiado por el Fondo Sectorial CONAFOR-CONACyT, denominado “Variabilidad climática e interacción con otros factores que afectan la dinámica poblacional de descortezadores en bosques amenazados de México”, registro CONAFOR-2014, C01-234547”, cuyas instituciones responsables son la Universidad Autónoma de Querétaro y la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Índice

Resumen.....	I
1 Introducción.....	1
2 Objetivos.....	4
2.1 General.....	4
2.2 Específicos.....	4
3 Hipótesis.....	5
4 Revisión de literatura.....	6
4.1 Precipitación.....	6
4.2 Formación de la precipitación.....	6
4.3 Clasificación de la precipitación.....	7
4.3.1 De acuerdo a sus características físicas.....	7
4.3.2 De acuerdo con el mecanismo de formación.....	9
4.4 Distribución espacial y temporal de la precipitación.....	11
4.5 Factores que afectan las condiciones de precipitación en la República Mexicana	
12	
4.5.1 Estudios afines.....	13
5 Materiales y Métodos.....	16
5.1 Descripción del área de estudio.....	16
5.2 Datos.....	17

5.3	Procedimientos	17
5.4	Prueba de tendencia Mann-Kendall	18
5.5	Distribución geográfica de la tendencia	19
6	Resultados.....	21
6.1	Número de días sin lluvia	25
6.2	Número de días con lluvia.....	25
6.3	Precipitación promedio ponderada por número de días con lluvia.....	25
6.4	Precipitación máxima.....	26
6.5	Desviación estándar.....	30
6.6	Precipitación total	30
6.7	Precipitación total del mes, de días con lluvia \geq a 5 mm/año.....	34
6.8	Precipitación total del mes, de días con lluvia \geq a 10 mm/año.....	34
6.9	Número de días con lluvia \geq a 5 mm/año	34
6.10	Número de días con lluvias \geq a 10 mm/año.....	38
7	Discusión	40
8	Conclusión.....	44
9	Anexo	45
10	Bibliografía.....	46

Índice de figuras

Figura 1. Distribución geográfica de las estaciones climatológicas evaluadas en la República Mexicana.....	20
Figura 2. Porcentaje del número de estaciones climatológicas con tendencias positivas y negativas en la República mexicana.....	22
Figura 3. Promedio mensual por variable en la República mexicana.....	23
Figura 4. A) Distribución mensual de las tendencias significativas positivas y negativas por índice. B) Porcentaje de estaciones significativas por índice.....	24
Figura 5. Patrones geográficos de la tendencia de número de días sin lluvia del mes (días/año) en la República Mexicana.....	27
Figura 6. Patrones geográficos de la tendencia de número de días con lluvia del mes (días/año) en la República Mexicana.....	28
Figura 7. Patrones geográficos de la tendencia de precipitación promedio ponderada con número de días con lluvias del mes (mm/año) en la República Mexicana.....	29
Figura 8. Patrones geográficos de la tendencia de Precipitación máxima diaria del mes (mm/año) mensual en la República Mexicana.....	31
Figura 9. Patrones geográficos de la tendencia de desviación estándar mensual (mm/año) en la República Mexicana.....	32
Figura 10. Patrones geográficos de la tendencia de precipitación total mensual (mm/año) en la República Mexicana.....	33
Figura 11. Patrones geográficos de la tendencia de precipitación total del mes, de días con lluvia \geq a 5 (mm/año) en la República Mexicana.....	35

Figura 12. Patrones geográficos de la tendencia de precipitación total del mes, de días con lluvias \geq a 10 (mm/año) en la República Mexicana.....	36
Figura 13. Patrones geográficos de la tendencia de Número de días del mes con lluvias \geq a 5 (mm/año) mensual en la República Mexicana.....	37
Figura 14. Patrones geográficos de la tendencia de Número de días del mes con lluvias \geq a 10 (mm/ año) mensual en la República Mexicana.....	39

RESUMEN

El presente estudio analiza las tendencias de índices de precipitación mensual en la República Mexicana con el objetivo de identificar las regiones susceptibles a cambios (incrementos o decrementos). Los datos analizados están conformados por 581 estaciones meteorológicas distribuidas en todo el territorio mexicano, la información fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional Mexicano (SMN), variando desde 1950 - 2010. Un total de 10 índices fueron evaluados mediante la prueba no paramétrica de Mann-Kendall para después obtener la significancia estadística ($p \leq 0.10$) de la tendencia. Los resultados obtenidos muestran que el número de días sin lluvia, número de días con lluvia y precipitación media presentan cambios importantes, representando 13.36, 12.66 y 12.08 % de las estaciones evaluadas, de las cuales el número de días sin lluvia y precipitación media presentan cambios significativos crecientes (64.84 y 64.22 %) en la zona centro y sur del país, mientras que el número de días con lluvia presenta decremento (68.44 %) en la zona centro y occidente de México. Los índices de precipitación con menores cambios fueron: precipitación total del mes con lluvia mayor o igual a 10 mm, número de días del mes con lluvias mayor o igual a 5 mm y número de días del mes con lluvias mayor o igual a 10 mm, con un 4.68, 4.48 y 3.75 % de estaciones significativas.

Palabras claves: precipitación, tendencia, índice, México.

Correo Electrónico; Alejandra Jiménez Velázquez, cachis_ajv@hotmail.com

1 INTRODUCCIÓN

Se espera que debido a las emisiones antrópicas de gases invernadero la temperatura media de la tierra se eleve entre 1.1 y 6.4 °C durante el presente siglo, dependiendo de los escenarios socioeconómicos y de las emisiones resultantes de los mismos. Es muy probable que este calentamiento altere los patrones globales de circulación atmosférica y los ciclos hidrológicos, cambiando los regímenes de precipitación regional (IPCC, 2001).

Ante las evidencias de un cambio climático a escala global, los análisis de tendencia de variación climática se han convertido en un tema de gran interés para la mayoría de los países. La teoría más aceptada sobre el origen del cambio climático es que es consecuencia de la emisión de gases de efecto invernadero por parte de la actividad del hombre. El calentamiento global posiblemente producirá cambios en el ciclo hidrológico en general y en la precipitación en particular. Aunque no se produzcan cambios en la cantidad de precipitación, con gran probabilidad se esperan cambios en su distribución espacial, en la frecuencia y la tasa de precipitación (IPCC, 2007).

La respuesta de los ecosistemas terrestres al cambio global, y los efectos resultantes de esta variación climática sobre los recursos naturales de los que la humanidad depende, son elementos de gran interés para la sociedad y la comunidad científica (Miranda, 2007).

Diversos autores Back, (2001) y Massmann et al. (2004), coinciden en definir la tendencia de una serie como los cambios sistemáticos, continuos y graduales en el tiempo, de aumento o disminución de la variable estudiada.

Las tendencias temporales de las variables climatológicas se deben a variabilidad climática natural o a factores antropogénicos, muy difíciles de cuantificar. Largas tendencias temporales pueden estar enmascaradas por cambios en la circulación (Beatriz, 2007).

Por ejemplo, se ha documentado que en Venezuela la zona norte costera y la mayor parte de la región Andina presentan una tendencia negativa en la precipitación, mientras que en la zona sureste del estado Bolívar presenta una tendencia positiva. Para llegar a estos resultados Guenni et al. (2008) analizaron 113 estaciones utilizando la prueba de Alexandersson (1986) la cual determinó si existen estaciones con cambios importantes.

También se ha demostrado que la mayor variación de la precipitación se presenta en los trópicos y latitudes más altas y las mínimas alrededor de 13 ° S y 11 ° N (Westra *et al.*, 2013).

Ahmad et al. (2014) marcan que predecir la tendencia de la precipitación con precisión es de vital importancia en el desarrollo económico de un país.

Con los estudios relacionados con el cambio de la precipitación se ha encontrado que estos a menudo son perjudiciales para el medio ambiente y la economía; aunque la mayor parte se concentra en el medio ambiente y/o agrícola, tomando por ejemplo las inundaciones, deslizamientos de tierra, erosión, etc. (Gil *et al.*, 2012).

Para el presente estudio se utilizó el estadístico no paramétrico de Mann – Kendall que se ha utilizado para calcular la significancia de tendencias en las series de tiempo hidrometeorológicas. La principal razón de su aplicación, en relación con

otras técnicas paramétricas, radica en ser el indicado para distribuciones que no presentan normalidad estadística, como sucede con las variables climáticas (Andrés *et al.*, 2010).

2 OBJETIVOS

2.1 General

- ✚ Evaluar las tendencias espacio temporales de diez índices de precipitación con énfasis mensual en la República Mexicana.

2.2 Específicos

- ✚ Analizar el comportamiento mensual de índices de precipitación en México mediante una prueba no paramétrica y determinar su distribución geográfica.
- ✚ Generar patrones geográficos mensuales de tendencias de índices de precipitación en México.

3 HIPÓTESIS

✚ **Ho:** No existe una tendencia significativa (incremento/decremento) en los índices de la precipitación mensual.

✚ **Ha:** Existe una tendencia (incremento/decremento) de los índices de la precipitación mensual.

4 REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Precipitación

García (2004) describe la precipitación como la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre proveniente de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido o en estado sólido. Es uno de los procesos meteorológicos más importantes de la hidrología, y junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico del agua. La evaporación de la superficie del océano es la principal fuente de humedad para la precipitación, se puede decir que es el 90 % de la precipitación que cae en el continente. Sin embargo, la mayor cantidad de precipitación no necesariamente cae sobre los océanos, ya que la circulación atmosférica transporta la humedad grandes distancias, como evidencia de ello se pueden observar algunas islas desérticas. La localización de una región con respecto a la circulación atmosférica, su latitud y distancia a una fuente de humedad son principalmente los responsables de su clima. Es conocida la dificultad de trabajar con el parámetro precipitación dada su característica no continua y a las diferentes fuentes de error (Hoffman *et al.*, 1996).

4.2 Formación de la precipitación

La humedad siempre está presente en la atmósfera y la precipitación proviene de la humedad, pero la presencia de humedad no garantiza que exista precipitación. Para que se produzca la precipitación es necesario la acción de algunos mecanismos que

enfrien el aire lo suficiente como para llevarlo o acercarlo a la saturación (Andrés *et al.*, 2010).

Los factores más importantes que conllevan a una precipitación significativa son: la colisión y la fusión de las partículas de la nube y de la precipitación. La colisión entre la nube y las partículas de la precipitación se presenta debido a diferencias en velocidades de caída como resultado de diferencias de tamaño. Las partículas que chocan se unen formando partículas más grandes, y el proceso se puede repetir varias veces, hasta cuando las gotas tienen el suficiente tamaño como para que puedan caer (García, 2004).

4.3 Clasificación de la precipitación

Segeer et al. (2006) mencionan en su libro de Hidrología 1, de la Universidad Nacional de Cuyo la clasificación de la precipitación tomando a consideración sus características físicas y el mecanismo de formación, las cuales se muestran enseguida:

4.3.1 De acuerdo a sus características físicas

La precipitación puede adquirir diversas formas como producto de la condensación del vapor de agua atmosférico, formado en el aire libre o en la superficie de la tierra, y de las condiciones locales, siendo las más comunes las que se detallan a continuación:

- **Llovizna**

Consiste en pequeñas gotas de agua líquida cuyo diámetro fluctúa entre 0.1 y 0.5 mm; debido a su pequeño tamaño tienen un asentamiento lento y en ocasiones parecen que flotarían en el aire.

- **Lluvia**

Consiste de gotas de agua líquida comúnmente mayores a los 5 mm de diámetro.

- **Escarcha**

Es un depósito blanco opaco de gránulos de hielo más o menos separados por el aire atrapado y formada por una rápida congelación efectuada sobre gotas de agua sobrecongeladas en objetos expuestos, por lo que generalmente muestran la dirección predominante del viento. Su gravedad específica puede ser tan baja como 0.2 o 0.3 m/s².

- **Nieve**

Está compuesta de cristales de hielo, de forma hexagonal ramificada, y a menudo aglomerada en copos de nieve, los cuales pueden alcanzar varios centímetros de diámetro. Aparece cuando las masas de aire cargadas de vapor de agua se encuentran con otras cuya temperatura es inferior a 0 °C. La densidad relativa de la nieve recién caída varía sustancialmente, pero en promedio se asume como 0.1.

- **Granizo**

Es la precipitación en forma de bolas de hielo, producida por nubes convectivas. El granizo se forma a partir de partículas de hielo que, en sus desplazamientos por la nube, van "atrapando" gotas de agua.

Los granizos pueden ser esferoidales, cónicos o irregulares en forma, y su tamaño varía desde 5 hasta 125 mm de diámetro, pudiendo llegar a destrozar cosechas.

4.3.2 De acuerdo con el mecanismo de formación

La precipitación puede clasificarse teniendo en cuenta el factor principalmente responsable, ya que lo más frecuente es que sea generada por varios factores, del elevamiento de la masa de aire que la genera. Con base en ello se pueden distinguir tres tipos de precipitación las cuales se describen enseguida:

- **Precipitación ciclónica**

Resulta del levantamiento del aire que converge en un área de baja presión o ciclón. Cuando se encuentran dos masas de aire, una caliente y una fría, en lugar de mezclarse, aparece una superficie de discontinuidad definida entre ellas, llamada frente. El aire frío al ser más pesado, se extiende debajo del aire caliente por lo que el aire caliente se eleva y su vapor de agua se puede condensar y producir precipitación. Si el aire caliente avanza hacia el aire frío, el borde es un frente caliente, el cual tiene una pendiente baja entre 1/100 y 1/300, y el aire caliente fluye hacia arriba lentamente y por encima del aire frío.

Las áreas de lluvia asociadas con estos frentes pueden ser muy grandes y la precipitación es generalmente ligera a moderada y casi continua hasta el paso del frente.

- **Precipitación convectiva**

Se presenta cuando una masa de aire cálido tiende a elevarse, por ser menos pesado que el aire de la atmosfera circundante. La diferencia en temperatura puede ser resultado de un calentamiento diferencial en la superficie, enfriamiento diferencial en la parte superior de una capa de aire, o por la elevación mecánica cuando el aire se fuerza a pasar sobre una masa de aire denso, o sobre una barrera montañosa. A medida que la masa se eleva, el aire se enfría pues cae su punto de precipitación. Esto genera la condensación de parte del vapor de agua dentro de la masa de aire, formando nubes. Estas nubes descargan lluvia con incremento en el calor latente a través del proceso de precipitación.

- **Precipitación orográfica**

Resulta del choque entre las corrientes oceánicas de aire que cruzan sobre la tierra y las barreras montañosas, generando la elevación mecánica del aire, el cual posteriormente se enfría bajo la temperatura de saturación y vierte humedad.

En la naturaleza los efectos de estos diversos tipos de enfriamiento del aire se correlacionan con bastante frecuencia entre sí, y la precipitación resultante no puede ser identificada estrictamente como perteneciente a alguno de estos tipos de precipitación, sino más bien como una interacción entre ellos.

4.4 Distribución espacial y temporal de la precipitación

En el estudio realizado por García (2004) nos muestra que la precipitación no es uniforme pues varía en el espacio y el tiempo de acuerdo con el patrón general de circulación atmosférica y con factores locales propios de cada región. En términos generales, se puede decir que las mayores precipitaciones ocurren cerca del Ecuador y tienden a disminuir cuando aumenta la latitud. Uno de estos factores locales pueden ser las barreras orográficas que a menudo ejercen más influencia en el clima de una región que lo que la cercanía a una fuente de humedad hace. Estos factores climáticos y geográficos determinan la cantidad de humedad atmosférica sobre una región, la frecuencia y clase de tormentas producidas sobre ella y así su precipitación.

Un caso especial es analizar el fenómeno de El Niño, que afecta vastas áreas continentales de Asia, Oceanía, Europa y América. Dicha anomalía es producto de causas esencialmente meteorológicas como lo es el debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur, lo que conlleva a que las aguas cálidas del norte fluyan hacia el sur en el área normalmente ocupada por el agua fría, y el desplazamiento hacia el sur de la zona de Convergencia Intertropical, formada por los vientos alisios del sudeste y los que soplan del noreste; casi a todo ello le sumamos la actividad convectiva

tendremos las condiciones apropiadas para que presenten lluvias torrenciales en todas las zonas directamente involucradas (NatGeo, 2015).

4.5 Factores que afectan las condiciones de precipitación en la República Mexicana

Wallén (1995) resume los factores que afectan las condiciones de la precipitación en la República Mexicana, de la siguiente manera:

- 1) El desplazamiento hacia el Norte o hacia el Sur de la zona intertropical de convergencia, que introduce variaciones anuales de la precipitación. En invierno, cuando esta zona se desplaza hacia el Sur, los alisios actúan solo en la parte sur, en cambio, la parte norte tiene la misma influencia de los vientos del oeste de las altitudes medias. En verano la zona de convergencia se desplaza al Norte, por lo que domina un sistema de vientos del Este o sureste que provienen del centro subtropical de alta presión del Atlántico y van hacia el de baja presión del continente.
- 2) La localización, extensión e intensidad de los centros de alta presión así del Atlántico como del Pacífico, de los que dependen los alisios en el área terrestre mexicana.
- 3) Las perturbaciones en verano, de los alisios del Este, sobre México, en concordancia con la posición de la zona de convergencia que en esta época se desplaza hacia el Norte.

- 4) La influencia de los ciclones que se originan en relación con las “ondas del Este” (easterly waves) y producen gran parte de la precipitación del verano y principios del otoño.
- 5) La influencia de las depresiones ciclónicas asociadas con los vientos del Oeste, de las latitudes medias, que atraviesan la parte norte del país, en invierno.

La variación de la precipitación dentro de una tormenta, es grande y depende de varios factores como son: la magnitud, la duración y el tipo de tormenta por lo que no se puede aplicar un patrón para todos los casos (Albanil *et al.*, 2011).

4.5.1 Estudios afines

Estudiar la variabilidad de la precipitación como elemento fundamental en el ciclo hidrológico en una región es de suma importancia, sin embargo evaluar la variabilidad de los mecanismos que producen los cambios es una tarea compleja (García, 2004).

Se han realizado estudios para revelar el cambio climático en algunas partes del mundo, algunos ejemplos son, las tendencias de la precipitación han sido analizadas por Puertas *et al.* (2011) en la cuenca del Río Cuaca, Colombia; los cuales analizaron la precipitación de manera anual y trimestral obteniendo que la precipitación anual tiene una tendencia significativa con una variación desde -147.3 mm hasta +128.8 mm por un periodo de diez años. A escala trimestral la precipitación presenta una disminución en los meses de junio de 15 hasta 29 mm por decenio.

Independientemente de la ubicación geográfica, los resultados muestran la presencia de cambios en las tendencias de lluvia. Barrera et al. (2004) llevaron a cabo el análisis de la precipitación en los últimos 100 años en España para lo cual se regionalizó en siete áreas basadas en su ubicación geográfica y usando tres periodos para analizar de los cuales se muestra que de 1987 a 1993 no se muestran tendencias importantes, ya que éstas se muestran a partir del año 1997 estos son los resultados obtenidos más importantes.

En España peninsular y las islas Baleares, Luna et al. (2011) llevaron a cabo el estudio de la reconstrucción, homogeneidad y tendencias de la precipitación mensual, analizando 66 estaciones de las cuales solo 10 muestran tendencias negativas durante el periodo de 1951 al 2010, mientras que en el norte de España y al sur de las islas Baleares se presenta una tendencia positiva durante el lapso de 1901 al 2010. Cabe mencionar que en los periodos analizados la distribución de las tendencias no corresponde con alguna de las zonas climatológicamente homogéneas definidas por otros autores.

En el noreste de Estados Unidos Karmeshu (2012) analizó la tendencia de precipitación para nueve estados, el periodo de los datos analizados fue de 1900 a 2011, utilizando la prueba de Mann-Kendall. Dicho estudio nos indica tras la línea de tendencia lineal que existe una tendencia creciente significativa que va desde 0.03 hasta 0.13 mm/año para al menos ocho de los nueve estados que abarcan el área de estudio.

Ahmad et al. (2014) realizaron una investigación en la cuenca de Río Swat, Pakistán, durante un periodo de estudio de 51 años (1961 - 2011) analizando 15 estaciones

mediante la prueba no paramétrica de Mann-Kendall y Spearman. Los resultados mostraron una mezcla de tendencias positivas y negativas en la precipitación mensual, estacional y anual. Una de las estaciones mostró un gran cambio en la temporada de verano a otoño con una tendencia positiva de 7.48 mm/ año, mientras que las estaciones restantes se encuentran en un aumento máximo de 2.18 mm/año.

Durante el 2013, Westra et al. analizaron las tendencias globales de la precipitación anual, con un conjunto de datos de 8,326 estaciones distribuidas por todo el mundo con más de 30 años de registro en el periodo de 1900 a 2009, utilizaron dos técnicas estadísticas, la primera fue la prueba no paramétrica de Mann-Kendall para evaluar la existencia de tendencias monótonas. El segundo fue un análisis de valores extremos generalizada no estacionario, y se utilizó para determinar la fuerza de asociación entre los extremos de precipitación y un promedio de temperatura cerca de la superficie. Los resultados mostraron que más del 50 % de las estaciones estudiadas muestran tendencias crecientes significativas, al igual que existe una asociación estadísticamente significativa de la temperatura cerca de la superficie con la intensidad media de la precipitación. Los autores observan que la mayor variación ocurre en los trópicos y las latitudes más altas y las mínimas alrededor de 13 ° S y 11 ° N. La mayor incertidumbre se ubica cerca del Ecuador, debido al número limitado de registros de precipitación suficientemente largos, y no sigue siendo una necesidad urgente de mejorar la recopilación de datos en esta región para restringir mejor los futuros cambios en la precipitación tropical.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Descripción del área de estudio

La República Mexicana se ubica en el hemisferio Norte, desde el paralelo 14° 30' N hasta el 32° 43' N (García, 2003). Colinda al Norte con Estados Unidos de América, con Guatemala y Belice al sureste, con el Golfo de México y el mar caribe al este y con el océano Pacífico al oeste.

El territorio mexicano abarca 1, 953,162 km² y está distribuido casi por partes iguales, en ambos lados del trópico de cáncer (INEGI, 1997). La topografía del país es resultado de una gran actividad tectónica ocurrida durante el Cenozoico; aproximadamente el 65 % del área del país se encuentra por encima de 1000 m.s.n.m y cerca de 47 % de la superficie tiene pendientes superiores a 27 % (UNAM, 1990).

El clima en el territorio mexicano contiene prácticamente todos los grupos y subgrupos climáticos posibles, existiendo variaciones de climas secos a húmedos con una distancia de pocos kilómetros. El trópico de cáncer marca hacia el norte el clima árido y el semiárido, y hacia el sur el clima húmedo y semihúmedo el cual es influido por los vientos alisios y por los ciclones que se presentan en esta zona. El 39 % del territorio es semicálido (temperatura media anual entre 18 y 22° C), 37 % es cálido (media anual mayor de 22°C), 23 % templado (media anual entre 12 y 18 °C) y el 1 % restante semifrío y frío (media anual menor de 12 °C; Ibíd.). En el territorio mexicano se registra una precipitación media anual de 777 mm. La precipitación pluvial en el noroeste y noreste apenas alcanza un promedio anual de 250 mm,

mientras que el sureste y parte de la costa sur del pacifico presenta una media anual de entre 2000 y 4000 mm (INEGI, 1994). La mayor parte de la precipitación ocurre durante el verano, el resto se reparte durante el año (Mosiño y García, 1974; García, 2003).

5.2 Datos

Los datos fueron obtenidos de estaciones climatológicas distribuidas en todo el país, las cuales son supervisadas por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y varían desde 1950 a 2010, se considera un periodo de 60 años. La información analizada corresponde a registros diarios de precipitación registrada en cada estación climatológica, de las cuales se analizaron 581 estaciones.

Para la selección de estaciones climatológicas se consideraron los siguientes criterios: un porcentaje de información mayor al 80 %, así como un número de registro de al menos 50 años, algunas con menores registros para cubrir espacios geográficos del área de estudio, consistencia anual e interanual y la homogeneidad de las series.

5.3 Procedimientos

El conjunto de datos de precipitación se ordenó por medio de una macro realizada en Excel, obteniendo los siguientes índices:

NDSLL = Número de días sin lluvia del mes.

NDLL = Número de días con lluvia del mes.

PP = Precipitación total del mes (mm).

P_{pmed} = Precipitación promedio ponderada por NDLL del mes (mm).

Nd_5 = Número de días con lluvias \geq a 5 mm.

PP_5 = Precipitación de días con lluvias \geq a 5 mm.

Nd_{10} = Número de días con lluvias \geq a 10 mm.

PP_{10} = Precipitación de días con lluvias \geq a 10 mm.

DE = Desviación estándar de precipitación del mes (mm).

Max = Precipitación máxima diaria del mes (mm).

5.4 Prueba de tendencia Mann-Kendall

Para calcular la tendencia de la precipitación mensual se ha investigado el uso de la prueba Mann-Kendall (MK). Man (1945) utilizó esta prueba al igual que Kendall (1975), posteriormente se derivó la distribución estadística de la prueba. Su ventaja es que no compromete la forma original de la función de distribución de los datos, incluidos los censurados y los datos que faltan y se ha recomendado por la Organización Meteorológica Mundial para uso público, esta prueba ha sido utilizada en Canadá (Burn y Hesch, 2006) y en el sureste de Iran (Hooshmand *et al.*, 2013), para tendencias de variables hidroclimáticas. Por lo tanto, la prueba Mann-Kendall se ha definido como una buena herramienta para la detección de tendencias por otros estudios en aplicaciones similares. La prueba MK considera solo los valores relativos de todos los términos de la serie $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ a analizar.

La estadística de prueba MK viene dada por:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)$$

Donde x_i y x_j son los valores de los datos secuenciales, es el conjunto de datos la longitud de registro, y

$$\text{Sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{si } \left\{ \begin{array}{l} \theta > 0 \\ \theta = 0 \\ \theta < 0 \end{array} \right\} \\ 0 \\ -1 \end{cases}$$

Bajo la hipótesis nula de ninguna tendencia, y el supuesto de que los datos son independientes e idénticamente distribuidos, la media cero y varianza S denotada por σ^2 se calcula como:

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n-5)}{18}$$

La varianza normal estándar se utiliza para las pruebas de hipótesis, y se designa como el índice de tendencia estática de prueba Z , de la siguiente manera:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sigma} & \text{si } \left\{ \begin{array}{l} S > 0 \\ S = 0 \\ S < 0 \end{array} \right\} \\ 0 \\ \frac{s+1}{\sigma} \end{cases}$$

Así, en una prueba de dos colas para la tendencia, la H_0 que no existe una tendencia en el conjunto de datos, o bien se rechaza o se acepta en función de si el estadístico Z calculado es mayor o menor. El valor positivo de Z muestra tendencia creciente y su valor negativo muestra una tendencia decreciente (Hooshmand *et al.*, 2013).

5.5 Distribución geográfica de la tendencia

Posteriormente con los valores mensuales de la pendiente (significativa al $p \leq 0.10$) se procedió a realizar la interpolación con el método de Inverse Distance Weighting (IDW) con la ayuda de ArcView GIS 3.2, de tal manera que se generaron mapas de los diez parámetros de la precipitación para todo el territorio mexicano que muestran

los patrones de la tendencia de la precipitación así como aquellas donde no se registran. Para interpretación de los mapas preferentemente usese solamente la simbología (+ , -), mas que la paleta de colores.

Cabe mencionar que se utilizó la regionalización por zonas geográficas realizada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) para la mejor representación de las zonas que presentan tendencias significativas (Anexo 1).

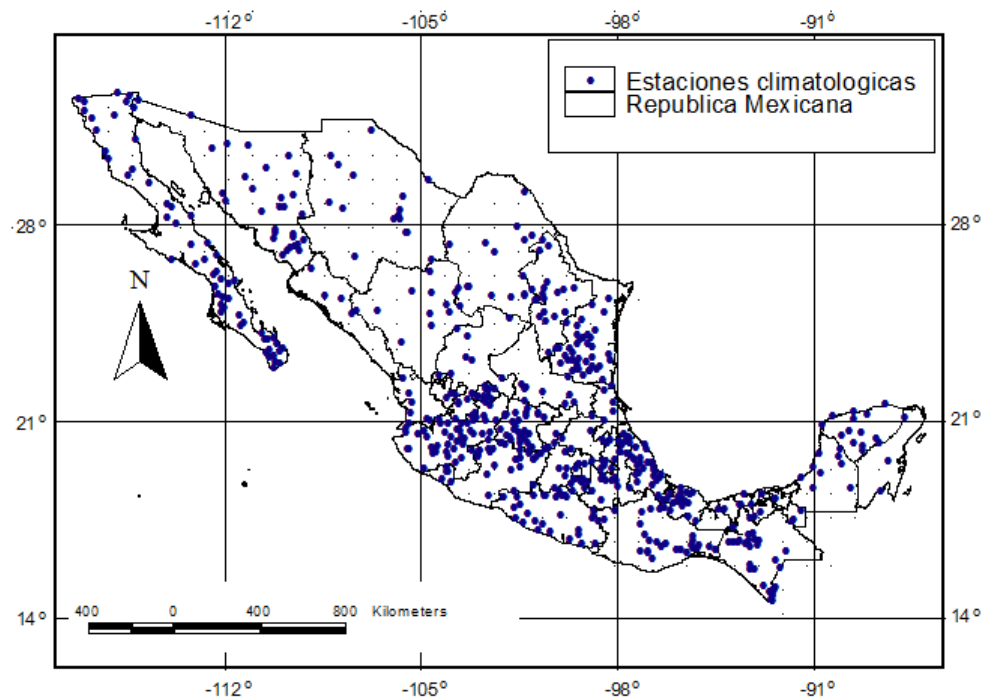


Figura 1. Distribución geográfica de las estaciones climatológicas evaluadas en la República Mexicana.

6 RESULTADOS

Como resultado de la prueba de Mann-Kendall en promedio y considerando todos los índices estudiados se observa que el 7.79 % de las estaciones muestran una tendencia significativa en la precipitación. Se observa que el número de días sin lluvia, número de días con lluvia y precipitación media ocupan los porcentajes más altos con estaciones significativas del 13.36, 12.66 y 12.08 % respectivamente, mientras que los índices que muestran el menor cambio fueron: precipitación con días de lluvia mayor o igual a 10 mm, número de días con lluvias mayor o igual a 5 mm y número de días con lluvias mayor o igual a 10 mm con 4.68, 4.48 y 3.75 % respectivamente.

En la Figura 3 se muestra que los cambios más importantes se presentan en los meses de mayo a octubre, este periodo se ve influenciado por la temporada de lluvias, tormentas y huracanes, como lo marcan Méndez et al. (2007). La mayor distribución de las tendencias significativas de precipitación se ubican en la temporada de verano - otoño. Se puede observar que la distribución del porcentaje de estaciones positivas y negativas estadísticamente significativas es casi similar en cada uno de los índices.

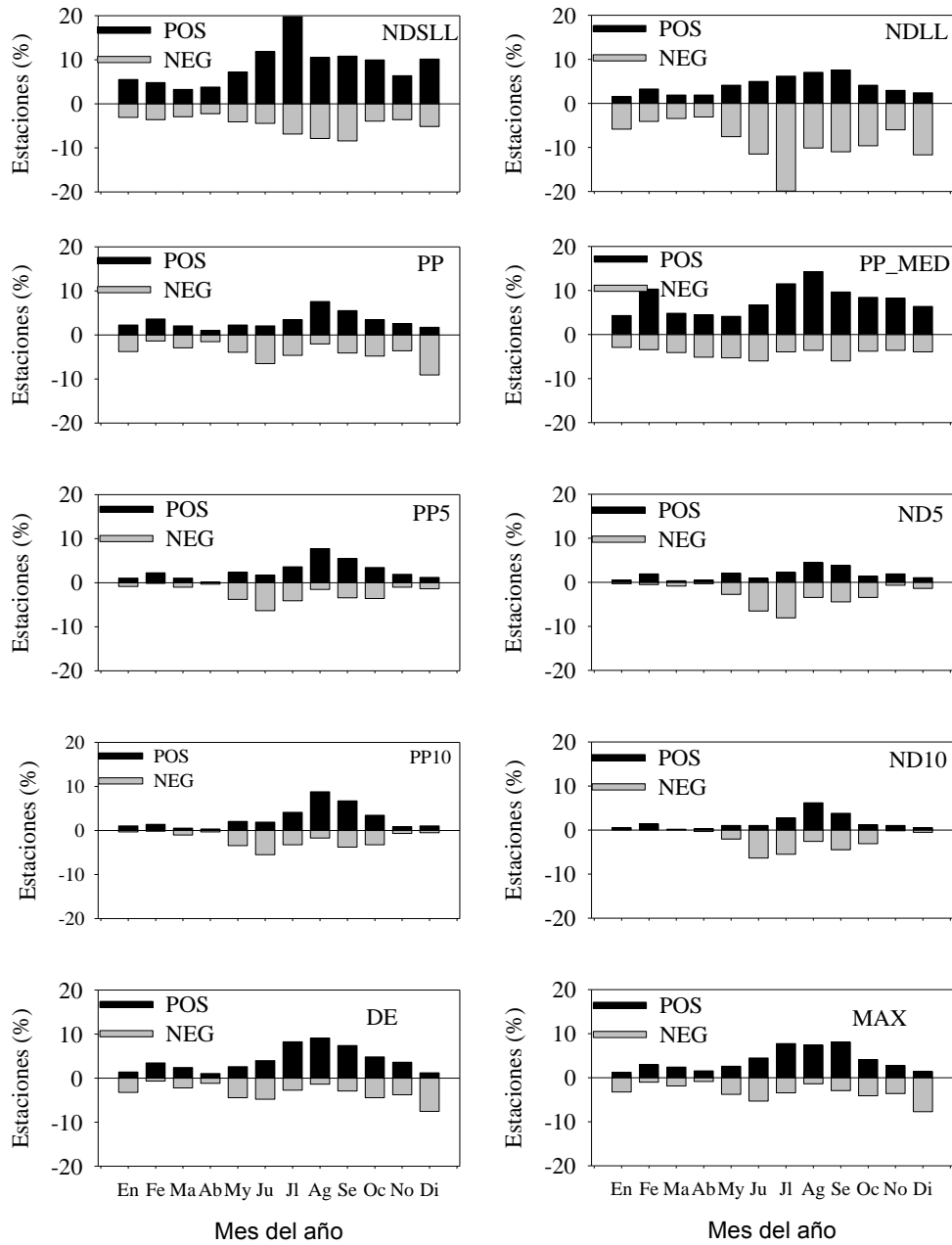


Figura 2. Porcentaje del número de estaciones climatológicas con tendencias positivas y negativas en la República mexicana.

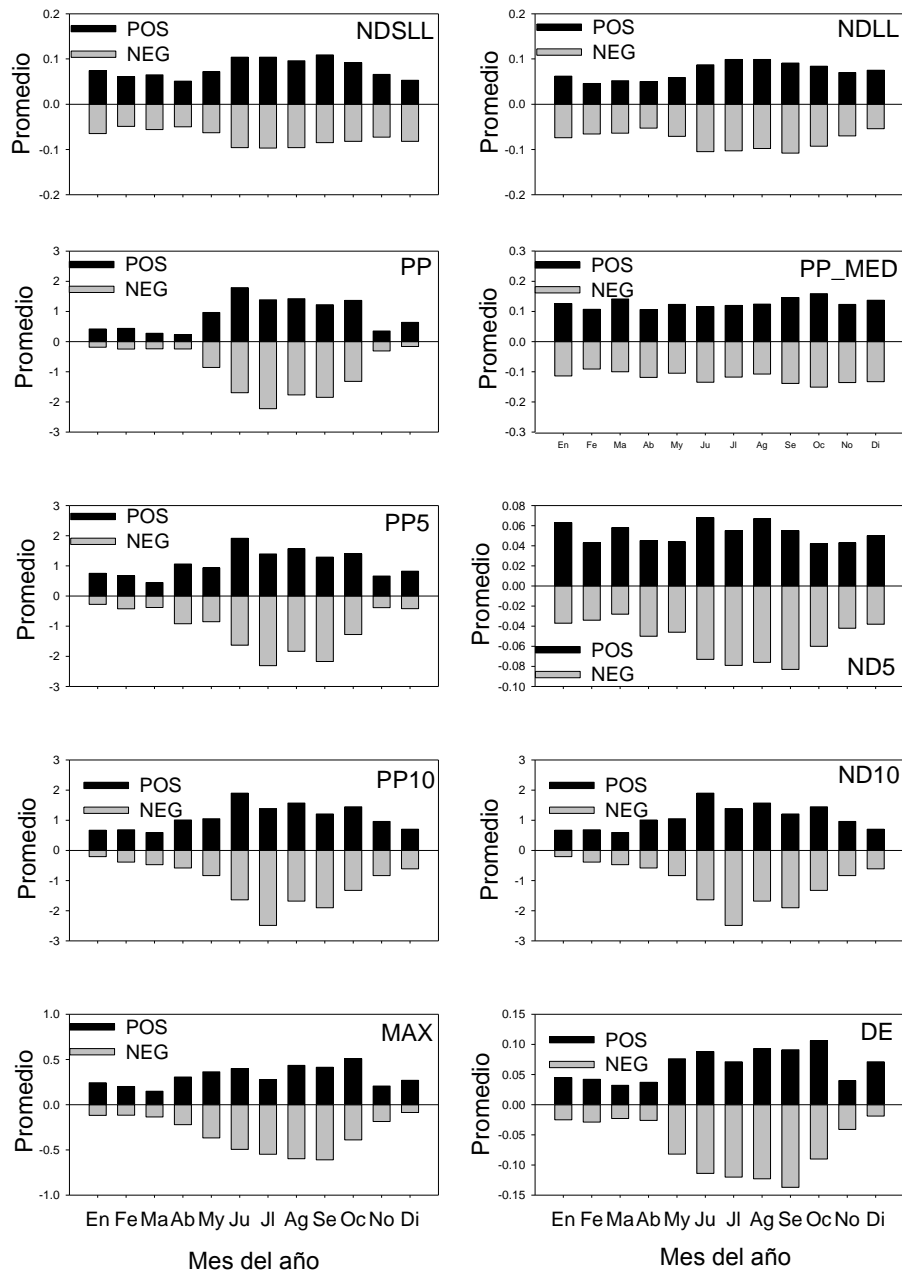


Figura 3. Promedio mensual de la pendiente, de los índices de precipitación en la República mexicana.

La Figura 4 muestra la distribución del porcentaje de estaciones con cambios significativos ($p \leq 0.10$) positivos y negativos en cada índice, permitiendo observar que la mayor parte de los cambios inician durante el mes de mayo hasta el mes de octubre, los índices que muestran de manera más marcada estos cambios son el número de días sin lluvia, número de días con lluvia y precipitación media, ya que sus cambios se muestran entre un 13 y 26 %. Resaltando que el número de días sin lluvia y número de días con lluvia en el mes junio alcanzan hasta el 26 %, mientras que el resto de los índices se encuentran entre 5 y 10 % del total de estaciones analizadas.

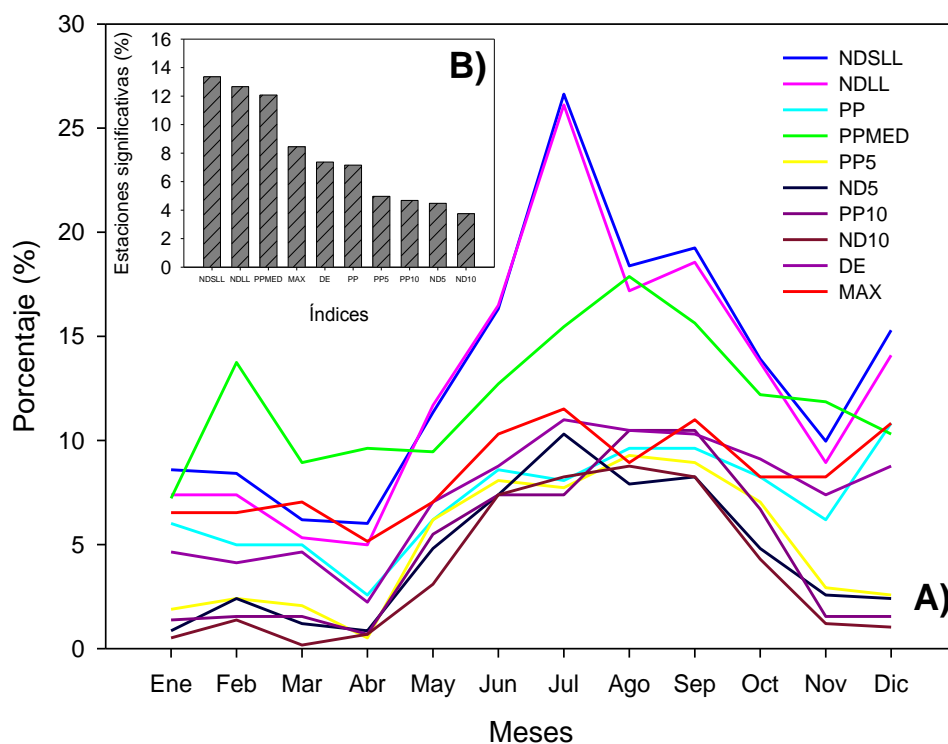


Figura 4. Porcentaje de estaciones con tendencias significativas positivas y negativas escala mensual (A), porcentaje de estaciones significativas por índice escala anual (B).

6.1 Número de días sin lluvia

Este índice es el que experimenta los mayores cambios, mostrando el mayor porcentaje de estaciones con tendencias significativas ($p \leq 0.10$) ya que posee 13.36 % de las 581 estaciones estudiadas (Figura 4B). En la zona sureste, oriente-golfo y centro durante el periodo de enero a octubre se presenta un aumento de días sin lluvia en un promedio del 8.02 % del total de estaciones, en los meses de noviembre y diciembre al noreste, noroeste y sur con una disminución (5.81 %) en número de días (Figura 5). Los rangos de aumento y decremento se ubican de -0.3 a 0.3 días/año.

6.2 Número de días con lluvia

De agosto a diciembre los días con lluvia tienen a incrementar, mientras que para el resto del año estos disminuyen, ambas a una tasa de -0.3 a 0.3 días/año, con un promedio del 4.81 y 7.92 % de estaciones significativas respectivamente, estos representan 12.66 % de estaciones significativas de esta variable (Figura 6). En el norte - centro, centro y sur de México se encuentra el aumento de días lluviosos, mientras que en la zona centro, occidente y oriente - golfo se presenta una disminución.

6.3 Precipitación promedio ponderada por número de días con lluvia

En los meses de abril, junio y noviembre la precipitación promedio tiene una tendencia decreciente de -0.6 mm/año, las cuales representan el 4.9 % del total estaciones analizadas, esta disminución se ubica en la zona noreste y centro del

país; en promedio el 8.19 % de tendencias crecientes se distribuyen en la zona centro, noreste, sur y oriente-centro con un aumento de 0.6 mm/año, durante los meses restantes del año (Figura 7).

6.4 Precipitación máxima

En la zona oriente-golfo, centro y sureste del país se establece una tendencia decreciente significativa de -0.001 a - 1.3 mm/año en registros de precipitación máxima, la cual cubre un promedio de 3.67 % de estaciones, dejando en segundo lugar las tendencias crecientes (3.11 %) con un aumento de 1.3 mm/año en la zona oriente - golfo, norte - centro y occidente (Figura 8). Este índice (precipitación máxima) cuenta con un 8.45 % de estaciones con tendencias significativas de las 581 estaciones estudiadas.

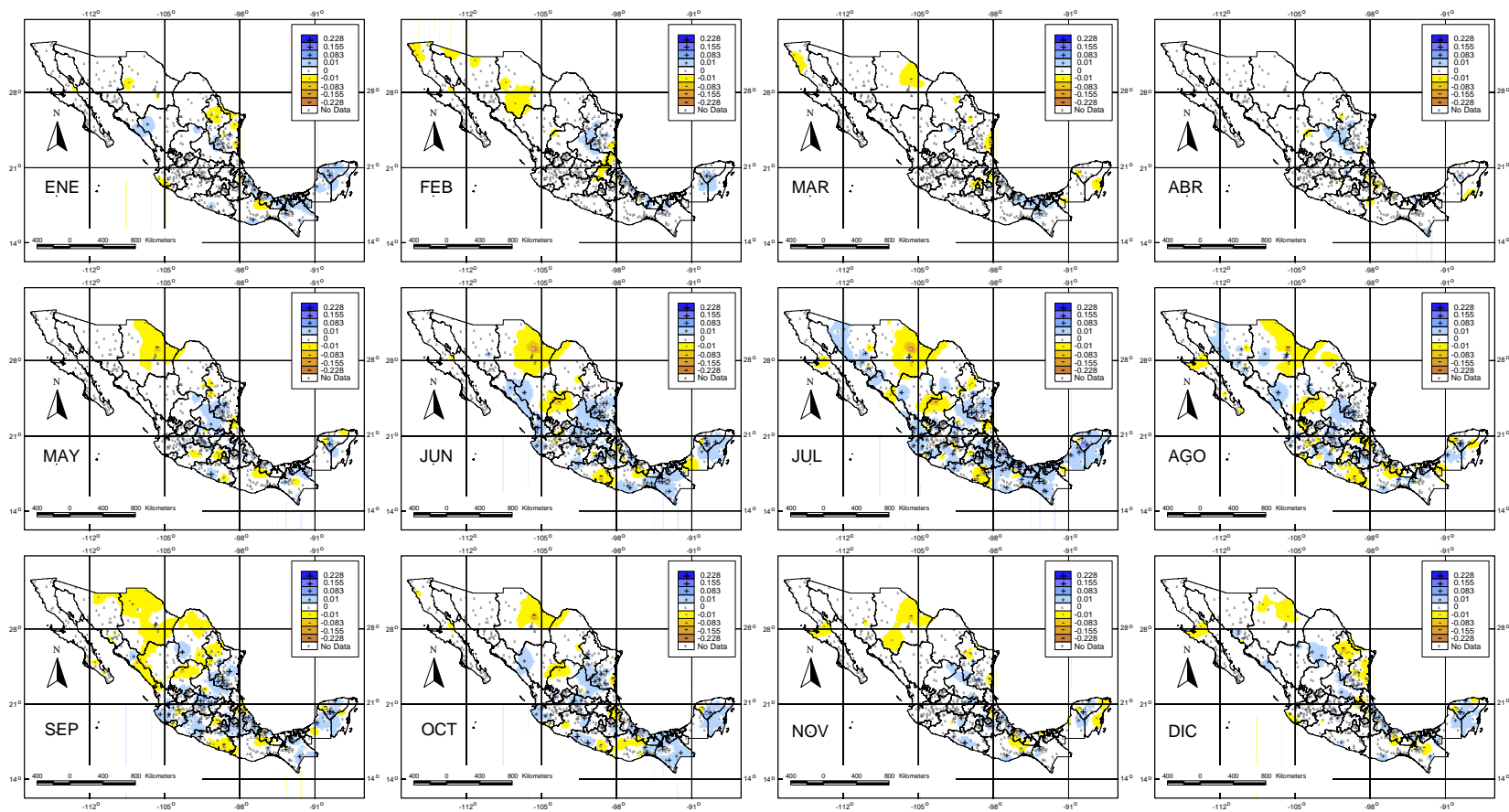


Figura 5. Patrones geográficos mensuales de la tendencia de número de días sin lluvia (días/año) en la República Mexicana.

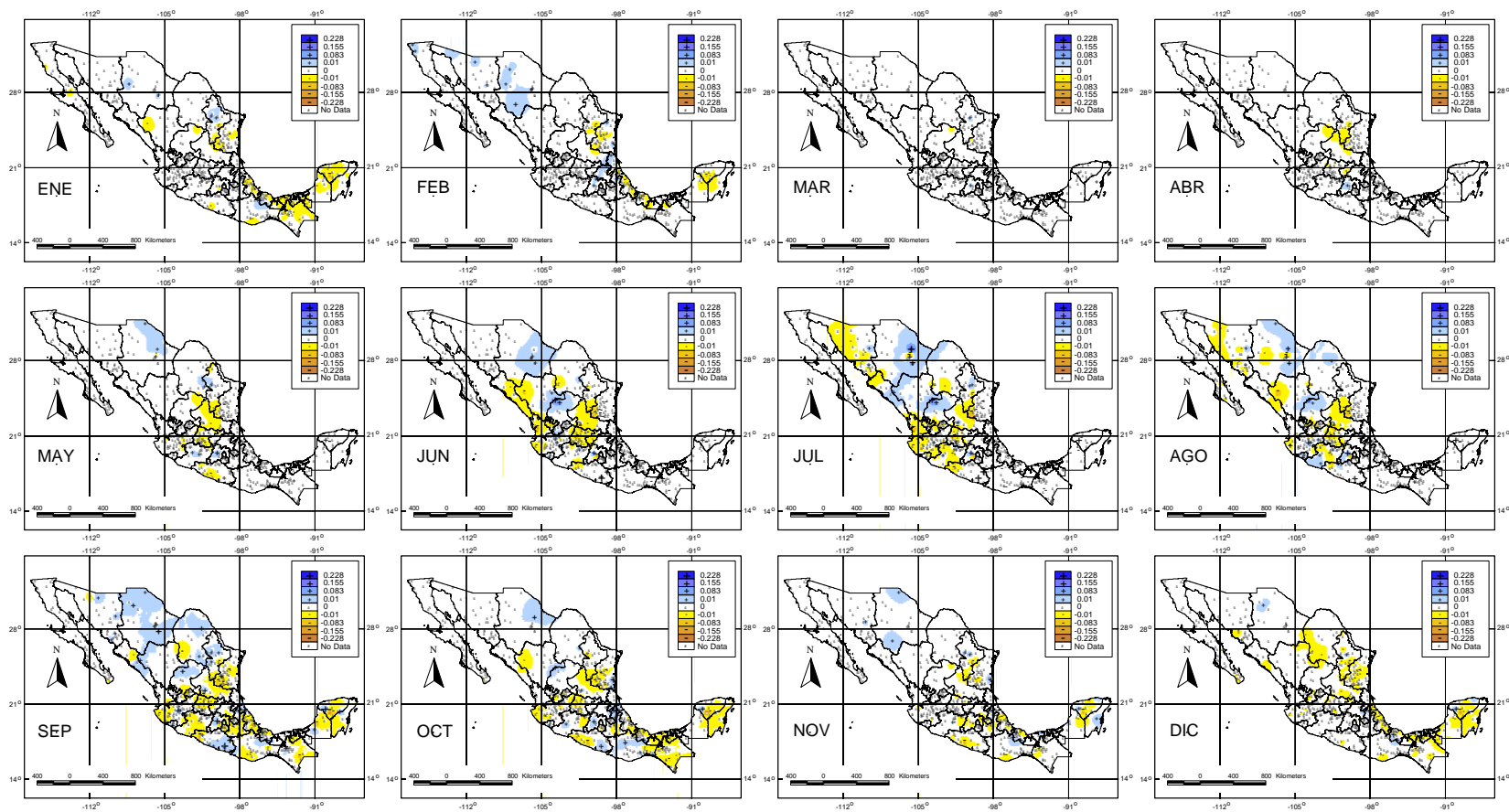


Figura 6. Patrones geográficos mensuales de la tendencia de número de días con lluvia (días/año) en la República Mexicana.

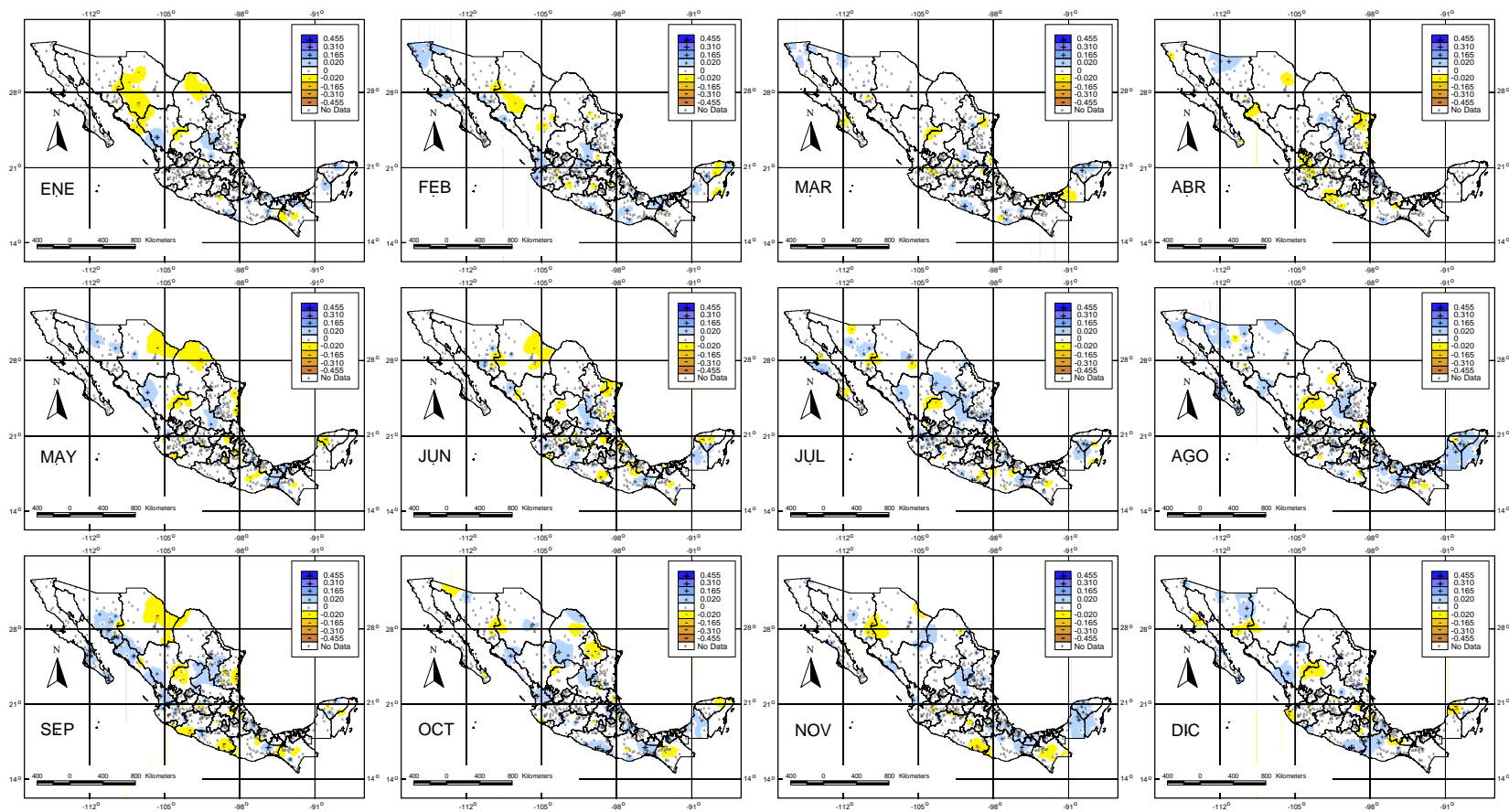


Figura 7. Patrones geográficos mensuales de la tendencia de precipitación promedio ponderada con número de días con lluvias (mm/año) en la República Mexicana.

6.5 Desviación estándar

Este índice (desviación estándar de precipitación) promedia 7.37 % de las estaciones climatológicas que muestran alguna tendencia. Durante el periodo de diciembre – abril se muestra una tendencia significativa creciente en 5.67 % de las estaciones, presentándose en la zona centro del país (Figura 9), esto demuestra mayor variación de precipitación en esta zona. La disminución de la variación de precipitación se registra en la zona noreste y centro de la Republica (3.48 %) en los meses de mayo - septiembre, los tasa de incremento/decremento es de -0.3 a 0.3 mm/año.

6.6 Precipitación total

Durante los meses de octubre a marzo la precipitación total muestra una tendencia a incrementar, mientras que de julio a septiembre ésta muestra una disminución de ± 1.878 mm/año con 2.60 y 3.81 % respectivamente del porcentaje total de estaciones significativas. La distribución de estas tendencias se muestra en la Figura 10 donde al norte-centro, oriente - golfo y sur se encuentra el incremento y al centro, oriente - golfo, sur y sureste el decremento.

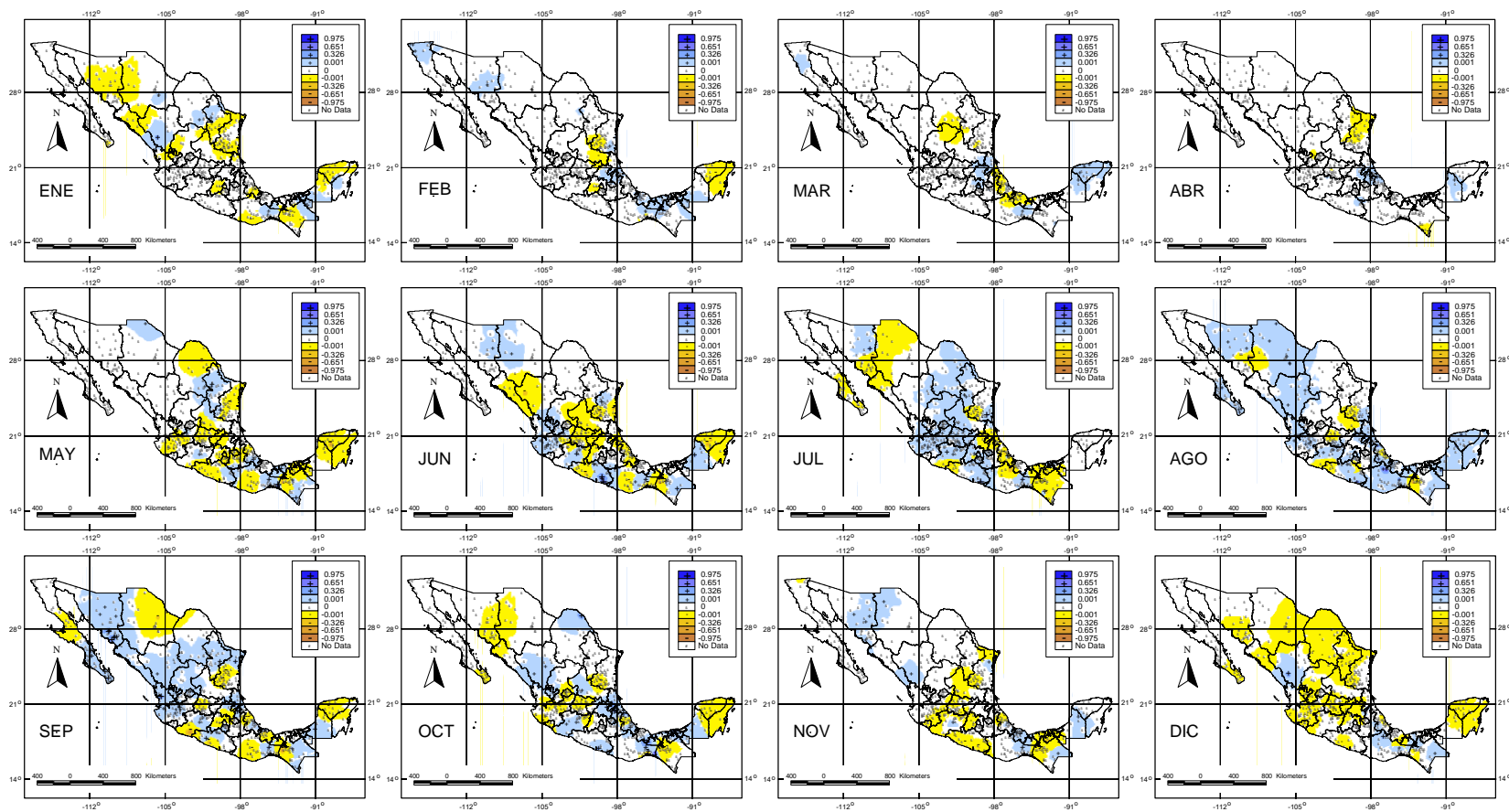


Figura 8. Patrones geográficos mensuales de la tendencia de Precipitación máxima diaria (mm/año) en la República Mexicana.

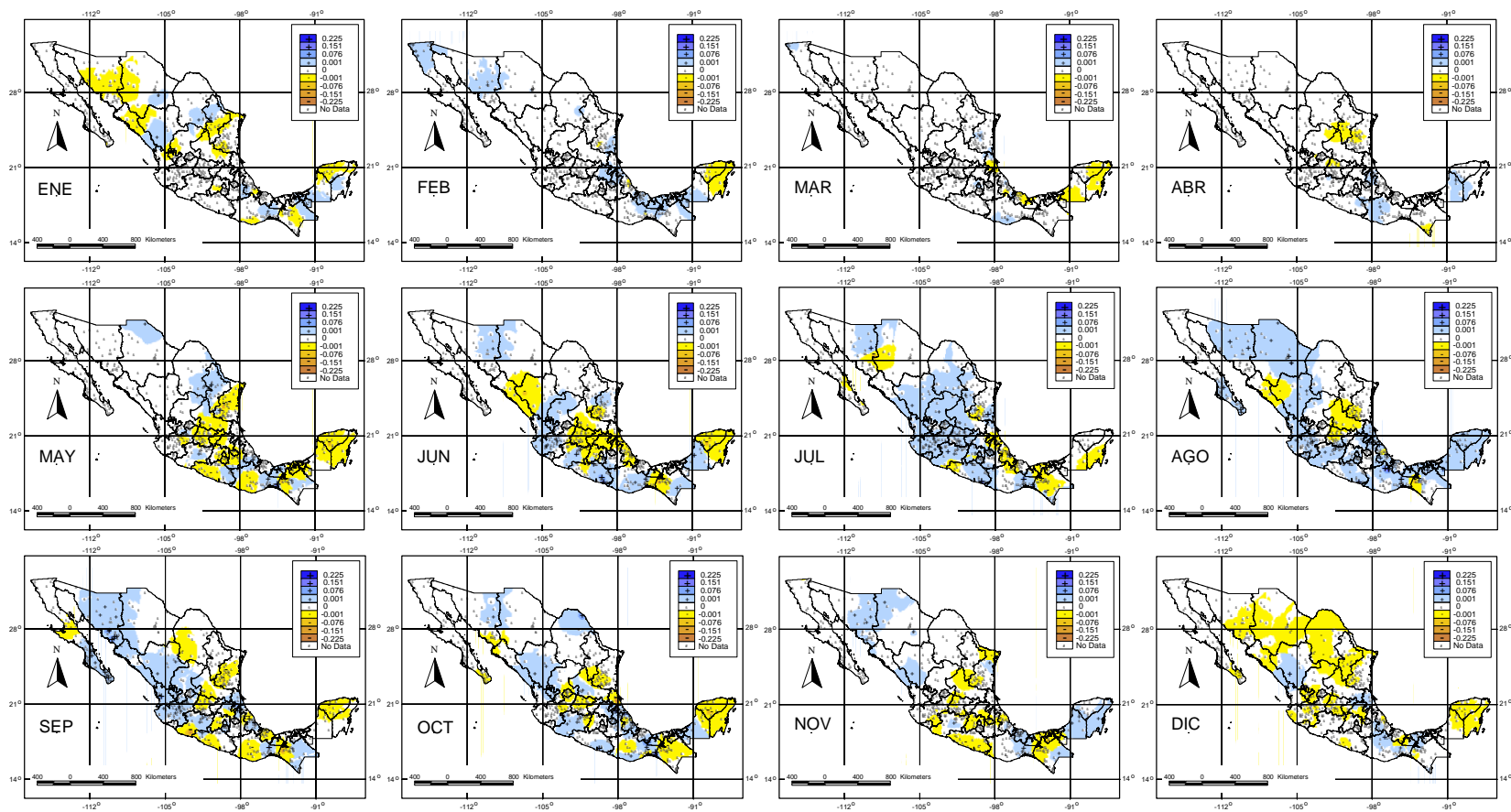


Figura 9. Patrones geográficos mensuales de la tendencia de desviación estándar (mm/año) en la República Mexicana.

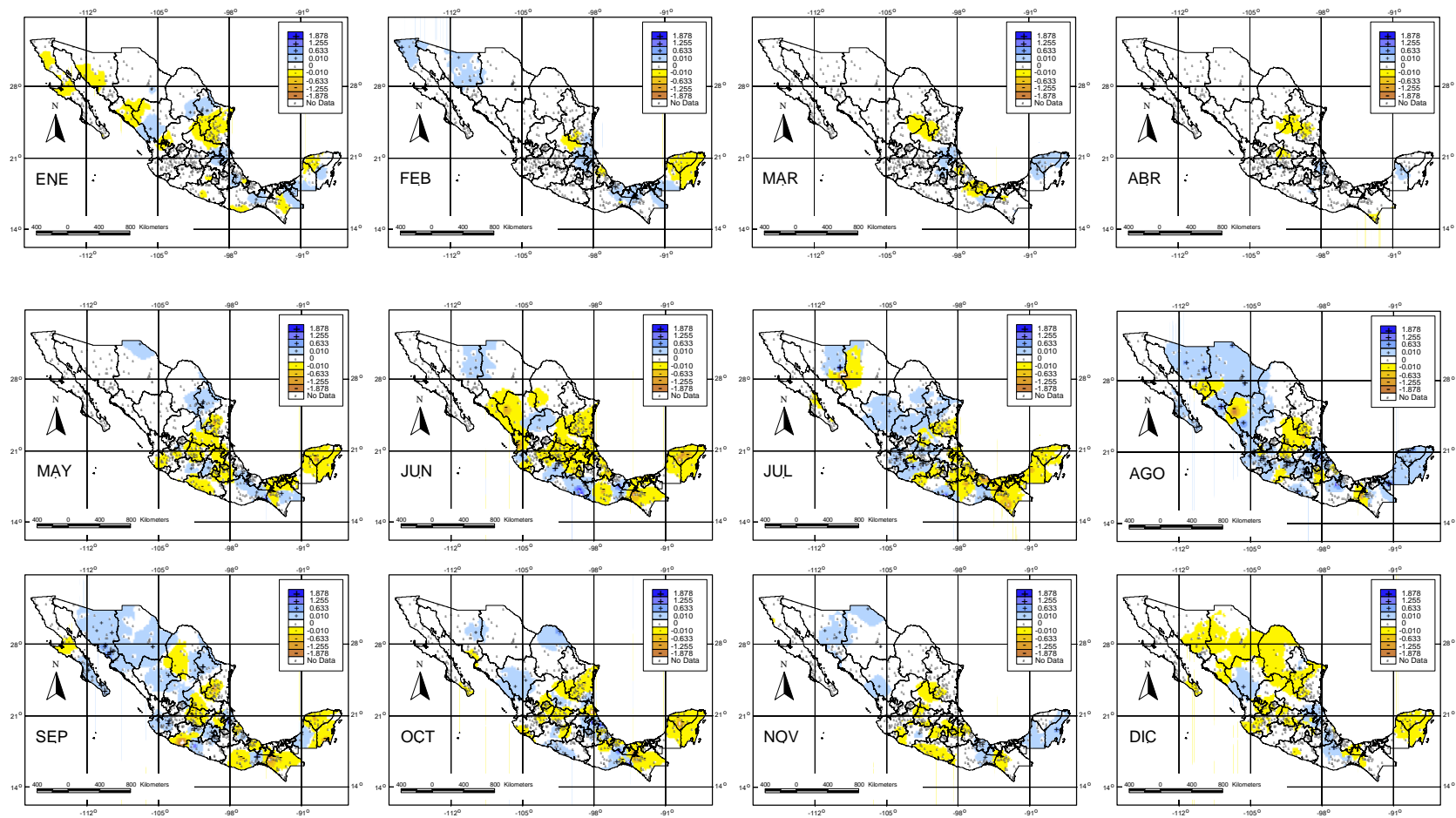


Figura 10. Patrones geográficos mensuales de la tendencia de precipitación total (mm/año) en la República Mexicana.

6.7 Precipitación de días con lluvia \geq a 5 mm

Este índice tiene una distribución con tendencia negativa hacia la zona sureste y centro, el 2.06 % de estaciones presentan esta tendencia en los meses de octubre a junio; de julio a septiembre la tendencia es positiva localizada en sureste, oriente-golfo y centro, donde solo el 5.61 % de estaciones la presentan (Figura 11). El total de estaciones representa 4.97 % de la cantidad total del estudio, la tasa de incremento/decremento van de ± 3.753 mm/año.

6.8 Precipitación de días con lluvia \geq a 10 mm

Las estaciones que muestran significancia de la precipitación mayor a 10 mm se distribuyen en 1.39 y 2.92 % del total de estaciones analizadas (incremento y decremento) respectivamente (Figura 12). Durante el periodo de octubre a junio el incremento es de 4.5 mm/año, ubicándose en la zona oriente - golfo y sur, mientras que de julio a septiembre esta precipitación ocurre en la zona centro, noreste y sur (-0.01 a -4.5 mm/año).

6.9 Número de días con lluvia \geq a 5 mm

En el número de días con precipitación \geq a 5 mm/día predomina una tendencia a disminuir con -0.2 días/año y cubre los meses de abril a octubre con un 4.14 % de estaciones significativas (Figura 13) y deja en segundo lugar a las tendencias positivas con el 1.13 % durante los meses de noviembre a marzo. Cubriendo un área geográfica del centro, sur y sureste para las negativas, y para las positivas los estados de Veracruz, Yucatán, Puebla e Hidalgo.

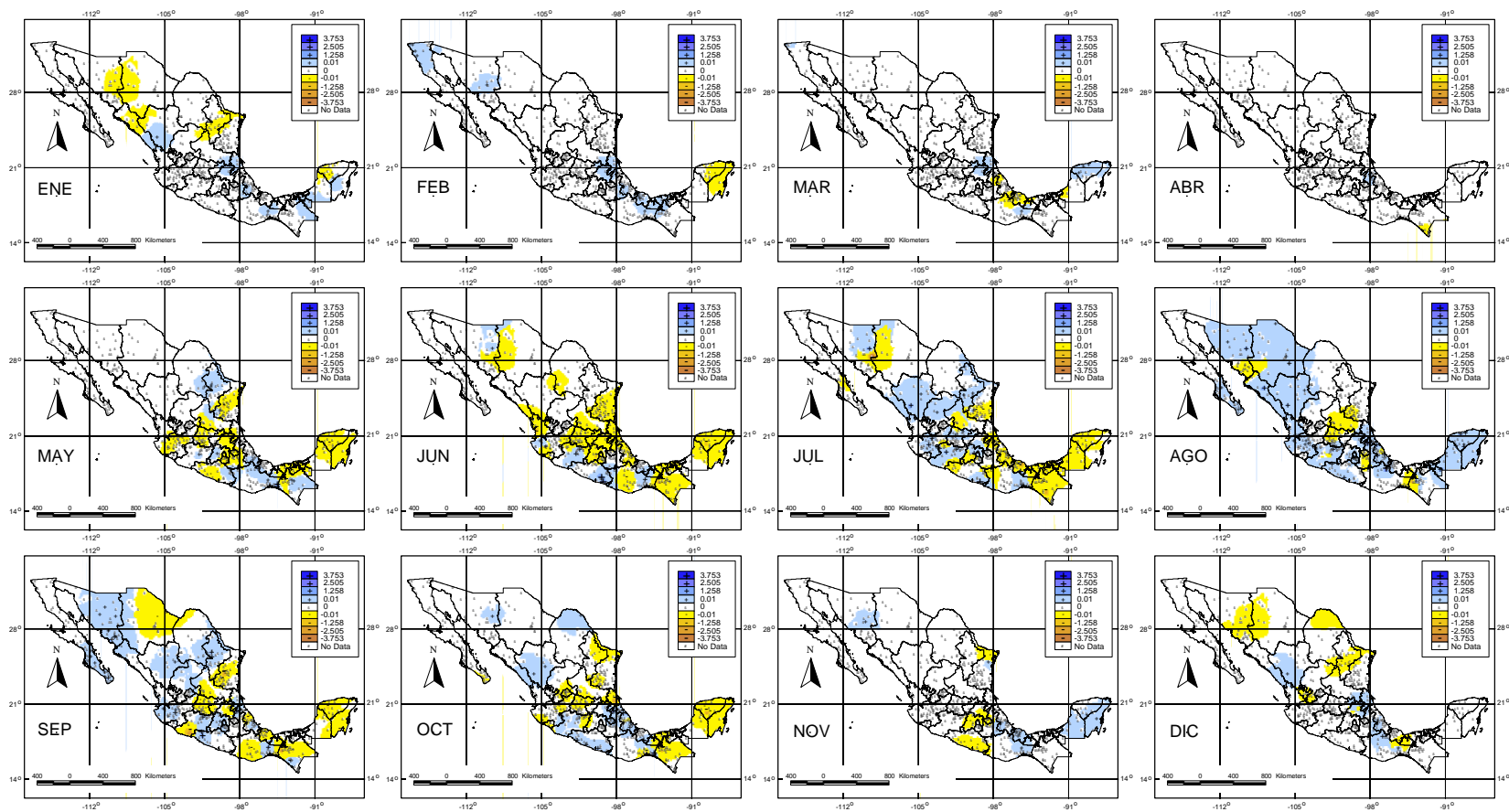


Figura 11. Patrones geográficos mensuales de la tendencia de precipitación ≥ 5 (mm/día) en la República Mexicana.

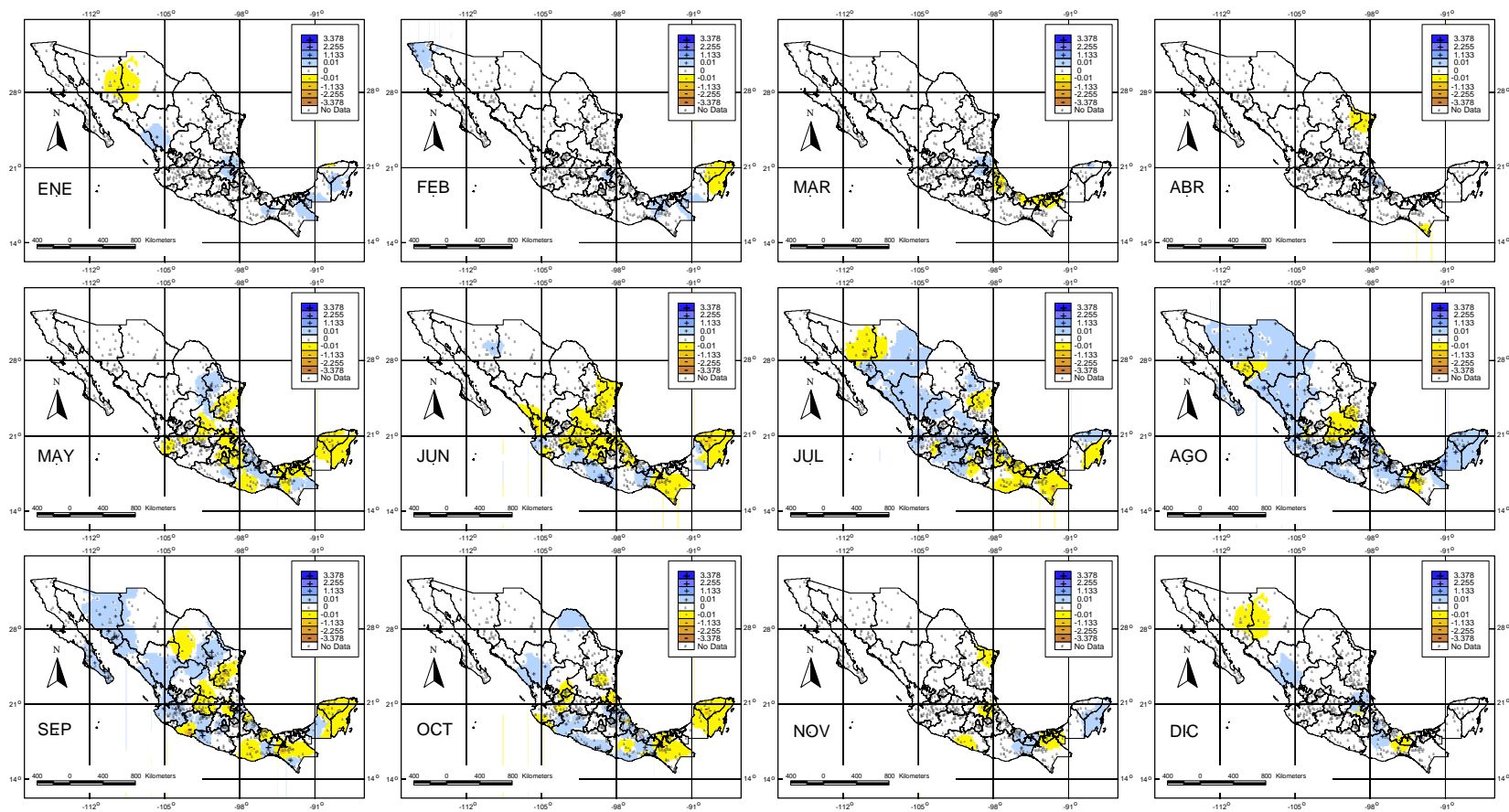


Figura 12. Patrones geográficos mensuales de la tendencia de precipitación \geq a 10 (mm/día) en la República Mexicana.

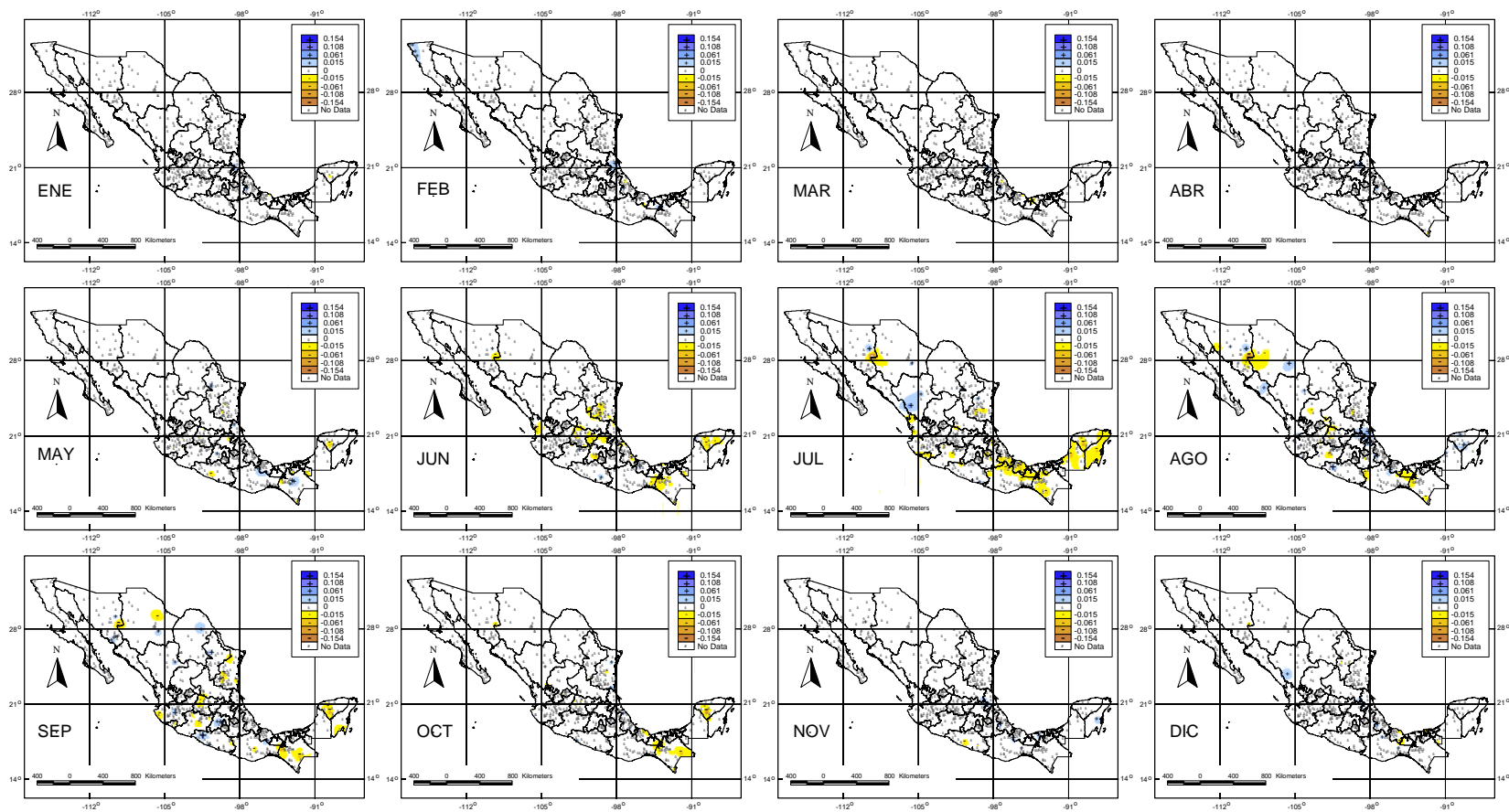


Figura 13. Patrones geográficos mensuales de la tendencia del Número de días del mes con lluvias \geq a 5 (días/año) en la República Mexicana.

6.10 Número de días con lluvias \geq a 10 mm

El incremento de días con lluvia \geq 10 mm se ubica en la zona centro y oriente del país durante el periodo de octubre a junio con solo 0.80 % de estaciones significativas. Mientras que las tendencias decrecientes se presentan en los meses de julio a septiembre en el sur y centro de país con un promedio de 4.18 % del total de estaciones. La tasa de cambio de estas tendencias van desde ± 0.15 días/año (Figura 14).

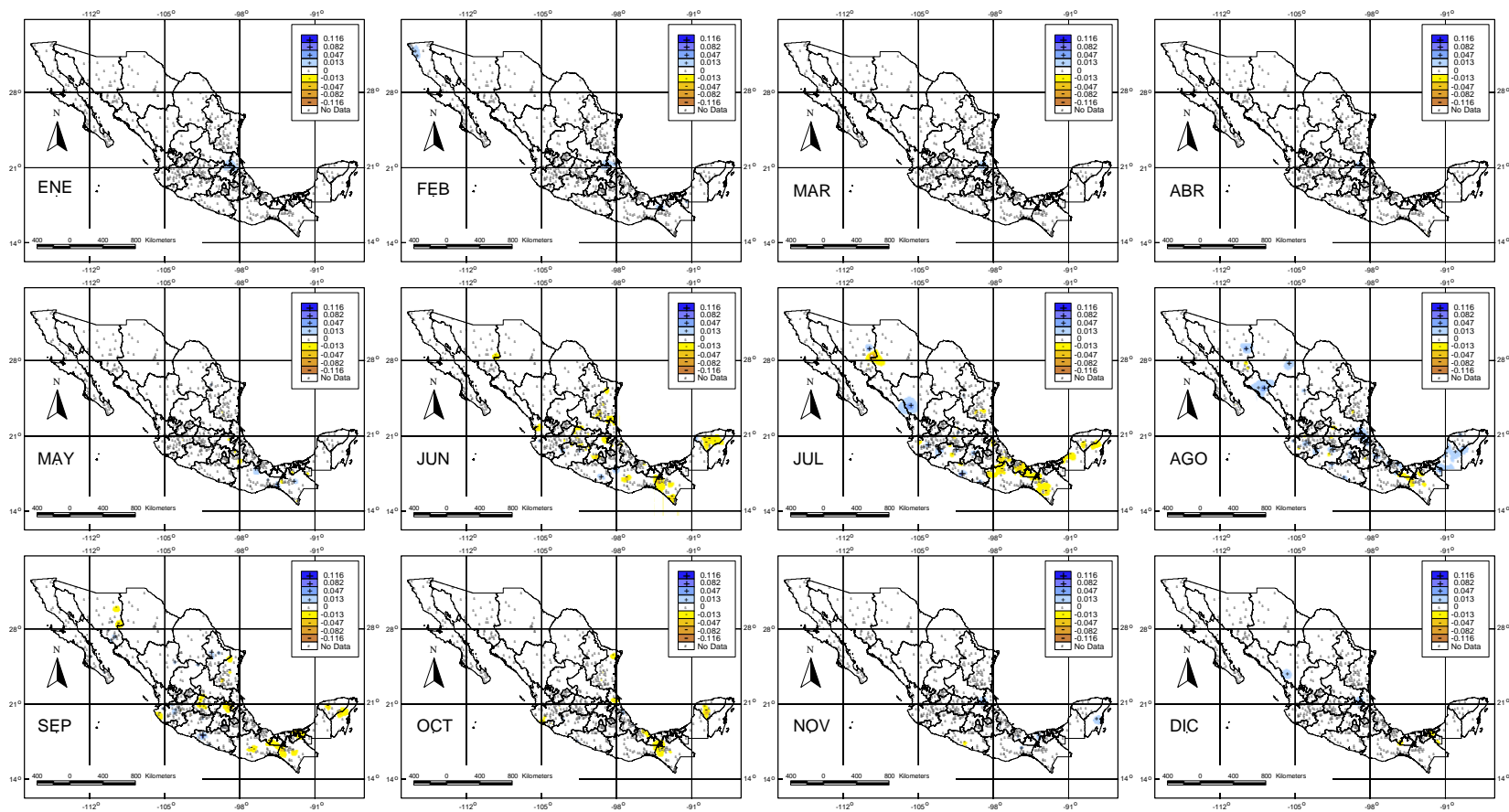


Figura 14. Patrones geográficos mensuales de la tendencia del Número de días con lluvias \geq a 10 (días/año) en la República Mexicana.

7 DISCUSIÓN

Morales et al. (2001) analizaron los efectos del calentamiento global en la precipitación en México, los resultados indicaron que en los últimos 50 años la precipitación está aumentando en casi todo el país, con excepción de la región costera de Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Oaxaca y Chiapas, en donde se aprecia una disminución de la precipitación, prediciendo que para el periodo 2010-2039 habrá una disminución en la parte norte del país. Los resultados de estos autores coinciden con los obtenidos en la distribución geográfica de las tendencias de precipitación del presente estudio.

Recientemente Méndez et al. (2007) analizaron las tendencias de precipitación estacional en México, encontrando cambios importantes durante el periodo de 1920 - 2004; obteniendo como resultado, que en verano, se registra el mayor porcentaje de tendencias significativas de incremento y decremento de precipitación. En promedio, un 11.3 % del total de las estaciones analizadas registran un ligero incremento en precipitación, mientras que el 11.9 % de las estaciones registraron disminución. Dando a conocer que las regiones más húmedas del país registran en promedio una disminución de lluvia en 1.2 % de la precipitación total anual. El presente estudio muestra también que los cambios más importantes ocurren los meses que comprende el verano.

Albanil et al. (2011) analistas del Servicio Meteorológico Nacional, en su reporte anual manifiestan que este año quedó marcado en la historia del país por la magnitud de la sequía que afectó el centro y norte del país. Asociaron esta

ocurrencia de los periodos de lluvia y sequia con la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), se observó una combinación de la fase neutral negativa del ENSO (La Niña) desde julio de 2010 hasta diciembre de 2011 y una fase negativa de la PDO que ocasionaron entre otros, condiciones secas en el norte y húmedas en el sur del país.

En otras partes del mundo, usando las pruebas de Spearman y de Mann-Kendall se han encontrado variaciones en la precipitación, tal es el estudio de Lozada et al. (2007) quienes identificaron la existencia de un aumento de aproximadamente 5 % de precipitación total anual en el estado de Táchira, Venezuela, en el lapso de 1941 al 2005, en aproximadamente 4 mm por año. En Maturín, estado Monagas, Venezuela, Gil et al. (2012) analizaron el régimen de precipitación anual y mensual por un periodo de 88 años, demostrando que la precipitación mensual tiene una variación entre 740 y 1209.9 mm, mientras que la precipitación anual fue de 1306.6 ± 265.7 mm, con un coeficiente de variación del 20 %.

Un grupo de especialistas de la Revista National Geographic (NatGeo) en conjunto con investigadores del ámbito ambiental, han afirmado que España es el país que más está sufriendo los cambios climáticos, prevén que para el 2050 el nivel del mar en esta zona aumentará 15 cm y en el sur del país la biodiversidad disminuirá. Esta investigación se complementa con los estudios que han realizado Barrera et al. (2004) donde observan que a partir de 1997 se presentan cambios significativos en las tendencias de la precipitación en España.

Durante el 2007 De Luis et al. analizaron las tendencias de la precipitación en la Cuenca del Ebro, España, durante la segunda mitad del siglo XX, los resultados

mostraron que existe un ligero descenso (0.10 mm/año) que está afectando $\frac{3}{4}$ del total del área. Dicha tendencia se está presentando durante el periodo de primavera – verano y se relaciona con el incremento global de la temperatura. Luna et al. (2011) muestran que el norte de España se presenta una tendencia a incrementar la precipitación, mientras que el sur presenta una disminución. Guijarro (2004) analizó las tendencias de precipitación en el Litoral Mediterráneo Español, encontrando que existe una disminución de 1.5 mm/año, al igual que hay una elevada variabilidad espacio-temporal en el área de estudio. En México al igual que en España la disminución de la precipitación ocurre durante el periodo de primavera – verano con una tasa de 0.02 a 0.6 mm/año.

Especialistas de NatGeo asocian los cambios con la alta producción de Gases de Efecto Invernadero en las últimas décadas y el aumento de la temperatura en aproximadamente 1°, el IPCC (2007) menciona que estos cambios siempre han existido solo que ahora el aumento de la temperatura es demasiado rápido.

Moncho et al. (2009) analizaron la precipitación mediante una reconstrucción espacial del país Vasco, España, durante el periodo de 1961 a 2000 obteniendo que existe una tendencia muy poco significativa de aumento y disminución de 0.1 ± 0.3 mm/año, y una acumulación anual de la precipitación de 1230 mm.

Existen pocos estudios sobre la precipitación en regiones montañosas, en el 2005 Molina, analizó la precipitación en la cuenca de Huarinilla-Cotapata (La Paz-Bolivia), observando una gran variación espacial, la cual se relaciona con la complejidad del relieve, teniendo un incremento en la precipitación de 1.5 a 2.2 mm/año. Contrario a

los resultados de Molina (2005) en México las tendencias de la variación de la precipitación no ocurren en las regiones montañosas.

Cardona et al. (2014) analizaron la tendencia de precipitación en las cuencas hidrográficas de los ríos Dagua y Cali, ubicada al Sur-Occidente del Valle del Cauca (Colombia), obteniendo como resultado que la precipitación total anual promedio presenta un incremento significativo de 15.2 mm en la cuenca del río Dagua y 9.1 mm en la del río Cali.

Mark et al. (2001) analizaron las tendencias de la precipitación durante el siglo XX a nivel global, sus resultados mostraron que la precipitación ha aumentado cerca de 0.09 mm/año. Corroboran que la precipitación ha aumentado en la mayoría de las áreas de la tierra con excepción de África tropical norte y partes del sur, la Amazonia y el oeste de Sudamérica. Relacionando la variabilidad de la precipitación con el fenómeno del ENSO. Mientras que Ren et al. (2013) realizaron la reconstrucción de la precipitación durante el periodo de 1900 – 2005, observando que la tendencia positiva es de 0.04 mm/día cerca del Ecuador. Las regiones donde se muestran tendencias positivas son en las zonas ecuatoriales y subpolares, mientras que las tendencias negativas se presentan en los subtropicos.

8 CONCLUSIONES

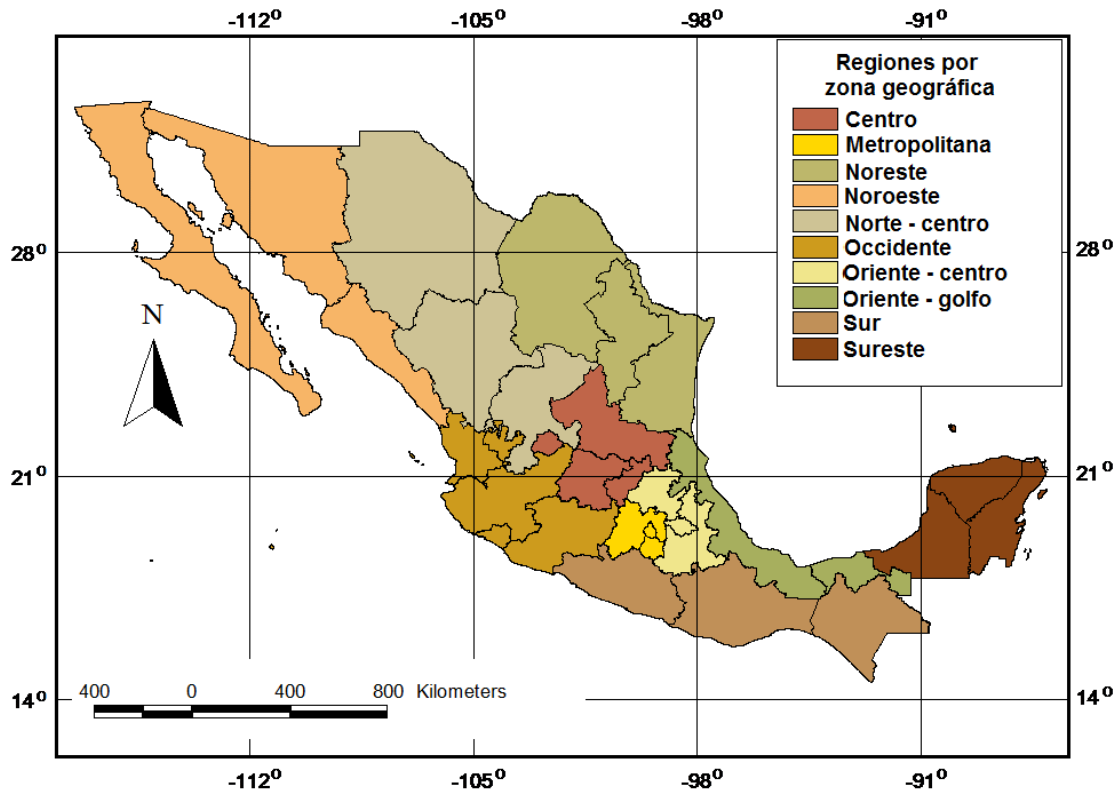
Los cambios en la tendencia de los índices climáticos se dan de la siguiente forma: NDSLL > NDLL > PPMED > MAX > DE > PP > PP5 > PP10 > ND5 > ND10, con 13.36 > 12.66 > 12.08 > 8.45 > 7.37 > 7.16 > 4.97 > 4.68 > 4.48 > 3.75 % respectivamente.

La zona noreste y noroeste del país en los meses de noviembre y diciembre sufren mayor sequia al experimentar mayor número de días sin lluvia en las zonas. Mientras que en el norte – centro, centro y sur hay más presencia de días lluviosos durante el periodo de agosto y diciembre. Ambas variables muestran cambios de 0.1 a 0.3 días/año.

Las precipitación total en México registra cambios importantes durante el periodo considerado (1950 – 2010), el incremento de precipitación (1.878 mm/año) ocurre en la zona centro, sur y oriente - golfo del país, mientras que en la zona noreste y sureste de la Republica se registra un decremento de 0.02 a 0.6mm/año.

Los resultados proporcionan información para poder hacer predicciones sobre el comportamiento de la precipitación en México, lo cual será de gran utilidad para el sector agrícola y pecuario.

9 ANEXO



Anexo 1. Distribución de las Regiones por zonas geográficas en base al CONACYT.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, I., Tang, D., Wang, T., Wang, M. y Wagan, B. 2015. Precipitation Trends over Time Using Mann-Kendall and Spearman' s Rho Tests in Swat River Basin, Pakistan. Hindawi Publishing Corporation. *Advances in Meteorology*. 15.
- Albanil, A., Pascual, R. y Lobato, R. 2011. Reporte del clima en México. Servicio Meteorológico Nacional. 18.
- Alexandersson, H. 1986. A Homogeneity Test to Precipitation Data. *Journal of Climatology* 6: 661 -675.
- Andrés, J., Palomino, R. y Salazar, H. 2010. Metodología para la imputación de datos faltantes en meteorología. *Ciencia y tecnología*, (46): 34-49.
- Back, A. J. 2001. Aplicación de análisis estadístico para identificación de tendencia climática. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36 (5): 717-726.
- Barrera, E. y Llasat, M. 2004. Evolución regional de la precipitación en España en los últimos 100 años. 113.
- Beatriz, M. 2007. Variabilidad de la precipitación en Argentina en diferentes escalas temporales, relacionada con actividad convectiva observada. Documentación de la metodología para el tratamiento de la información. Verificación del desempeño de un modelo regional de pronóstico de precipitación. Universidad de Buenos Aires. 193.
- Burn, D. H., y Hesch, N. M. 2006. Trends in evaporation for the Canadian Prairies. *Journal of Hydrology*, 336(1): 61-73.

- Cardona, G.F., Ávila, D.A., Carvajal, E. y Jiménez, E.H. 2014. Tendencias en las series de precipitación en dos cuencas torrenciales andinas del Valle del Cauca (Colombia). *Tecnológicas*, 17(32): 85-95.
- De Luis, M., Longares, L.A., Stepanek, P. y Gonzalez, J.C. 2007. Tendencias estacionales de la precipitación en la cuenca del Ebro 1951-2000. España. *Geographicalia*, (52): 53-78.
- García, E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana, *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. 50, Instituto de Geografía, UNAM, México. 67-76.
- García, R. J., 2004. Modelo de pérdidas para determinar precipitación efectiva usando Sistemas de Información Geográfica, Universidad de Piura, Perú. 103.
- Gil, J., Lozada, B., López, N., Márquez, L y Berarelli, G. 2012. Régimen pluviométrico de Maturín, estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, (12): 187-196.
- Guenni, L., Degryze, E. y Alvarado, K. 2008. Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela. *Revista Colombiana de Estadística*, 31(1): 41 - 65.
- Guijarro, J.A. 2004. Tendencias de la precipitación en el Litoral Mediterráneo Español. Instituto Nacional de Meteorología. 246.
- Hoffman, J.J.A. Vargas, W.M. y Núñez, S. 1996. Temperature, humidity and precipitation variations in Argentina and adjacent sub-Antarctic region during the present century. *Meteorologisches Zeitschrift*.

- Hossmand, A., Salarijazi, M., Bahrami, M., Zahiri, J., y Soleimani, S. 2013. Assessment of Pan Evaporation Changes in South Western Iran. *African Journal of Agricultural Research*, 8(16): 1449-1456.
- INEGI. 1994. Estadísticas históricas de México, tomos I y II, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI. 1997. Estadísticas del Medio Ambiente, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- IPCC. 2001. Climate change. The Scientific basis. Contribution of working group I to the Third Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Houghton, J.T.,Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, N. Y, USA.
- IPCC. 2007. Long-term projection of extreme storms- WMO – World Climate News.
- Karmeshu, N. 2012. Trend Detection in Annual Temperature & Precipitation Using the Mann Kendall Test – A Case Study to Assess Climate Change on Select States in the Northeastern United States. University of Pennsylvania. 33.
- Luna, Y., Guijarro, J. y López, J. 2011. Reconstrucción, homogeneidad y tendencias de las series históricas de precipitación mensual acumulada en la España Peninsular y las Islas Baleares. Ponencia en 8° Congreso internacional, Cambio Climático. Extremos e Impactos (Salamanca, del 25 al 28 de septiembre de 2012). Asociación Española de Climatología, 499-507.

- Lozada, G. B. y Barboza, C. 2007. Tendencia de la precipitación pluvial en Bramón, estado Táchira, Venezuela. *Agronomía tropical*, (57): 99-105.
- Mann HB. 1945. Non-parametric test against trend. *Econometric*. 13: 245-259.
- Mark, N., Todd, M., Hulme, M. y Jones, P. 2001. Precipitation measurements and trends in the twentieth century. London. *International Journal of Climatology*. (21): 1899-1922.
- Massmann, V., A. Castro y L. Sánchez. 2004. Análisis de la tendencia de las precipitaciones en los meses de febrero, marzo y abril en el territorio peninsular de España. In: XXVIII Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española. Universidad de Extremadura, Badajoz.
- Méndez, G. J., Návar, C. J., y González, O. V. 2007. Análisis de tendencias de precipitación (1920 – 2004) en México. *Investigaciones Geográficas*, 65: 38-55.
- Miranda, J. 2007. Cambio climático y patrones de precipitación: efecto sobre las comunidades vegetales semiáridas. Universidad de Granada. Tesis doctoral. 150.
- Molina, J.C. 2005. Régimen de precipitación en la cuenca de Huarinilla-Cotapata, La Paz-Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 40(1): 43-55.
- Moncho, R., Chust, G. y Caselles, V. 2009. Análisis de la precipitación del país Vasco en el periodo 1961-2000 mediante reconstrucción espacial. Universidad de Valencia, *Nimbus*, 23(24): 149-170.
- Morales, R., Magaña, V., Millán, C. y Pérez, J.L. 2001. Anuario IMTA 2001. 18

Mosiño, P. A. y E. García. 1974. The climate of Mexico. World survey of climatology, in Bryson, R. A. and F. K. Hare (eds.), vol. II, Climates of North America, London: Elsevier. 345-404.

NatGeo. [Formación y educación vial]. (2015, 1, 2). Cambio Climático - Documental National Geographic [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=UaeJUMSZt8g>

Puertas, O., Carvajal, Y. y Quintero, M. 2011. Estudio de tendencias de precipitación mensual en la Cuenca Alta – Media Del Río Cauca, Colombia. Dyna, 78(169): 112–120.

Ren, L., Arkin, P., Smith, T. y Shen, S. 2013. Global precipitation trends in 1900 – 2005 from a reconstruction and coupled model simulations, J. Geophys. Res. Atmos., 118, 1679-1689, doi:10.1002/jgrd.50212.

Segeber, C. y Villodas, R. 2006. Hidrología 1, Capítulo 5. Universidad Nacional de Cuyo. 26.

UNAM. 1990. Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, México.

Wallén, C. C., 1995. Some characteristics of precipitation in Mexico. Geografiska Annaler XXX VII, 1-2.

Westra, S., Alexander, L. y Zwiers, F. 2013. Global Increasing Trends in Annual Maximum Daily Precipitation. Journal of Climate, (26): 3904-3918.