



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS EN  
MUNICIPIOS CON MAYOR DEFORESTACIÓN EN EL  
ESTADO DE PUEBLA”**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:

**Licenciatura en Ingeniería Ambiental**

Presenta:

**Lizbeth Molina Gorgonio**

Directora de Tesis:

**Dra. María de los Ángeles Velasco Hernández**

Co-Directora de Tesis:

**Dra. Juana Deisy Santamaría Juárez**

Junio, 2024



## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Planteamiento del problema.....	1
Justificación .....	3
Objetivo general .....	4
Objetivos específicos.....	4
Hipótesis.....	4
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 El clima .....	5
1.1.1 Factores del Clima .....	5
1.1.2 Elementos climáticos o variables climáticas.....	7
1.1.3 Variabilidad climática .....	12
1.1.4 Estaciones meteorológicas como sistemas de medición del clima.....	13
1.2 Relación Bosques - Clima.....	15
1.2.1 Bosques .....	15
1.2.2 Cambio Climático.....	17
1.2.3 Deforestación .....	18
1.2.4 Deforestación y Cambio Climático .....	19
1.2.5 Impactos del cambio climático en los bosques .....	21
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	24
2.1 Selección de datos.....	24
2.2 Bases de datos.....	24
2.3 Selección de los sitios de estudio.....	27
2.4 Sitios de estudio .....	28
2.5 Calidad de datos .....	30
2.6 Análisis estadístico .....	31
CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....	33
3.1 Tres municipios más deforestados del Estado de Puebla.....	33
3.1.1 Deforestación Pantepec .....	34
3.1.2 Deforestación Francisco Z. Mena .....	35
3.1.3 Deforestación Jalpan .....	36
3.1.4 Comportamiento de la deforestación .....	37
3.2 PANTEPEC .....	38

3.2.1 Comportamiento a través del tiempo .....	38
3.2.2 Comportamiento mensual por series de tiempo .....	39
3.2.3 Correlación .....	40
3.3 FRANCISCO Z MENA .....	42
3.3.1 Comportamiento a través del tiempo .....	43
3.3.2 Comportamiento mensual por series de tiempo .....	44
3.3.3 Correlación .....	45
3.4 JALPAN .....	47
3.4.1 Comportamiento a través del tiempo .....	47
3.4.2 Comportamiento mensual por series de tiempo .....	49
3.4.3 Correlación .....	50
CONCLUSIONES .....	53
BIBLIOGRAFÍA:.....	57

## INTRODUCCIÓN

En diversos estudios se ha identificado que existe una cierta influencia de la deforestación con algunas variables climáticas, principalmente precipitación y temperatura, esto permite entender su grado de conexión y, en dado caso, medir el impacto que está generando la deforestación en la región, tanto para el ecosistema como a poblaciones circundantes que pueden ser vulnerables ante estos cambios y más ante un latente cambio climático.

### **Planteamiento del problema**

El manejo desmesurado que se ha tenido a nivel mundial de los recursos forestales en las últimas décadas ha llevado a niveles alarmantes la pérdida de áreas forestales con las que cuenta el planeta. Esta deforestación masiva, que en su mayoría es producto de diversas actividades antropogénicas, tiene impactos negativos sobre la dinámica natural del planeta y, así mismo, sobre los seres vivos (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2020).

Aunado a esto, hoy en día una de las mayores preocupaciones que se tiene a nivel mundial es el cambio climático, y este mantiene una estrecha relación con las áreas forestales, principalmente debido al CO<sub>2</sub> y a los servicios ambientales que son capaces de prestar las áreas forestales, como la captura de carbono y purificación de aire; sin embargo, la deforestación de grandes áreas forestales, conlleva a que la capacidad de los servicios ambientales prestados se vea afectada, y además que en el proceso de deforestación se liberen grandes cantidades de CO<sub>2</sub> que se encontraba almacenado en la biomasa, aumentando las emisiones de uno de los principales gases de efecto invernadero que a su vez es causante del cambio climático (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2013).

A nivel mundial, las áreas forestales corresponden a una superficie de 4 060 millones de hectáreas, cifra que corresponde a poco más del 30% de la superficie total de la tierra. De ellas, en el periodo de 1990 al 2020 se perdieron más de 420 millones de hectáreas de bosque en todo el mundo debido a la deforestación, y más del 90% de esa pérdida tuvo lugar en zonas tropicales (FAO, 2020). Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2017) calcula que el mundo pierde al año 13 millones de hectáreas de bosque, cifra

que se considera es responsable del aproximadamente 20% de las emisiones mundiales de carbono.

En América latina la situación de los niveles de deforestación es igualmente alarmante, siendo México un país megadiverso, se estima que de los 194 millones de hectáreas que tiene el país, el 71% está cubierto por algún tipo de vegetación, y en la última década se presenta una pérdida neta cercana a 91, 700 hectáreas por año ( CONAFOR, 2017). Por su parte, la FAO (como se citó en CONAFOR, 2017) estima que los bosques y las selvas de México se encuentran entre los primeros 24 del mundo con mayor volumen de existencia de carbono en la biomasa forestal, tan solo en el 2010 se calcularon 2043 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>; por lo que, de continuar con los niveles de deforestación que se mencionan, la biodiversidad del país estaría seriamente comprometida y con ello el país sería más susceptible a los impactos del cambio climático.

Adicionalmente, diversos estudios señalan que la deforestación puede causar cambios en las condiciones climáticas de un microclima e inclusive de una región, dichas condiciones son de gran interés ya que dependiendo de su magnitud modifican las condiciones naturales de vida, las cuales podrían derivar en impactos negativos en el ecosistema, que van desde afectaciones al suelo, a las especies que ahí habiten, y a los asentamientos humanos cercanos (Bocco, Mendoza, y Masera, 2001).

En el estado de Puebla, fue hasta el año 2013 donde se pudo contar con información más completa sobre las áreas forestales que tiene el estado. Esta información fue presentada a través del Inventario estatal forestal y de suelos de Puebla, donde se expone que la superficie forestal del estado ocupa 1,674,763.2 hectáreas; sin embargo, el 56.2% de este territorio ha sufrido algún tipo de perturbación y es uno de los estados más vulnerables al cambio y uso de suelo (CONAFOR, 2013).

Sin embargo, no se han llevado a cabo análisis del impacto de la deforestación en la variabilidad climática de las zonas deforestadas, es así como surge la necesidad de evaluar el comportamiento de las variables atmosféricas a través del tiempo y ante el aumento de áreas deforestadas, con el fin de identificar la relación que existe entre ambas y la

vulnerabilidad a la que se encuentra expuesta una región con altos niveles de deforestación ante el cambio climático.

### **Justificación**

Los recursos forestales hoy en día constituyen un pilar fundamental para la sostenibilidad de la vida, debido a los servicios ambientales que brindan, como la formación del suelo, purificación del aire, purificación del agua, regulación del clima, la captura de carbono, alimento, entre otras; sin embargo, dichos recursos forestales a lo largo del tiempo se han visto sobreexplotados por el hombre por distintos propósitos, lo que ha llevado a niveles de deforestación alarmantes a nivel mundial, nacional, y en el propio estado de Puebla (CONAFOR, 2011).

Como consecuencia de esta pérdida, el cambio climático puede intensificarse en ciertas regiones, debido al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y a la falta de bosques que capturen el carbono que se encuentra en la atmósfera, ya que al presentarse procesos de deforestación se liberan enormes cantidades de carbono que se encontraban almacenados en la biomasa (Ciesla, 1996). Tan solo en las últimas décadas se considera que las zonas forestales han sido responsables de remover más de 650 000 millones de toneladas de carbono, y sumado esto al carbono que son capaces de almacenar en la biomasa, se estima que los bosques almacenan tanto carbono como el que se encuentra en la atmósfera, debido a la magnitud de este servicio ecosistémico, los recursos forestales son de gran importancia para la mitigación del cambio climático (FAO, 2015; Jandl y Rubio, 2005).

Ante esta situación, México muestra niveles alarmantes en la pérdida de sus recursos forestales, tan solo en las últimas décadas la deforestación de bosques y selvas fue de 354 mil hectáreas por año y aunado a eso, las emisiones por deforestación correspondieron al 6.3% de las emisiones de CO<sub>2</sub> totales a nivel nacional, una cifra alarmante ante el cambio climático, ya que sus efectos podrían impactar más a algunas regiones de México (CONAFOR, 2013).

Debido a la poca información que se tiene a nivel estatal sobre la variación del clima en regiones de deforestación alta, se realizará la presente investigación, con el fin de identificar si existe un cambio en las diferentes variables meteorológicas a través del tiempo, en regiones donde la deforestación en los últimos años ha sido drástica, y con ello determinar si ante el cambio climático podría existir un mayor impacto por la falta de los servicios ecosistémicos de los bosques en la región.

### **Objetivo general**

Identificar la relación de causalidad entre la deforestación y la variabilidad climática, expresada en temperatura y precipitación, en 3 municipios del estado de Puebla que presenten una alta deforestación, mediante el análisis estadístico de datos de estaciones meteorológicas con series de tiempo históricas.

### **Objetivos específicos**

- Identificar 3 municipios con mayor deforestación en el estado de Puebla.
- Analizar el comportamiento de las variables climáticas: temperatura y precipitación, a través de series de tiempo en los 3 municipios seleccionados.
- Realizar un análisis de correlación entre los niveles de deforestación y los niveles de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación de cada municipio de estudio en el periodo 2001 a 2022.

### **Hipótesis**

La pérdida de cobertura forestal a causa de la deforestación a nivel regional influye sobre el comportamiento de la temperatura y precipitación de los municipios seleccionados del estado de Puebla, causando cambios en el clima de la región.

## **CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1 El clima**

La compleja dinámica que se lleva a cabo dentro del planeta, donde existe una estrecha interacción de factores bióticos como abióticos, ha propiciado el desarrollo de características únicas favorables para el desarrollo de la vida en el planeta; dichas características tienden a ser principalmente reguladas por el clima.

El clima es la agrupación de las condiciones promedio del tiempo atmosférico que han sido evaluadas mediante estadísticas de largos periodos de tiempo, generalmente años, sobre algún área geográfica de interés (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2019). Con ello se busca asociar y predecir en una determinada zona el comportamiento de las condiciones meteorológicas que comúnmente existen en el lugar por intervalos de tiempo específicos, como las estaciones del año.

De esta forma, el clima puede ser generalizable a un determinado continente, un país o más específicamente a una región grande o pequeña, y su variación corresponde a que la creación de estas condiciones atmosféricas se ve influenciada por múltiples factores propios de una zona.

Uno de los factores más influyentes en las particularidades climáticas que se le confieren a una zona geográfica es el sistema climático, el cual se considera que se encuentra conformado por otros subsistemas terrestres como la atmósfera (seis capas gaseosas de gran importancia), hidrósfera (conformada por aguas tanto dulces como saladas), criósfera (toda agua congelada presente), litósfera (la corteza terrestre y diversas capas) y la biósfera (la vida que se desarrolla y sus interacciones), que en conjunto y con su continua interacción que tiende al equilibrio, dan como producto la creación de una gran diversidad de climas presentes en el mundo (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño [CIIFEN], 2022).

#### **1.1.1 Factores del Clima**

Dentro de los mismos componentes del sistema climático, existen elementos representativos de cada componente del sistema, que son capaces de variar el grado de fuerza o intensidad de los elementos medibles del clima como la precipitación, temperatura, entre otros. Dada su capacidad de influencia en el clima, reciben el nombre de factores climáticos y se clasifican en fijos y variables (Acuña y Robles, 2015).

Los factores fijos incluyen aspectos como:

El relieve de una zona juega un papel importante en la intensidad de las variables climáticas, por ejemplo, las barreras montañosas son causantes de lluvias orográficas, además estas mismas tienen la capacidad de impedir corrientes de aire e incluso el avance de las nubes, aspectos como estos varían dependiendo del tipo de relieve (Acuña y Robles, 2015; Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2016).

La altitud es otro factor muy relacionado con el relieve por la altura, puesto que a mayor altura sobre el nivel del mar la temperatura tiende a disminuir, por ello en las zonas costeras la temperatura es cálida y, por el contrario, las montañas se encuentran cubiertas de nieve por las bajas temperaturas (Acuña y Robles, 2015; CONAGUA, 2016).

La latitud tiene efectos relevantes tanto en la temperatura como en los niveles de precipitaciones, a causa del ecuador, donde los rayos solares llegan de manera más directa a la tierra, las temperaturas tienden a ser más altas, caso contrario sucede en el polo norte y sur, y en general entre más alejado se encuentre un lugar del ecuador, los rayos solares recorren una mayor distancia, perdiendo energía en el proceso y resultando en la presencia de temperaturas bajas; un comportamiento similar sucede con las precipitaciones (CONAGUA, 2016).

La cercanía al mar es relevante a causa de que el mar se calienta y se enfría de manera paulatina, conllevando a que la temperatura en zonas costeras sea más cálida, mientras que en tierras más distantes al mar las temperaturas son más extremas (Acuña y Robles, 2015).

Por otra parte, los factores variables incluyen aspectos que no son tangibles ni estables, por lo que se encuentran en constante movimiento o cambio, tales aspectos abarcan las masas

de aire, los centros de bajas y altas presiones, y las corrientes marinas (Acuña y Robles, 2015).

### **1.1.2 Elementos climáticos o variables climáticas**

Como efecto de la interacción que se lleva a cabo en el sistema climático, emanan los elementos climáticos o también denominadas variables climáticas, que, regulados por los factores climáticos particulares de cada sistema, definen el clima representativo de una región. Entre las variables climáticas más representativas destacan:

#### **Temperatura**

Desde el punto de vista de Andrades y Muñoz (2012), la temperatura expresa la cantidad de calor que adquiere un cuerpo, esta adquisición de calor se debe al flujo de energía de un cuerpo más caliente a uno más frío, y se puede transmitir mediante tres mecanismos: Conducción (a través de la materia), Convección (en fluidos por corrientes), y Radiación (ondas electromagnéticas). Tal es el caso de la temperatura en el planeta, donde el suelo y su humedad presentan una gran capacidad para captar y transmitir el calor (conducción), además el agua por su movimiento también distribuye calor (conducción y convección), y en el aire el calor se transmite de diversas formas (conducción, convección, y radiación).

Por consiguiente, la temperatura en el aire del planeta es variable, además de ser influenciada por diversos factores, como lo son las estaciones del año, el día y la noche, la ubicación geográfica, el tipo de superficie terrestre, la altura de la superficie terrestre; tales factores modifican la temperatura a causa de la insolación que recibe un área geográfica, que a su vez cambia en función de los movimientos de la tierra (Barry y Chorley, 1972; Acuña y Robles, 2015).

La medición de temperatura se lleva a cabo a través de instrumentos como los termómetros de dilatación, termógrafos, termómetros infrarrojos, además las unidades de medición que mayormente se pueden encontrar en estos instrumentos son los grados Celsius, grados Kelvin, y grados Fahrenheit. Los registros de temperatura se llevan a cabo de manera diaria, mensual y anual, reportándose datos de temperatura mínima, temperatura máxima y

temperatura media, permitiendo identificar en los datos las temperaturas extremas (Andrades y Múñez, 2012; Acuña y Robles, 2016).

### **Radiación solar**

La radiación solar es un aspecto importante de estrecha relación con la temperatura, anteriormente se mencionaba como uno de los mecanismos de transmisión de calor a la radiación, y el sol por sus altas temperaturas emite al espacio gran parte de su masa, lo que es igual a grandes cantidades de energía calorífica, que tienen la capacidad de arribar al planeta en forma de radiación electromagnética, convirtiéndose en una fuente importante de energía para la tierra (Barry y Chorley, 1972).

La radiación electromagnética que llega al planeta cubre la banda de longitudes de onda que va de 0.15 a 4.0 micras, y se identifican en mayor cantidad de incidencia la radiación infrarroja (46%), el espectro visible (45%), y la luz ultravioleta (9%), dado el intervalo espectral que abarcan, la radiación solar se designa como radiación de onda corta. Asimismo, cuando la radiación llega a la tierra se expresa de tres formas: de forma directa porque llega directamente a la tierra, de forma difusa que llega a la atmósfera por la dispersión de la radiación, y por último de forma reflejada ya que al llegar es reflejada por la tierra, océanos y elementos de la atmósfera (Acuña y Robles, 2016; CONAGUA, 2016).

Algunos de los instrumentos de mayor aplicación para la medición de los diferentes tipos de radiación electromagnética que llegan al planeta son: el piranómetro, que mide la radiación directa y difusa sobre una superficie, el pirheliómetro registra la radiación directa, el pirradiómetro mide las radiaciones de onda larga y cortas, el heliógrafo estima el número de horas de sol, y a través del actinógrafo se conoce la radiación global (Andrades y Múñez, 2012).

### **Humedad**

El agua forma parte importante en el sistema climático, puesto que influye de diversos modos en las variables climáticas, en particular una de las influencias más significativas se encuentra en la atmósfera, donde los tres estados del agua sólido, líquido y gaseoso son

capaces de hallarse, a causa de la temperatura y presión existentes, que al cambiar modifican los estados de agregación del agua originando el ciclo del agua (Rodríguez, Benito y Portela, 2004).

Por lo tanto, la presencia de vapor de agua en la atmósfera se denomina “humedad” y es considerado un componente importante de la atmósfera, aunque ocupe un pequeño volumen y sea muy variable (Barry y Chorley, 1972). Para la cuantificación de humedad contenida en el aire se emplean dos términos: la humedad absoluta nos refiere a la masa de vapor de agua que se encuentra en un volumen de aire seco, y el término de humedad relativa se expresa en porcentaje, significando el cociente entre la masa de vapor de agua contenida en el aire y la máxima capacidad de almacenamiento, en una temperatura establecida. Con ello, la humedad relativa indica la saturación de la atmósfera, es decir, la máxima masa de vapor de agua que puede tener una masa de aire. Por lo tanto, el resultado de una humedad relativa de 100% significa que no hay déficit de saturación y que el vapor de agua extra a esa cantidad se transformará en lluvia o nieve. La humedad se obtiene principalmente a través de dos instrumentos de medición: el psicrómetro y el higrómetro (Acuña y Robles, 2015).

### **Precipitación**

La formación de nubes en la atmósfera es sustancial para que ocurran las precipitaciones; una nube se constituye de varias gotas pequeñas de agua o bien de cristales de hielo diminutos, que se crean como producto de las condiciones a las que se somete el vapor de agua en la atmósfera, generalmente a condiciones de temperatura que se encuentran por debajo de los 0°C, las nubes se conforman de gotas pequeñas de agua, no obstante, si la temperatura oscila entre 2°C y -10°C, en las nubes habrá presencia de gotas de agua y cristales de hielo, en cambio, en situaciones donde la temperatura sea realmente baja, es decir, por debajo de -10°C, los cristales de hielo conformarán a la nube. (Brenes y Saborío, como se citó en Acuña y Robles, 2015).

Las precipitaciones son el fruto de un gran número de gotas que están presentes en una nube que no las puede contener más, provocando su caída libre hacia la superficie terrestre;

la clasificación de las precipitaciones se basa en el estado en el que desciende el agua, y otra clasificación que depende del tipo de nube y su altura (Barry y Chorley, 1972).

Bajo la clasificación conforme al estado del agua, se pueden encontrar las precipitaciones líquidas como la llovizna (gotas muy pequeñas y de baja intensidad), la lluvia (gotas de tamaño normal y de caída uniforme), los chubascos (gotas de gran tamaño y de gran intensidad), también existen las precipitaciones sólidas, por ejemplo, la nieve (cristales muy pequeños de hielo), aguanieve (gotas de agua y cristales de hielo), granizo (cristales de hielo de gran tamaño) (Acuña y Robles, 2015).

Según el tipo de nube y su altura, las precipitaciones se clasifican en precipitaciones ciclónicas originadas por frentes fríos o cálidos, precipitaciones convectivas derivadas de nubes con desarrollo vertical, y precipitaciones orográficas causadas por una barrera orográfica que obliga a alcanzar alturas a las cuales las nubes se enfrían y precipitan (Acuña y Robles, 2015).

Para la medición de los niveles de precipitación de una zona se manejan instrumentos denominados pluviómetros y pluviógrafos, y para el registro del volumen de las precipitaciones suelen utilizarse unidades de  $L/m^2$  (litros sobre metro cuadrado), o bien, su equivalente a mm (milímetros) (Acuña y Robles, 2015).

## **Viento**

Se denomina viento a la circulación que tiene una masa de aire dentro de la atmósfera, dicho movimiento es efecto de una transformación de energía calorífica a energía cinética, proveniente de las diferencias de temperatura entre el ecuador y los polos, con ello mayormente se pueden observar los movimientos horizontales del aire, aunque de igual forma existen los movimientos verticales donde el aire tienden a subir y bajar. Adicionalmente, la presión a la que se encuentra sometido el planeta también domina el desplazamiento del aire, especialmente por 4 factores: la creación de un gradiente de presión causa el movimiento horizontal del aire de la zona de alta presión a la zona de baja presión, la fuerza de Coriolis, la aceleración centrípeta y las fuerzas de rozamiento (Barry y Chorley, 1972).

Se identifican de manera general tres tipos de vientos. El primero es denominado como “brisas de mar” este tipo de viento es causado por las diferencias de temperatura entre el día y la noche, el segundo se conoce como “brisas de montaña y valles” ya que durante el día el viento fresco va hacia las montañas y por la noche ocurre lo contrario y, por último, se catalogan como “vientos generados por fenómenos meteorológicos como los huracanes y tornados”. De igual importancia, cabe señalar la existencia de los vientos locales que son resultado de las condiciones fisiográficas de una región, no tienen una clasificación específica y su nombramiento es en función de la zona donde se origina y circula el viento (Acuña y Robles, 2015).

Para medir la magnitud de los vientos se deben medir dos aspectos: la dirección y su velocidad. La dirección está dada en función de la rosa de los vientos y de donde proviene el viento, para su medición se utilizan instrumentos como la “veleta” y el “anemógrafo”, en ellos la dirección es indicada en grados sexagesimales; por otra parte, la velocidad es una magnitud escalar que indica a qué ritmo se mueve el viento, en la determinación de esta magnitud se utilizan equipos como el “anemómetro” y el “anemógrafo” y las unidades utilizadas suelen ser metros sobre segundo (m/s) aunque también son utilizados los kilómetros sobre hora (Km/h) y nudos (Acuña y Robles, 2015).

### **Presión atmosférica**

En la atmósfera existe gran cantidad de compuestos y gases que conforman el aire, todos ellos gracias a la gravedad tienen un peso, el cual es suficiente para hacer fuerza sobre un área determinada, nombrándose así la presión atmosférica (Andrades y Múñez, 2012).

La presión atmosférica a lo largo de todo el mundo es variada y ello depende de factores como la temperatura, humedad y altitud. La temperatura cambia el peso y la densidad del aire, a temperaturas bajas el aire es más pesado y denso (mayor presión), caso contrario ocurre en temperaturas altas donde el aire es menos pesado y menos denso (menor presión); la humedad influye mucho en el peso y, por lo tanto, en la presión, cuando hay mayor presencia de agua en la atmósfera mayor será su peso; de igual forma, la altitud es importante porque hay mayor concentración de aire cuando este se encuentra más cerca

de la superficie terrestre por lo que mayor será su presión si a menor altura se encuentra el punto de estudio, añadido a ello se considera que la presión disminuye logarítmicamente conforme aumenta la altura (Andrades y Múñez, 2012; Barry y Chorley, 1972).

Los instrumentos de medición mayormente empleados son el barómetro y barógrafo, ambos miden y registran las presiones atmosféricas de manera eficaz. Para el registro de los datos se pueden utilizar diversas unidades como el pascal (Pa), milímetros de mercurio (mm de Hg), milibar (mb), y atmosferas (atm) (Acuña y Robles, 2015).

En conjunto, todos los factores, variables o elementos climáticos tienen una enorme repercusión en los elementos de un ecosistema, pudiéndose decir que la variedad de ecosistemas que existen alrededor del mundo es resultado de la variedad de climas y viceversa; en consecuencia, la presencia de cambios mínimos en el clima conduce a alteraciones en el paisaje y cambios en la interacción de la fauna, mismos que contribuyen a los cambios del clima.

### **1.1.3 Variabilidad climática**

La Organización Mundial de Meteorología (como se citó en Acuña y Robles, 2015) plantea que la constante interacción que se da dentro del sistema climático, ya sea por la radiación solar, la atmósfera, las corrientes oceánicas o bien el constante movimiento de la tierra, hace que el clima no sea estático ni constante, y que al igual que estos factores se encuentre en contante fluctuación, estos cambios pueden ser más notorios a través de las épocas de un año o a través del paso de los años.

De esta manera, Baede, Van der Linder y Verbruggen (como se citó en CONAGUA, 2016) plantean que la variabilidad climática puede ser definida como variaciones en los valores medios de los elementos del clima, en un lugar y periodos de tiempo, provocados por interacciones dentro del sistema climático y que no son de origen antrópico.

La variabilidad climática puede ser observada mediante el comportamiento de eventos meteorológicos como las tormentas y huracanes, que suelen ser diferentes cada periodo, en magnitud, trayecto y cantidad; también de las variaciones en la precipitación,

temperatura, vientos y presión, con el paso de los años y del lugar; igualmente, la variabilidad climática guarda estrecha relación con fenómenos de nivel global tal como “El Niño/La Niña- Oscilación del sur” (ENOS por sus siglas en inglés) (Castro, Saborío, del Mar y González, 2018). Aunado a lo anterior, se considera también el fenómeno meteorológico “Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés). (Chisolm, como se citó en Acuña y Robles, 2015).

Tomando en cuenta los impactos que tienen estos eventos meteorológicos sobre los cambios en los climas, se establecen los rangos de normalidad en los datos estadísticos de estudio del clima, considerándose así estos como parte normal de las fluctuaciones del clima, que, sin embargo, son capaces de generar repercusiones de suma importancia en el desarrollo de la vida de la zona impactada. Todos aquellos valores “anómalos” que salen del límite de los valores llamados “normales” son considerados “anomalías”, y pueden resultar en sequías, huracanes, inundaciones, etc. (Castro, Saborío, del Mar Saborío y González, 2018; CONAGUA, 2016).

#### **1.1.4 Estaciones meteorológicas como sistemas de medición del clima.**

Previamente, en la descripción de cada variable o elemento climático, se detallaron los instrumentos de medición específicos para el análisis de cada elemento. En la actualidad, este tipo de instrumentos siguen siendo muy utilizados; no obstante, con el tiempo surgieron nuevas tecnologías que integran distintos aparatos de medición, mejorando y facilitando los sistemas de medición del clima, a fin de brindar registros y pronósticos más certeros del clima.

En concreto, una estación meteorológica es un sitio que integra diferentes dispositivos de medida de uno o varios parámetros meteorológicos y registra los datos climatológicos correspondientes, todo ello con el fin de ejecutar análisis sobre el comportamiento del clima de diversas zonas (Martínez, 2016).

Existe una gran variedad de estaciones meteorológicas y su clasificación difiere mucho según los autores; sin embargo, algunos de los tipos de estaciones meteorológicas más indicados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2018) son:

- Estación climatológica ordinaria: mide variables básicas en la tierra como la temperatura y precipitación.
- Estación climatológica principal: evalúa mayor cantidad de variables meteorológicas, entre ellas están la temperatura, precipitación, nubes, presión, visibilidad, humedad, viento y radiación solar.
- Estación climática de referencia: importante para la creación de tendencias por su gestión de datos a largo plazo de diferentes variables meteorológicas.
- Estación climática urbana: similar a una estación climatológica principal, con la adición de sensores que miden contaminantes atmosféricos.
- Estación climática marina: dado su enfoque en los mares, es una estación semejante a una estación principal con la diferencia de que mide la temperatura del agua y no la radiación solar.
- Estación climática hidrometeorológica: estación enfocada en el cálculo de dos variables, temperatura del agua y precipitación.
- Estación climática agrometeorológica: mide las variables de una estación principal y además la temperatura del suelo, empleándose generalmente en el campo por la agricultura y por la gestión de tierras.

En el caso particular de México, la infraestructura meteorológica se encuentra distribuida en puntos estratégicos a lo largo y ancho del país para la mayor obtención de datos climatológicos. La toma de datos se lleva a cabo a través de dos tipos de estaciones meteorológicas, las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA'S) y Estaciones Sinópticas Meteorológicas (ESIMES) (CONAGUA, 2016).

Las Estaciones Meteorológicas Automáticas abarcan un sistema denominado "red" compuesto hasta el año 2016 de 189 estaciones, las cuales comenzaron a instalarse desde el año de 1999, y que con el tiempo se han modernizado y aumentado el número de instalaciones para cubrir la mayor superficie posible del territorio nacional. La estructura de las instalaciones se basa en instrumentos de medición automáticos diseñados a base de sensores adecuados para identificar y calcular los niveles de temperatura, precipitación,

humedad, presión atmosférica, radiación solar, viento, niveles de agua e inclusive la combustibilidad y la temperatura a tan solo una altura de 10 cm sobre la superficie; posteriormente, los datos obtenidos son transferibles por satélites a las bases de datos de Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para su adecuado análisis de las condiciones del clima e investigaciones (CONAGUA, 2016).

Las Estaciones Sinópticas Meteorológicas en México se componen de 98 estaciones, distribuidas en 21 puntos estratégicos, y dentro de 77 observatorios meteorológicos; a diferencia de una EMA, en una ESIME se miden en total 12 aspectos climatológicos: temperatura, humedad, viento, presión atmosférica, precipitación, radiación solar, temperatura a una altura de 10 cm, temperatura a una profundidad de 10 cm, visibilidad, evo transpiración, insolación, y parámetros calculados; el cálculo de estos parámetros es a través de dispositivos automáticos que contienen sensores los cuales envían en línea mensajes sinópticos en periodos de 3 horas al Servicio Meteorológico Nacional, además de ser de gran importancia por su coordinación a nivel mundial, con el fin de entender el clima de la atmosfera del planeta y generar pronósticos meteorológicos en tiempo real (CONAGUA, 2016).

## **1.2 Relación Bosques - Clima**

### **1.2.1 Bosques**

Los recursos forestales constituyen una alta diversidad de ecosistemas terrestres, como los bosques, los cuales proporcionan las condiciones óptimas de vida requeridas por plantas, animales, microorganismos e inclusive para el ser humano, ello a través de la existencia de los árboles. La interacción de los componentes bióticos y abióticos en este tipo de ecosistemas boscosos es capaz de generar gran variedad de servicios ecosistémicos, que son de vital importancia no solo ambiental sino también económica y social (World Wildlife Fund [WWF], 2016).

El concepto de bosques mayormente usado a nivel mundial es el dado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en él se expresa que serán considerados como bosques a las tierras que cuenten con un gran número de árboles los

cuales cumplan con las características de: cubrir un área mayor a 0.5 hectáreas, que los árboles tengan o sean capaces al crecer de medir más de 5 metros y finalmente que tengan una cobertura de copa de al menos el 10%, además dentro de la definición se excluyen las tierras con prácticas predominantes agrícolas o áreas urbanas (FAO, 2018).

Actualmente, se evalúa que los ecosistemas boscosos mundiales cuentan con una extensión territorial total de 4,060 millones de hectáreas, mismas que se distribuyen por las regiones climáticas de todo el planeta de la manera siguiente: en la región tropical se concentra el 45% de todos los bosques, en la zona climática boreal se ubica el 27% de los recursos forestales, en la región templada se localiza el 16% de los bosques, y en la región subtropical se sitúa el 11% de los recursos forestales, en total todo ello cubre el 31% de la superficie total del planeta. Además, debido a esta distribución, países como Rusia, Brasil, Canadá, Estados Unidos y China concentran el 54% de los bosques del mundo (FAO, 2020).

#### Servicios ecosistémicos.

Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques al mundo son de suma importancia para el equilibrio en el planeta; los también conocidos como servicios ambientales se encuentran estrechamente vinculados a recursos como el suelo, el agua y el aire, y por lo tanto a procesos naturales que en ellos se lleven a cabo (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2021). Los principales servicios ecosistémicos que emanan de los bosques pueden resumirse en:

**Protección a la biodiversidad:** se estima que los bosques poseen el 80% de la flora y fauna del mundo, en este sentido, son ecosistemas con mucha biodiversidad, que se distribuye a través de los diferentes tipos de bosques, ya sean tropicales, templados o boreales; todos ellos contribuyen a la creación de entornos adecuados para el desarrollo de la vida, mejor conocido como hábitat, sin el cual la mayoría de las especies que ahí habitan no podrían sobrevivir ni llevar a cabo sus funciones biológicas-ecológicas (WWF, 2016).

**Protección de los recursos hídricos:** En el aspecto del agua, los bosques son de ayuda para la filtración adecuada del agua de lluvia hacia el subsuelo y también disminuyen la frecuencia de dispersión del agua, esto gracias a elementos propios de los bosques como el

follaje, las cortezas de los árboles, la hojarasca y las ramas que se encuentran en el piso. En ocasiones donde los climas tienden a ser secos, los bosques son de ayuda por su capacidad de captar precipitaciones que pueden ser almacenadas (Gottle y Sene, 1997). En general, los ecosistemas boscosos tienen una función imprescindible dentro del ciclo del agua, pues ayudan a la conservación en la cantidad de agua disponible en las cuencas hidrográficas (WWF, 2016).

Protección y conservación de los suelos: los suelos boscosos suelen ser ricos por la biodiversidad que albergan, además de ser suelos firmes por las extensas raíces de los muchos árboles que ahí crecen, también debido a la lenta infiltración del agua de la lluvia y a que las copas de los árboles protegen del impacto directo de tanto el viento como la lluvia, y el sol. Asimismo, los bosques ofrecen protección contra las inundaciones y la erosión de los suelos y ríos, esto al contar con la dispersión del agua y la infiltración del agua en las capas de la tierra (Gottle y Sene, 1997).

Regulación del clima y la contaminación: Los estados del clima y la contaminación son aspectos que actualmente se consideran que están relacionados, en lo que respecta a los bosques, estos tienen la capacidad de actuar sobre la velocidad del viento y su flujo a nivel local, de esta manera los bosques pueden captar los contaminantes presentes en el aire; a través de procesos como la fotosíntesis se fija el CO<sub>2</sub> en la estructura de las plantas y en el suelo, además en este proceso se libera oxígeno, purificando el aire de uno de los principales gases de efecto invernadero que provocan cambios en el clima (Gottle y Sene, 1997; WWF, 2016).

En este aspecto, los bosques son capaces de albergar gran diversidad biológica y sus servicios ambientales se han convertido en parte fundamental para la regulación de diferentes procesos físicos, químicos y biológicos que se desarrollan en todo el planeta, y que ante los cambios en los patrones climáticos a causa del cambio climático se han visto alterados.

### **1.2.2 Cambio Climático**

De acuerdo al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2018), el cambio climático se define como “una variación del estado del clima que sea identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante periodos prolongados, ... y puede deberse a factores naturales o antrópicos” (p. 75).

El cambio climático se encuentra está estrechamente relacionado con las emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), etc., estos se concentran en la atmósfera, y en diferente nivel tienen la capacidad de absorber la radiación infrarroja que retorna de la tierra, una vez hecho esto la devuelven a la superficie del planeta provocando su calentamiento, conocido como efecto invernadero; bajo esta situación, los aumentos de GEI generan una mayor captura de radiación, causando aumentos en la temperatura. El tipo de actividades que se desarrollaron desde la revolución industrial favoreció la emisión de este tipo de gases, por el uso de combustibles fósiles, y desde entonces su emisión ha ido en aumento, llegando así a considerarse una de las causas del cambio climático (Becerra, Mance, Barrera y García, 2015).

Datos de Dlugokencky, Trans y Gulev (como se citó en Friedlingstein et al., 2022) presentados en el presupuesto mundial del carbono 2022, muestran que la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera en el año 1750 era cercana a las 278 partes por millón (ppm), no obstante, datos recientes revelan que el año 2021 la concentración de CO<sub>2</sub> incrementó a 414,7 ppm. Asimismo, en el periodo 1850 al 2015, se evaluó que la temperatura promedio del aire en la superficie terrestre incrementó casi 1.53°C, mientras que la temperatura promedio global de la tierra incrementó casi 0.87°C (IPCC, 2019).

### **1.2.3 Deforestación**

Con respecto al concepto de deforestación, la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO, 2018) la define como “la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra, independientemente de si es inducido por humanos o no” (p.7). Conviene subrayar que, para la existencia de un cambio de uso de suelo, de bosques a la

agricultura, ganadería, urbanización, etc., se necesita de la supresión de la cobertura forestal, significando un cambio a largo plazo o irreversible. En cuanto a las principales causas de la deforestación, Pacheco et al. (2021) expresa que las causas se asocian mayormente a la agricultura, el desarrollo de infraestructura y a actividades extractivas; sin embargo, el tamaño de su impacto varía conforme el paso del tiempo, ya que estas actividades tienden a adecuarse a las demandas del mercado global, las políticas y economía de cada región.

Otro proceso importante de mencionar, que de igual manera está impactando negativamente los ecosistemas forestales, es la degradación. Si bien su impacto puede ser menor a la deforestación, este proceso implica cambios internos dentro de los bosques, es decir, en su constitución y sistema, que llegan a modificar los procesos que en él se llevan a cabo y, por lo tanto, la capacidad de proveer bienes y servicios. Generalmente la degradación bien puede ser causada por tormenta, tornados, inundaciones, o por el hombre a través de incendios, contaminación, del aprovechamiento forestal, entre otros (WWF, 2016).

Con respecto a los niveles de deforestación global, la FAO (2020) reporta que desde el año 1990 en total se han perdido aproximadamente 420 millones de hectáreas de bosque debido a la deforestación, y el ritmo de pérdida de superficie forestal de 1990 – 2000 fue de 16 millones de ha por año, mostrando una disminución en el decenio de 2000 – 2010 con una tasa de pérdida de 15 millones de ha por año, continuando con una ligera disminución en los años 2010 – 2015 con un valor promedio de pérdida neta de 12 millones de ha por año, y finalmente para el periodo 2015 – 2020 se obtuvo una deforestación promedio de 10 millones de ha/año.

#### **1.2.4 Deforestación y Cambio Climático**

Tanto los procesos de deforestación como de degradación se ven implicados en el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente del CO<sub>2</sub>, ya que al ser los bosques un gran sumidero de este gas, tienden a almacenarlo en su biomasa y al ocurrir

cualquiera de los dos procesos, los bosques liberan a la atmósfera el CO<sub>2</sub> contenido (CONAFOR, 2013).

La deforestación y degradación actualmente se ubican como una de las principales causas del cambio climático, ya que aspectos como tala de árboles, remoción de la vegetación, el movimiento y erosión del suelo, fomentan la liberación del 20% al 50% del carbono, tan solo almacenado en el suelo de los bosques (Ciesla, 1996). Van der Werf, G.R. et al. (como se citó en WWF, 2016) considera que las emisiones de CO<sub>2</sub> originadas por la deforestación y degradación corresponden del 12% al 20% de las emisiones de CO<sub>2</sub> globales.

El presupuesto global de carbono 2022 presenta un análisis profundo sobre las emisiones de dióxido de carbono, en él se exponen en un apartado las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas del uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura, aspectos muy relacionados con la deforestación y degradación forestal.

Los resultados publicados indicaron que en el periodo de 1850 a 2021 se emitieron  $205 \pm 60$  Gt C. Un análisis a un periodo más cercano demostró que el ritmo de emisiones brutas del CO<sub>2</sub> en años de 1960 a 2021 tuvo un aumento ligero, en general se pasó de tener en el 1960 emisiones brutas promedio de  $3.2 \pm 0.9$  GtC/año a que durante los años 2012 a 2021 se emitirán a la atmósfera aproximadamente  $3.8 \pm 0.7$  GtC/año. Asimismo, en el lapso de tiempo de 2012 a 2021 se identificó que los flujos principales de carbono fueron: flujos derivados de la deforestación (emitieron  $1.8 \pm 0.4$  GtC/año equivalente a  $4,5 \pm 2,6$  GtCO<sub>2</sub>/año), flujos derivados de la forestación y reforestación ( absorbieron  $0.9 \pm 0.3$  GtC/año), y flujos derivados de suelo orgánicos (emitieron  $0.2 \pm 0.1$  GtC/año); de ahí que se identifique a las emisiones por deforestación como el mayor responsable de emisiones de CO<sub>2</sub> (Friedlingstein et al., 2022).

Aunado a lo anterior, no únicamente los bosques alteran el clima mediante las emisiones de CO<sub>2</sub> por deforestación y degradación, sino que también a causa de la deforestación y la degradación se perjudican procesos internos como el balance energético e hídrico, el albedo, y la evapotranspiración, entre otros, los cuales influyen en gran medida el clima local y en menor medida el global, desencadenando en aumentos a la temperatura

superficial y la reducción de los niveles de precipitación en algunos casos, tal es el ejemplo de los bosques tropicales (Artaxo et al., 2021).

### **1.2.5 Impactos del cambio climático en los bosques**

Si bien, existen registros de que los bosques a lo largo del tiempo buscan adaptarse de diversas maneras a los cambios climáticos naturales que ha presentado el planeta, a pesar de ello, es evidente que el ritmo acelerado del calentamiento global y sus efectos podrían mermar su capacidad de adaptación y aumentar la gravedad de las perturbaciones naturales que son parte de los ecosistemas forestales.

Actualmente, las investigaciones sobre la influencia que tendrá el cambio climático en los cambios de las variables climáticas en los bosques, sus bienes y servicios, son muy diversas y siguen siendo de análisis, debido a las variables meteorológicas y la composición atmosférica, pues estas tienden a cambiar de diferente manera conforme al tiempo y la región geográfica, por lo que el impacto del cambio climático en cada bosque puede ser menor o mayor.

Por ello, es más conveniente el llevar a cabo estudios a nivel local para entender mejor el impacto del cambio climático en cada tipo de ecosistema forestal. Sin embargo, algunas secuelas generales que se consideran potenciales de suceder en los diversos tipos de bosques por la presencia de cambios en las condiciones climáticas son las siguientes: En zonas de bosques boreales se valora tendrán altas temperaturas aún más altas que las de zonas ecuatoriales, debido a ello se prevé un incremento en el número de incendios forestales y la ocurrencia de plagas, provocando desplazamientos de este tipo de bosques hacia el norte; en los bosques templados el cambio climático será notable a través del crecimiento de los árboles cercanos a los polos, y también en la disminución del tamaño de los árboles cercanos al subtrópico, además del aumento en la intensidad y ocurrencia de tormentas, no obstante se espera sea el tipo de bosque menos afectado; los bosques subtropicales en primera instancia se espera que disminuya la frecuencia y cantidad de las precipitaciones, adicionalmente las temperaturas tendrán un incremento, y con ello se presentara mayor evaporación, generando las condiciones que propiciarán el aumento de

incendios, y la pérdida de hasta un 40% de la biodiversidad que ahí habite; por último de los bosques tropicales se tiene la expectativa de ser los más dañados por el cambio climático en su crecimiento, al ser el tipo de ecosistema que contine la más alta biodiversidad se prevé que un incremento en la temperatura por encima de los 2°C, significaría la extinción del 30% de las plantas y animales, afectando en gran medida los servicios ecosistémicos además por los cambios se espera se liberen grandes cantidades de CO<sub>2</sub> (Seppälä y Buck, 2009).

Como señalan Stan & Sánchez-Azofeifa (2019), a causa del cambio climático que impacta a todos los ecosistemas y que se ve reflejado mayormente en el aumento o disminución de la temperatura y precipitación, se han presentado gran número de cambios en las condiciones normales de los ecosistemas terrestres que han afectado tanto la fenología forestal, como la dinámica interna dentro del ecosistema ( floración, fotosíntesis, uso del agua y transporte de nutrientes); lo que simultáneamente perjudica la capacidad de recuperación de los propios ecosistemas.

Con respecto a las regiones forestales de México, algunos modelos de estudios simulan que ante el cambio climático, las condiciones climáticas en los bosques tenderán a presentar aumentos por encima de los 2°C de temperatura promedio, y las precipitaciones se reducirán en al menos 10% pudiendo llegar a reducirse en 20% en algunas zonas de México; ante esta situación los bosques templados se verán seriamente comprometidos en un futuro ya que entre el 60% a 70% serán dañados, por el contrario, de los bosques tropicales solamente se espera que el 20% se vea gravemente afectado por el cambio climático, sin embargo, los bosques tropicales son los más afectados por procesos antrópicos que llevan a su deforestación y degradación, disminuyendo drásticamente su superficie (Martínez, Fernández y Osnaya 2004).

Es por ello que los bosques son considerados de vital importancia para la mitigación del cambio climático, pues a través de sus servicios ecosistémicos puede reducir los efectos del cambio climático. Por el contrario, dado que los efectos provocados por la deforestación y degradación en los bosques son bastante similares a los efectos del cambio climático sobre

los mismos, la actuación simultánea de ambos implica un gran problema y amenaza para el equilibrio del planeta.

## **CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA**

### **2.1 Selección de datos**

En cierto sentido, puede decirse que la metodología de la presente tesis se divide en dos partes. Primeramente, se busca la identificación de los 3 municipios del estado de Puebla que presenten mayor deforestación, los cuales serán los sitios de estudio; a partir de la determinación de los municipios, la segunda parte de la metodología consiste en analizar estadísticamente el comportamiento de las variables meteorológicas “precipitación y temperatura”, durante un periodo considerado de tiempo en los municipios de estudio, para finalmente establecer una correlación entre la deforestación y las variables meteorológicas del mismo sitio.

De acuerdo a lo anterior, para la selección de los municipios se buscaron registros de los niveles de deforestación en el estado de Puebla en bases de datos disponibles digitalmente, como lo fueron el Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF) y Global Forest Watch (GFW); a causa de la falta de datos (tanto en años como en municipios) de las cifras de deforestación en la información proporcionada por el SNIF, se seleccionó la información presentada por medio de la plataforma GFW, la cual resulta ser más completa.

Para la obtención de los valores de precipitación y temperatura específicos de cada municipio, se buscaron bases de datos que tuvieran registros de un periodo largo de tiempo, al menos desde el año 1990, para un mejor análisis. Por ello, se seleccionó la información presentada en las bases de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en su apartado de Normales Climatológicas del Estado de Puebla, y de las estaciones de los municipios de estudio.

### **2.2 Bases de datos**

#### Global Forest Watch

GFW actualmente es considerada una plataforma en línea que concentra información sobre los bosques en el planeta, sin embargo, inicialmente fue fundada en 1997 por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), con el propósito original de general informes sobre los

bosques de países como Canadá, Camerún, Indonesia y Gabón; con el paso de los años, GFW se ha posicionado como una plataforma confiable que no solamente facilita información sobre el estado de los recursos forestales, sino que además provee de herramientas para el monitoreo de los bosques, ya que cuenta con el apoyo de diversas instituciones internacionales y reconocidas mundialmente como la UNEP, el gef, Google, esri, la USAID, la Universidad de Cambridge, entre muchas otras instituciones (Global Forest Watch [GFW], s.f.).

La base de datos de GFW es producto del esfuerzo de un gran número de organizaciones tanto gubernamentales, como no gubernamentales, que proporcionan tanto tecnología, datos y conocimientos; de esta manera, la base de datos se desarrolla a través de la interpretación de los datos satelitales, de algoritmos informáticos, que son almacenados en servidores de internet, para ser de libre acceso a investigadores, periodistas y también al público en general (World Resources Institute [WRI], s.f.).

GFW ofrece a sus usuarios tres diferentes conjuntos de datos, el primero se denomina Cobertura de Dosel Arbóreo, el segundo concentra la Altura de la Cobertura Arbórea, y el tercero ofrece información sobre la Cobertura Arborea de los Trópicos; la diferencia entre ellos radica en la cobertura geográfica que abarca cada conjunto, la resolución espacial, el tiempo de cobertura, y la forma de definir la cobertura arbórea, por lo que el propósito con el que sean utilizados los datos importa en la selección del conjunto de datos (Ertel et al., 2023).

Para analizar la pérdida de cobertura arbórea anual que se ha tenido en el estado de Puebla por cada municipio, la base de datos recomendada es “Cobertura de Dosel Arbóreo”, esta es una base de datos desarrollada por el laboratorio GLAD de la Universidad de Maryland (UMD), en ella se registra la pérdida anual de la cobertura arbórea entre los años 2001 al año 2022, una de las características de esta base de datos es que únicamente toma en cuenta la pérdida de árboles de más de 5 metros de altura, y para su cálculo se utilizan imágenes Landsat que miden la densidad de la cubierta arbórea con una resolución de 30 metros (Ertel et al., 2023).

## Servicio Meteorológico Nacional

El SMN es un organismo de investigación, que emana de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual está integrada a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); de esta manera es el organismo a nivel nacional que a través de su infraestructura meteorológica es el encargado de estudiar y presentar información sobre el clima a nivel nacional, regional, o local (CONAGUA, 2016).

En México, desde finales del siglo XIX, se comenzó con el registro ordenado de información climatológica, formando el archivo climatológico más importante del país; estos datos son mayormente obtenidos de las poco más de 5100 estaciones climatológicas del sector tanto público como privado y del resto de la infraestructura meteorológica con la que cuenta el SMN, todos los datos obtenidos se registran en el Banco Nacional de Datos Climatológicos para su posterior análisis estadístico. También el SMN se apoya de sistemas como CLICOM para la administración del archivo de datos y la estandarización en el manejo de los datos, además de proporcionar estadísticas climatológicas ya sea por periodos de tiempo (mensuales o diarias) o bien promedios del día, mensuales y sus valores extremos (CONAGUA, 2016).

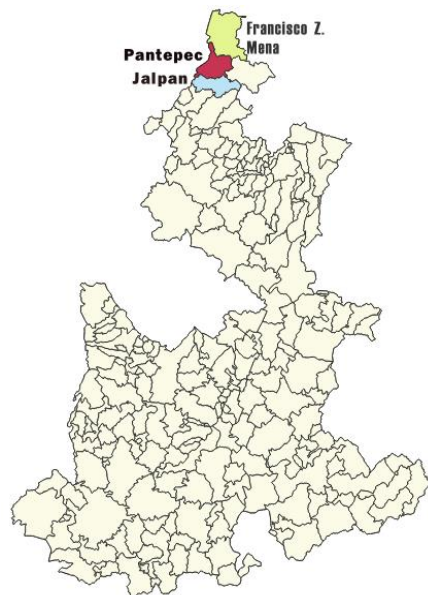
En general, la base de datos que presenta el Servicio Meteorológico Nacional se constituye de la información de los 32 estados y de la información a nivel nacional, registrados en tablas en formato ASCII para facilitar y mejorar el acceso a la información del usuario, de manera que la información histórica del clima pueda ser accesible en formatos como Excel o Notepad (CONAGUA, 2016).

Adicionalmente, para una mejor información climatológica a nivel estatal, cada uno de los 32 estados de la República Mexicana cuenta con registros climatológicos por municipios, donde se encuentran ubicadas estaciones climatológicas. Esta información es presentada a través del sistema CLICOM y en la página del servicio meteorológico nacional mediante el título de “Normales Climatológicas por Estado”, y los años de registro de cada municipio dependerán del tiempo de operación de cada estación meteorológica, puesto que algunas han dejado de operar y otras hasta la fecha continúan registrando datos.

### 2.3 Selección de los sitios de estudio.

Con base en los datos obtenidos de GFW, se obtuvieron los registros de hectáreas deforestadas por año, en el periodo de 2001 hasta el año 2022, de 213 municipios de los 217 municipios en los que está dividido el estado de Puebla; los datos fueron concentrados en hojas de Excel por municipio y año, para realizar la sumatoria total de las hectáreas deforestadas en ese periodo de tiempo, además de eliminarse aquellos municipios que mostraron varios años con falta de datos. Una vez teniendo los niveles de deforestación por municipios, se ordenaron de mayor a menor cantidad total de deforestación, quedando como resultado los tres primeros municipios con mayor deforestación total, los cuales fueron: Pantepec, Jópala, y Francisco Z. Mena.

Si bien fueron los tres lugares con mayor deforestación, el segundo municipio con mayor deforestación, “Jópala” cuenta con tres estaciones de monitoreo que no están en funcionamiento, por lo que existen muy pocos registros de temperatura y precipitación en el municipio. Como consecuencia, no se podría realizar el análisis estadístico y no era viable seleccionar el municipio. Por este motivo, en su lugar fue seleccionado el cuarto municipio con mayor deforestación, de esta manera los sitios de estudio finalmente elegidos fueron: Pantepec, Francisco Z. Mena y Jalpan.



*Ilustración 1. Mapa de los tres municipios del estado de Puebla con mayor deforestación.  
Elaboración Propia. 2024*

## **2.4 Sitios de estudio**

### **PANTEPEC**

El municipio de Pantepec se encuentra ubicado en la zona Norte del Estado de Puebla, específicamente entre los paralelos 20° 29' y 20°40' de latitud norte, los meridianos 97° 47' y 98° 00' de longitud oeste, y cuya altitud puede variar de entre 100 hasta los 800 m, de tal manera que forma parte de la Sierra Madre Oriental; y se encuentra a los límites en el norte con el estado de Veracruz y el municipio Francisco Z. Mena, en el sur limita con el municipio de Jalpan, al este se encuentra el municipio Venustiano Carranza, y al oeste el estado de Veracruz. Su extensión territorial es cercana a los 223 Km<sup>2</sup> cubriendo el 0.63% de la superficie total del estado, que a su vez se encuentra dividido en 89 localidades donde se concentra una población de poco más de 18,000 habitantes (H. Ayuntamiento de Pantepec, s.f.; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2010).

Dentro del municipio se encuentra la región hidrológica de Tuxpan-Nautla, además de la cuenca R. Tuxpan y diversas corrientes de agua, adicionalmente el clima en la región suele ser muy cálido con temperaturas que van de los 23°C a 25°C y en cuanto a los niveles de precipitación suelen ser abundantes con niveles de 1900 a 2000 mm anuales, en general su clima todo el año es cálido-húmedo, sin embargo, en verano hay presencia de lluvias más abundantes; estas características han sido favorables para el desarrollo de la agricultura en el municipio, tanto que el 61.5% del área del municipio se usa con fines agrícolas, el 1% es considerado zona urbana, y el 37.3% está conformado por vegetación ya sea de pastizal o selva (INEGI, 2010).

Datos presentados por CONAFOR (2013), en el inventario estatal forestal y de suelos del estado de Puebla, reportaban la presencia de únicamente 4,636.5 ha de vegetación forestal secundaria, de entre ellas 119.4 ha eran bosques de latifoliadas y 4,517 ha eran catalogadas selvas altas y medianas.

### **FRANCISCO Z. MENA**

El municipio de Francisco Z. Mena es el municipio ubicado más al norte del estado de Puebla, específicamente entre los paralelos 20° 34' y 20° 51' de latitud norte, los meridianos 97° 41' y 97° 56' de longitud oeste, y cuya altitud puede variar de entre 60 m hasta los 400 m. Por su ubicación geográfica, este municipio forma parte de la Sierra Madre Oriental y un poco de la Llanura Costera del Golfo Norte; y se encuentra a los límites tanto en el norte como en el este y oeste con el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, en el sur limita con los municipios de Venustiano Carranza y Pantepec. Su extensión territorial cubre el 1.25% de la superficie total del estado, que a su vez se encuentra dividido en 140 localidades donde se concentra una población de poco más de 17,000 habitantes (INEGI, 2010; Secretaría de Economía [SE], s.f.).

Dentro del municipio se encuentra la región hidrológica de Tuxpan-Nautla, además de las cuencas hidrológicas R. Tuxpan y R. Cazonas y diversas corrientes de agua, por otra parte, el clima en la región es cálido con temperaturas que van de los 22°C a 24°C y en cuanto a los niveles de precipitación suelen ser abundantes con niveles de 1400 a 1600 mm anuales, en general su clima todo el año es cálido-subhúmedo, sin embargo, en verano hay presencia de lluvias más abundantes volviendo el clima cálido-húmedo en esas fechas; estas características han sido favorables para el desarrollo de la agricultura en el municipio, tanto que el 68% del área del municipio se usa con fines agrícolas, tan solo el 0.5% es considerado zona urbana, el 24.3% pertenece a regiones llenas de selvas, un 4.5% corresponde a bosques y 2.5% a pastizales (INEGI, 2010).

Datos presentados por CONAFOR (2013), en el inventario estatal forestal y de suelos del estado de Puebla, reportaban la presencia de únicamente 14,946.2 ha de vegetación forestal secundaria, de entre ellas 8,337.8 ha eran bosques de latifoliadas y 6,608.4 ha eran catalogadas selvas altas y medianas.

### JALPAN

El municipio de Jalpan se encuentra ubicado en la zona Norte del Estado de Puebla, por debajo de los municipios de Francisco Z. Mena y Pantepec, específicamente entre los paralelos 20° 23' y 20° 31' de latitud norte, los meridianos 97° 44' y 98° 01' de longitud

oeste, y cuya altitud puede variar de entre 160 hasta los 940 m, de tal manera que forma parte de la Sierra Madre Oriental; y se encuentra a los límites en el norte con el municipio de Pantepec, en el sur limita con los municipios de Xicotepec y Tlacuilotepec, al este se encuentra el municipio Venustiano Carranza y el estado de Veracruz, y al oeste con el estado de Hidalgo. Su extensión territorial abarca el 0.6% de la superficie total del estado, que a su vez se encuentra dividido en 90 localidades donde se concentra una población de poco más de 12,000 habitantes (INEGI, 2010; SE, s.f.).

Dentro del municipio se encuentra la región hidrológica de Tuxpan-Nautla, además de la cuenca R. Tuxpan y R. Cazonas y diversas corrientes de agua, adicionalmente el clima en la región suele ser muy cálido con temperaturas que van de los 23°C a 25°C y en cuanto a los niveles de precipitación suelen ser abundantes con niveles de 1900 a 2600 mm anuales, en general su clima todo el año es cálido-húmedo, sin embargo, en verano hay presencia de lluvias más abundantes; estas características han sido favorables para el desarrollo de la agricultura en el municipio, casi la mitad del área del municipio el 50.32% se usa con fines agrícolas, el 0.3% es considerado zona urbana, y el 49.5% está conformado por vegetación ya sea de pastizal o selva (INEGI, 2010).

Datos presentados por CONAFOR (2013), en el inventario estatal forestal y de suelos del estado de Puebla, reportaban la presencia de únicamente 11,842.8 ha de vegetación forestal secundaria, de entre ellas 370.7 ha eran bosques de latifoliadas, 504.7 ha de bosque mesófilo y 10,967.4 ha eran catalogadas selvas altas y medianas.

## **2.5 Calidad de datos**

Los datos obtenidos del Servicio Meteorológico nacional de las variables meteorológicas de precipitación y temperatura se seleccionaron de la estación meteorológica que se encontrara ubicada dentro de cada municipio, y la información fue ordenada en hojas de formato de Excel, según el tipo de variable y año de registro, comenzando por el año 1982 que es el primer año del que se tiene registro en cada sitio hasta el año 2022; no obstante, durante ese periodo de tiempo cada variable mostraba falta de datos, es decir, años en los que no hubo registro de los grados promedio de temperatura máxima o mínima por año y

también de los niveles de precipitación promedio por año, debido a esta situación, de cada variable fueron seleccionados los años con los registros más completos y se decidió no tomar en cuenta para el análisis estadístico aquellos años que no contaban con los datos necesarios. De igual manera, se eliminaron aquellos promedios mensuales que, por alguna situación, marcaban "0" como promedio de temperatura o precipitación, ya que parecían datos no confiables y que podrían afectar el análisis estadístico.

Esta selección de datos se llevó a cabo en cada variable meteorológica (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación) y en cada uno de los tres municipios de estudio: Pantepec, Francisco Z. Mena y Jalpan.

## **2.6 Análisis estadístico**

Los datos finalmente obtenidos fueron analizados por separado según cada sitio de estudio. Primeramente, para observar el comportamiento de cada variable meteorológica, se ilustraron de manera gráfica los promedios anuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, desde los primeros registrados, es decir, del año 1982 a la fecha de registro más reciente 2020-2022, según sea el caso de cada sitio, exceptuando los años con falta de datos; y para una mejor comprensión de su comportamiento, se aplicó una línea de tendencia lineal mediante la cual se pueda entender si las variables meteorológicas tienden a aumentar o disminuir.

Asimismo, para observar el comportamiento de las variables meteorológicas por series de tiempo, se generaron 5 series de tiempo: 80-89, 90-99, 00-09, 10-19, y 20-22, se clasificaron los promedios de cada mes y para cada serie, y según cada variable meteorológica.

Finalmente, para poder determinar si existe relación alguna entre las variables de interés, que son los niveles de deforestación, con cada una de las variables meteorológicas, se realizó una correlación de Spearman.

El coeficiente de correlación de Spearman, denominado también RHO de Spearman, como cualquier otro método de correlación, busca medir la asociación entre dos variables, pero a diferencia de la correlación de Pearson, Spearman puede ser utilizado aún si los datos

muestran valores atípicos o extremos, además de no requerirse una distribución normal en los datos, siendo así sus supuestos menos estrictos (Ortega, 2009). Para su interpretación, el coeficiente de correlación puede tomar valores que van de -1 a +1. En este rango, los valores que van de  $\pm 1$  a  $\pm 0.8$  se consideran una correlación buena, de  $\pm 0.8$  a  $\pm 0.5$  significa una correlación moderada, de  $\pm 0.5$  a  $\pm 0.2$  presenta una correlación débil, y si el valor es menor o está próximo al 0, se considera que no hay correlación entre las variables. El signo “+” indica que una variable aumenta conforme la otra también aumenta, mientras que el signo “-” indica que una variable aumenta cuando la otra disminuye, indicando así la dirección de la correlación (Roy, 2019).

Las variables a correlacionar fueron: deforestación-Tmáx, deforestación-Tmín, deforestación-Niveles de precipitación, de cada municipio de estudio. En el caso de los niveles de deforestación para un mejor análisis, se optó por tomar de referencia los valores acumulativos de la deforestación, es decir, al año de estudio se le sumaron las ha de deforestación del año o años anteriores, esto dado que los impactos que tiene un área deforestada no solo tienen impacto al momento de su deforestación sino en los años próximos también.

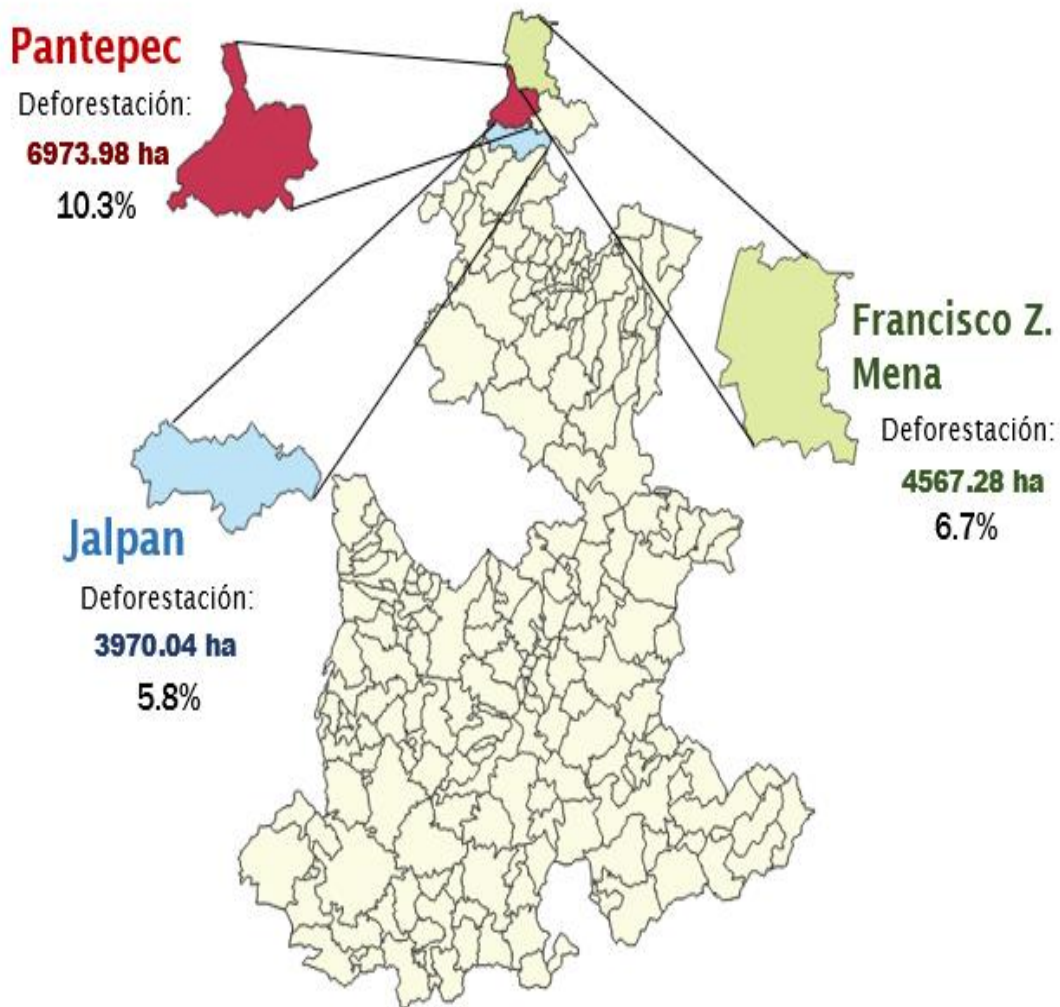
Para la realización del análisis estadístico y también para el procesamiento de los datos se utilizaron dos programas: Excel y Jamovi.

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS

### 3.1 Tres municipios más deforestados del Estado de Puebla.

Con base en los registros proporcionados por la base de datos de Global Forest Watch, se determinó que los municipios con mayor deforestación en el periodo 2001 – 2022, fueron el municipio de Pantepec, Francisco Z. Mena y Jalpan.

### Municipios con mayor deforestación 2001 - 2022

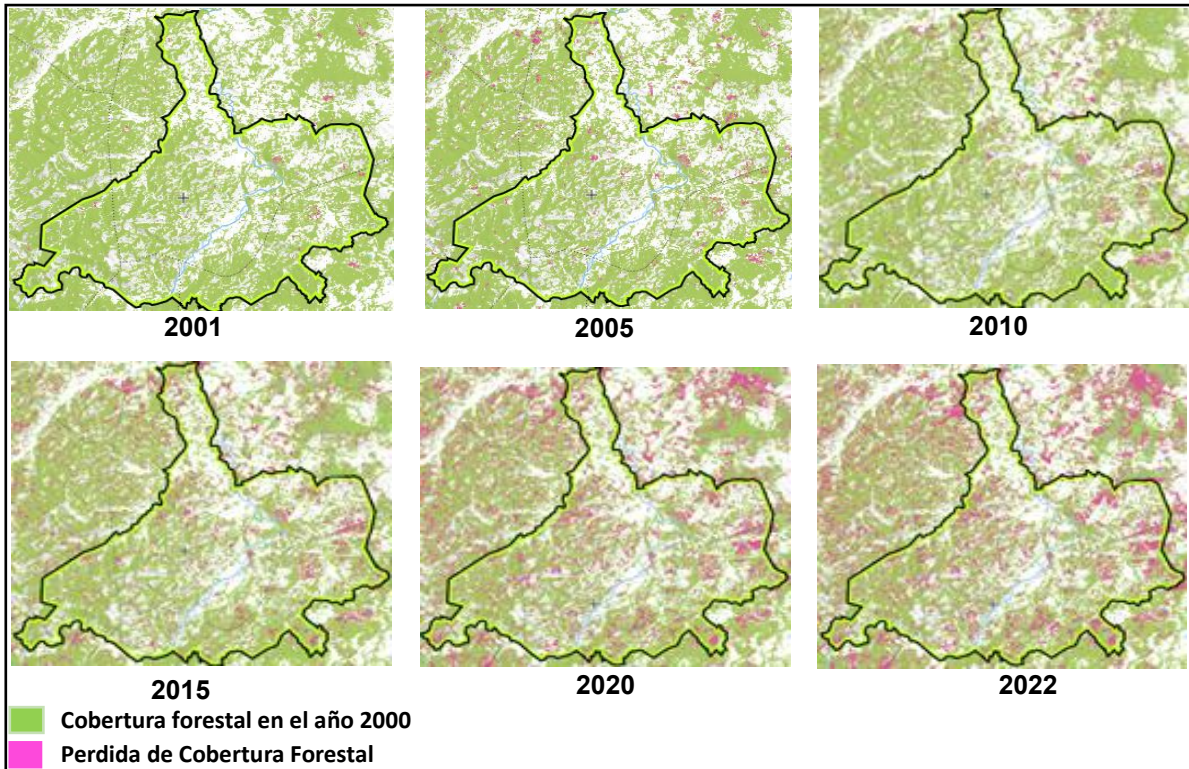


*Ilustración 2. Mapa de los municipios con mayor deforestación en el Estado de Puebla en el periodo 2001 – 2022. Elaboración propia. 2024.*

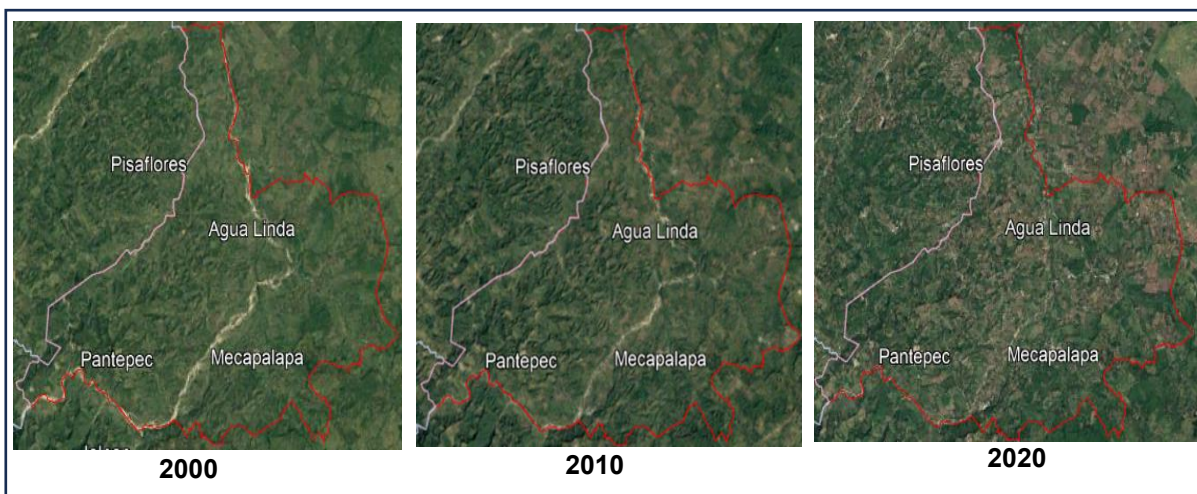
En la ilustración anterior, se muestra la ubicación geográfica de los tres municipios más deforestados. Los tres municipios corresponden a la zona norte del estado de Puebla.

### 3.1.1 Deforestación Pantepec

Pantepec es el municipio que ocupa el primer lugar en cuanto a mayor deforestación, ya que, en el periodo indicado, lleva un acumulado de 6973.98 hectáreas de bosque deforestadas, lo que corresponde a él poco más del 10% de la deforestación del estado.



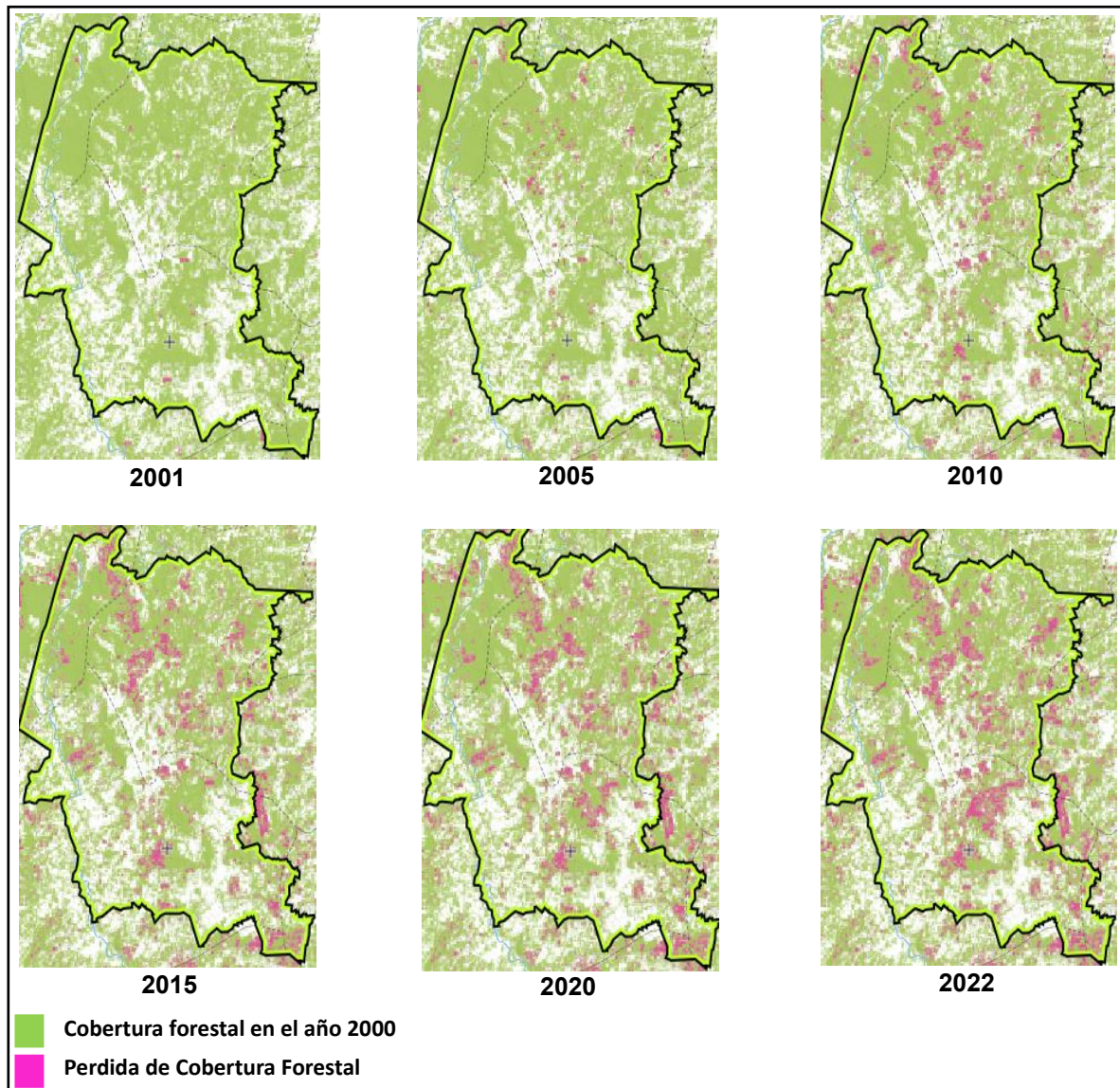
*Ilustración 3. Mapas de la pérdida de cobertura arbórea en Pantepec, Puebla. Planet Satellite Imagery. 2024*



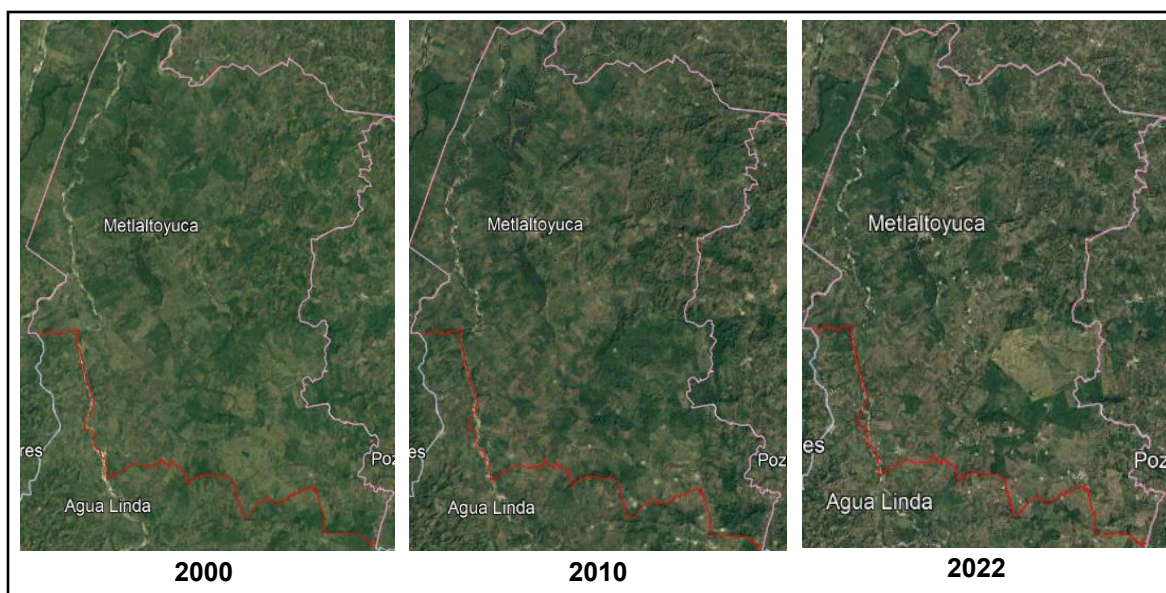
*Ilustración 4. Imágenes satelitales de la pérdida de cobertura arbórea en Pantepec, Puebla. Google Earth Pro. 2024*

### 3.1.2 Deforestación Francisco Z. Mena

El segundo lugar le corresponde al municipio de Francisco Z. Mena, sumando un acumulado de 4567.28 hectáreas deforestadas, lo que representa a nivel estatal el 6.7% de la deforestación total, si bien es un municipio de mayor área que el municipio de Pantepec, este se encuentra por debajo de 2,406 hectáreas deforestadas con respecto a Pantepec.



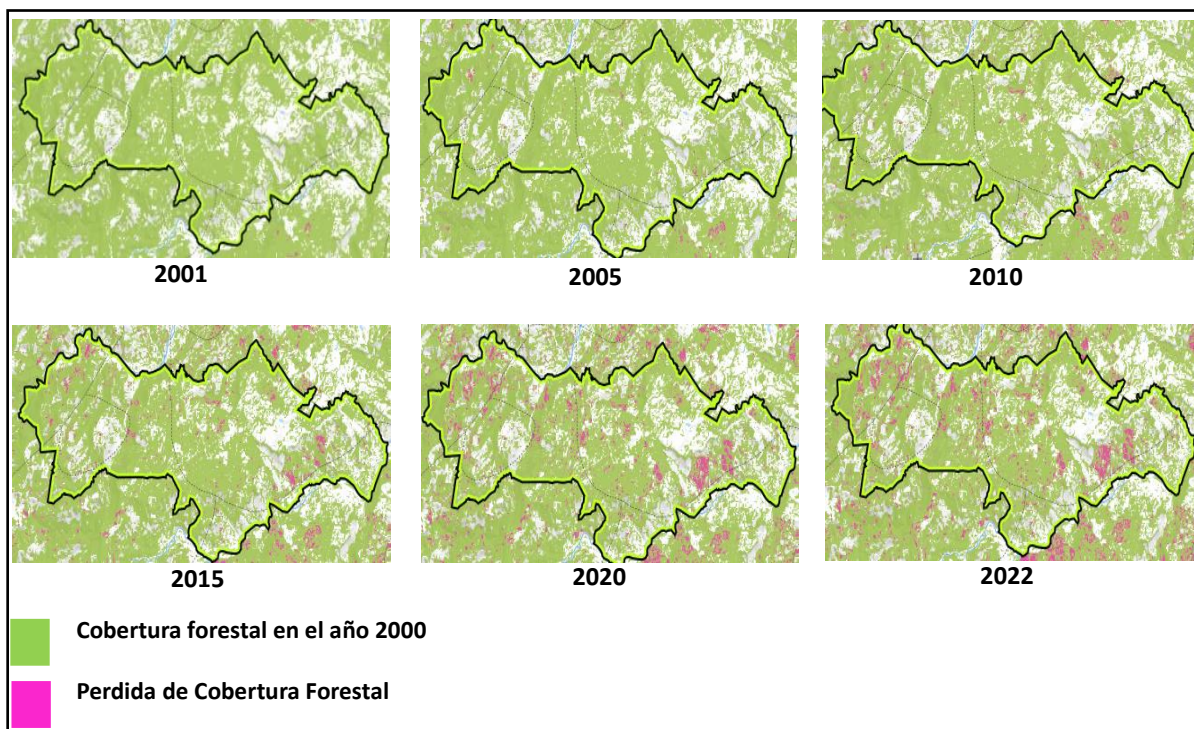
*Ilustración 5. Mapas de la pérdida de cobertura arbórea en Francisco Z. Mena, Puebla. Planet Satellite Imagery. 2024*



*Ilustración 6. Imágenes satelitales de la pérdida de cobertura arbórea en Francisco Z. Mena, Puebla. Google Earth Pro. 2024*

### 3.1.3 Deforestación Jalpan

En tercer lugar, se encuentra el municipio de Jalpan, con un total de 3970.04 hectáreas de bosque deforestado, que en términos de porcentaje representa el 5.8% del total de la deforestación a nivel estatal, 597 hectáreas menos con respecto al municipio anterior.



*Ilustración 7. Mapas de la pérdida de cobertura arbórea en Jalpan, Puebla. Planet Satellite Imagery. 2024*

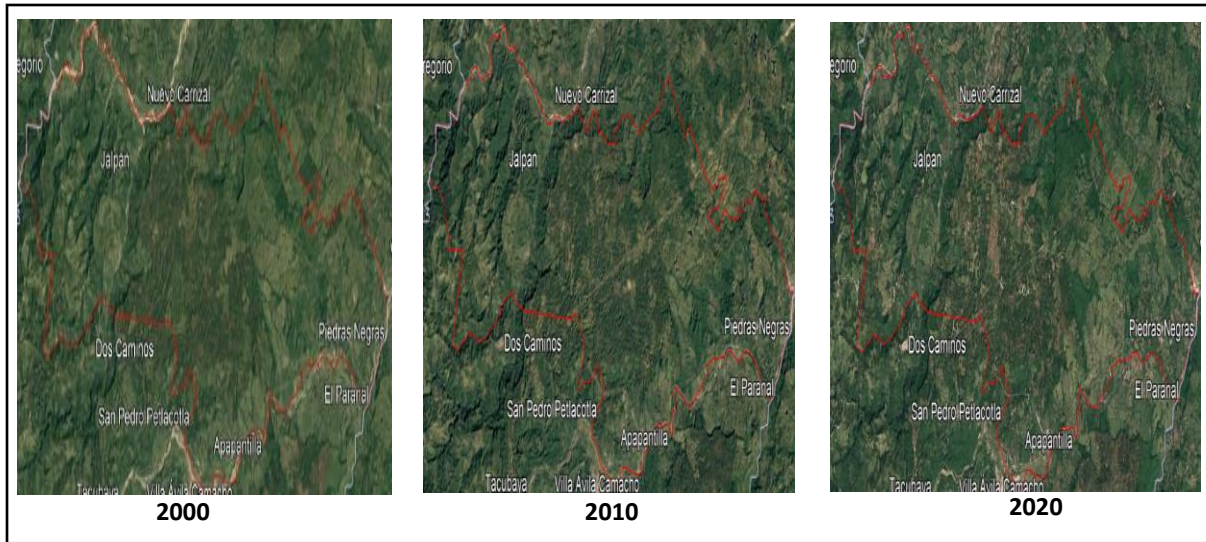
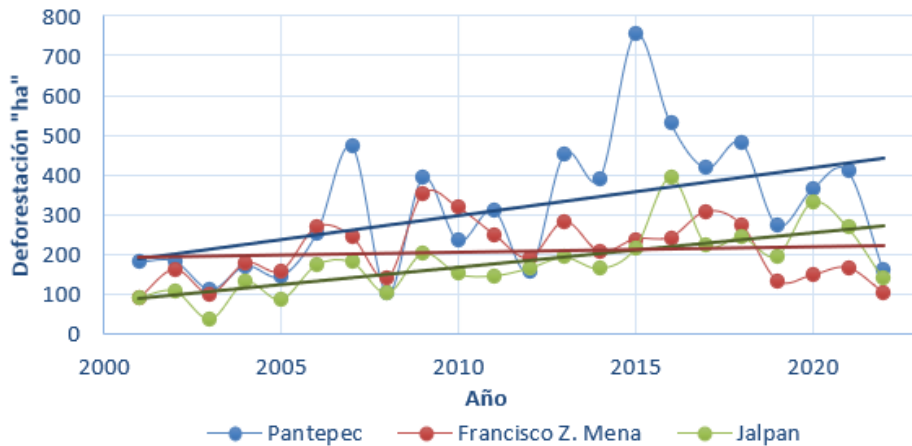


Ilustración 8. Imágenes satelitales de la pérdida de cobertura arbórea en Jalpan, Puebla. Google Earth Pro. 2024

### 3.1.4 Comportamiento de la deforestación

#### Deforestación 2001 - 2022



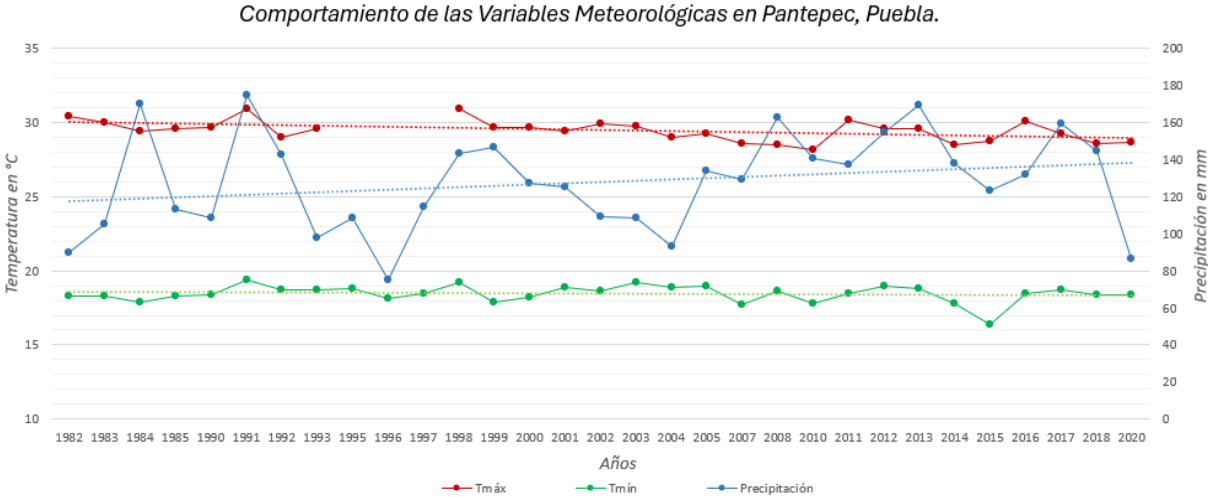
Gráfica 1. Niveles de deforestación en Pantepec, Francisco Z. M., y Jalpan. Elaboración Propia. 2024.

En la gráfica se indican los niveles de deforestación promedio anuales entre los años comprendidos de 2001 a 2022, indicados en cantidad de hectáreas perdidas, así como su comportamiento a través de los años, pudiendo observarse aumentos en los niveles de deforestación de los tres municipios; Pantepec es el municipio con las cifras más críticas de deforestación, más entre los años 2013 – 2018 donde se observa un considerable aumento

en la cantidad de hectáreas perdidas alcanzando un pico máximo de 754.5 ha deforestadas en 2015; por otra parte, el municipio de Francisco Z. Mena presenta un muy ligero aumento de la deforestación a través del tiempo y la cifra máxima que alcanzo fue de 352.3 ha durante el año 2009; en cuanto al municipio de Jalpan a pesar de ser el tercer lugar, muestra una mayor tendencia de crecimiento de la deforestación que el municipio en segundo lugar, sobre todo en los últimos diez años donde los niveles de deforestación se mantienen por arriba de las 100 ha deforestadas anuales, y alcanzando la cantidad máxima de 393.8 ha en el año 2016.

**3.2 PANTEPEC**

**3.2.1 Comportamiento a través del tiempo**



*Gráfica 2. Comportamiento de Tmáx, Tmín y Precipitación a través del tiempo en Pantepec, Puebla. Elaboración propia. 2024.*

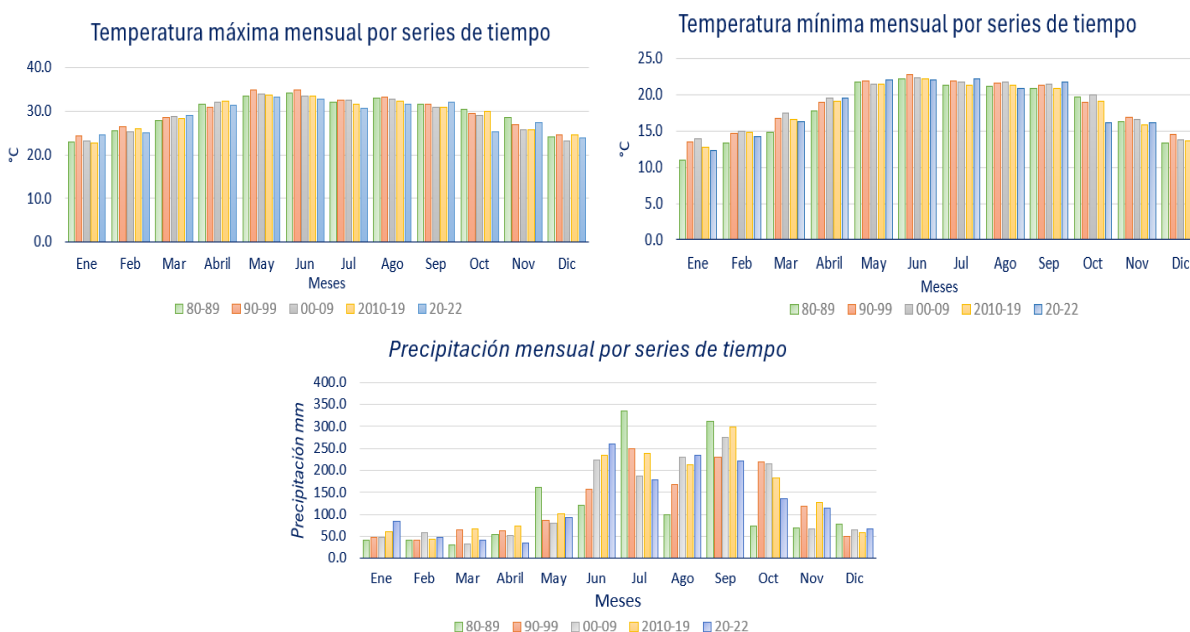
En la gráfica anterior se presentan los niveles de temperatura máxima, temperatura mínima, y precipitación en el municipio Pantepec, extraídos de la estación meteorológica 21211 que se encuentra operando y lleva de nombre Ameluca. Se exponen los promedios anuales desde el año 1982 hasta el año 2020, exceptuando algunos años en los que no se encontraron registros.

La temperatura máxima en el municipio oscila entre los 28°C, 29°C, y 30°C, la temperatura máxima más baja registrada fue de 28.2°C en el año 2010 y la temperatura máxima más alta registrada fue de 30.9°C durante los años de 1991 y 1998; la temperatura mínima fluctúa

entre los 17°C, 18°C y 19°C, la temperatura mínima más baja registrada fue de 16.4°C en el año 2015 y la temperatura mínima más alta registrada fue de 19.4°C en el año 1991; los niveles de precipitación a simple vista se aprecian son muy fluctuantes, ya que los valores abarcan un rango que va de los 75 a 169 milímetros, el valor más alto fue en el año 2013 con un valor de 169.3 mm y el valor más bajo fue de 75 mm en el año 1996.

La línea de tendencia indica que temperatura máxima en el municipio con el paso del tiempo ha disminuido; la temperatura mínima no presenta cambios; y las precipitaciones han aumentado con los años.

### 3.2.2 Comportamiento mensual por series de tiempo



*Gráfica 3. Gráficos del comportamiento mensual de las variables climáticas en Pantepec, Puebla. Elaboración propia. 2024.*

Las gráficas anteriores muestran las variaciones de los elementos climáticos a través de los meses del año, definidos en periodos de tiempo de 10 años, a excepción del último periodo que únicamente comprende los años 2020, 2021 y 2022.

La temperatura máxima mensual se comporta de la siguiente manera: de manera general, en todas las series de tiempo, los meses más calurosos en el municipio de Pantepec son el mes de mayo y junio, meses en los que se presentaron temperaturas superiores a los 33°C; la década de 1990 a 1999 muestra las temperaturas más altas registradas en los meses de

enero, febrero, mayo, junio, julio, agosto, y diciembre, siendo la década con las temperaturas máximas más altas.

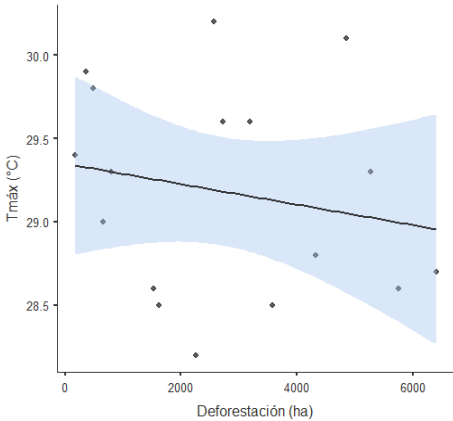
La temperatura mínima mensual varía conforme al siguiente modo: el mes con la temperatura mínima más alta en todas las series de tiempo es el mes de junio, donde la temperatura se mantiene por arriba de los 22°C, los meses con la temperatura mínima más baja generalmente son en enero y diciembre, con una temperatura que va de los 11°C a los 13°C; la década de 1980 a 1989 muestra las temperaturas más bajas registradas en los meses de enero, febrero, marzo, abril, siendo la década con las temperaturas mínimas en promedio más bajas.

La precipitación mensual cambia a través del año de la siguiente forma: se observa una mayor variación en los niveles de precipitación a través de los meses y de las diferentes series de tiempo, los meses con más cantidad de lluvias serían los meses de julio y septiembre, los meses con menos lluvia son febrero y marzo; con respecto a la década con mayor cantidad de precipitaciones, no se puede definir una ya que es muy cambiante, sin embargo, en el mes de julio de la década de 1980 a 1989 se alcanzó un promedio máximo histórico de 335.8 mm de precipitación.

**3.2.3 Correlación**

PANTEPEC	Tmáx	
	Rho Spearman	N
Deforestación	-0.209	17

*Tabla 1. Correlación: Deforestación - Tmáxima en el municipio de Pantepec. Elaboración propia. 2024.*



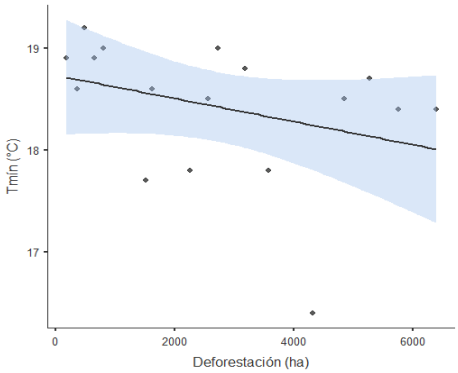
*Gráfica 4. Dispersión Deforestación – Tmáx en el municipio de Pantepec. Elaboración propia. 2024.*

La correlación de Spearman se basa en el análisis de 17 pares de datos de las variables señaladas. El resultado obtenido, mejor conocido como Rho Spearman, fue de **-0.209**, valor que como primera instancia indica una correlación negativa, es decir, a medida que la deforestación crece la temperatura máxima tiende a disminuir. Por otra parte, la cifra entra dentro de los valores que señalan una correlación débil; por lo que en este caso la asociación que existe entre la deforestación y la temperatura máxima es denominada una **correlación negativa débil**.

La distribución de los 17 pares de datos se muestra en la gráfica, además de ser observable la correlación negativa que existe entre la deforestación y la temperatura máxima, y también es notable que los datos se encuentran muy dispersos, lo cual es el motivo por el que la correlación entre ambas variables sea muy débil.

PANTEPEC	Tmín	
	Rho Spearman	N
Deforestación	-0.478	17

Tabla 2. Correlación: Deforestación - Tmínima en el municipio de Pantepec. Elaboración propia. 2024



Gráfica 5. Dispersión Deforestación – Tmín. en el municipio de Pantepec. Elaboración propia. 2024

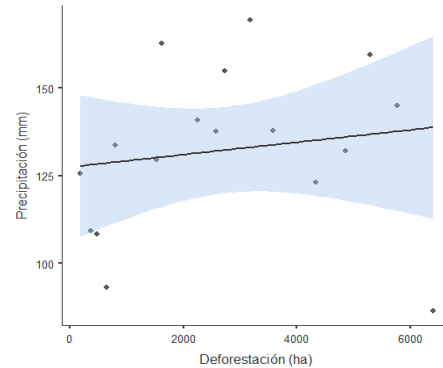
La correlación de Spearman se basa en el análisis de 17 pares de datos de las variables señaladas. El resultado obtenido, mejor conocido como Rho Spearman, fue de **-0.478**, valor que indica una correlación negativa, es decir, a medida que la deforestación crece la temperatura mínima tiende a disminuir. Por otra parte, la cifra entra dentro de los valores que señalan una correlación débil; por lo que en este caso la asociación que existe entre la deforestación y la temperatura mínima es denominada una **correlación negativa débil**.

La distribución de los 17 pares de datos se muestra en la gráfica, además de ser observable la correlación negativa que existe entre la deforestación y la temperatura mínima, se

observa que los datos se encuentran menos dispersos, por lo que el grado de correlación es mayor que la correlación deforestación – Tmáx, sin embargo, no deja de ser una correlación débil.

PANTEPEC	Precipitación	
	Rho Spearman	N
Deforestación	0.306	17

Tabla 3. Correlación: Deforestación - Precipitación en el municipio de Pantepec. Elaboración propia. 2024



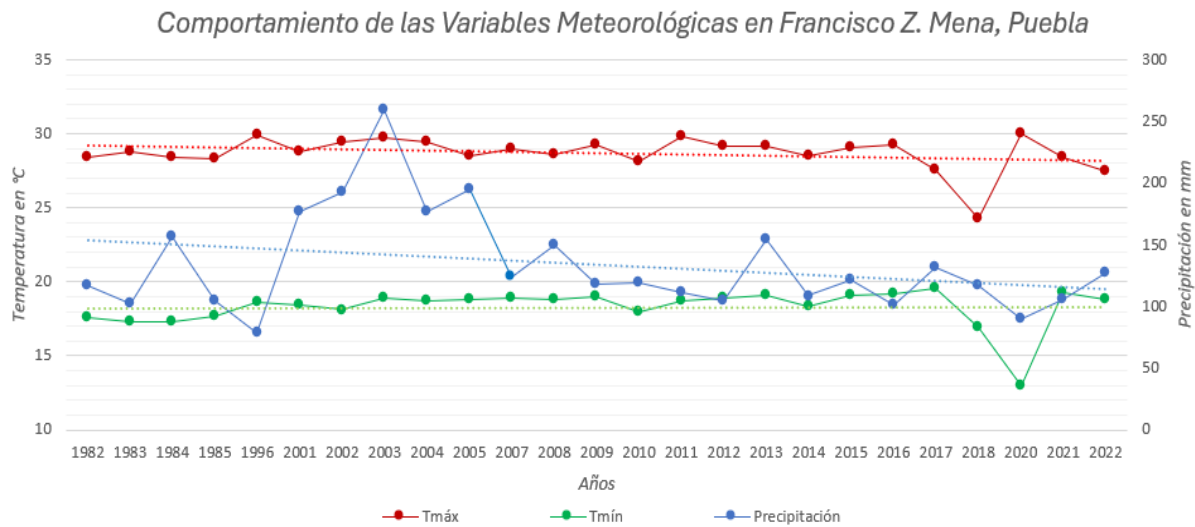
Gráfica 6. Dispersión Deforestación – Precipitación en el municipio de Pantepec. Elaboración propia. 2024

La correlación de Spearman se basa en el análisis de 17 pares de datos de las variables señaladas. El resultado obtenido, mejor conocido como Rho Spearman, fue de **0.306**, valor que como primera instancia indica una correlación positiva, es decir, a medida que la deforestación crece, la precipitación tiende también a crecer. Por otra parte, la cifra entra dentro de los valores que señalan una correlación débil; por lo que en este caso la asociación que existe entre la deforestación y la precipitación es denominada una **correlación positiva débil**.

La distribución de los 17 pares de datos se muestra en la gráfica, además de ser observable la correlación positiva que existe entre la deforestación y la precipitación, se observa que los datos se encuentran menos dispersos, por lo que el grado de correlación es mayor que la correlación deforestación – Tmáx, sin embargo, no deja de ser una correlación débil.

### 3.3 FRANCISCO Z MENA

### 3.3.1 Comportamiento a través del tiempo



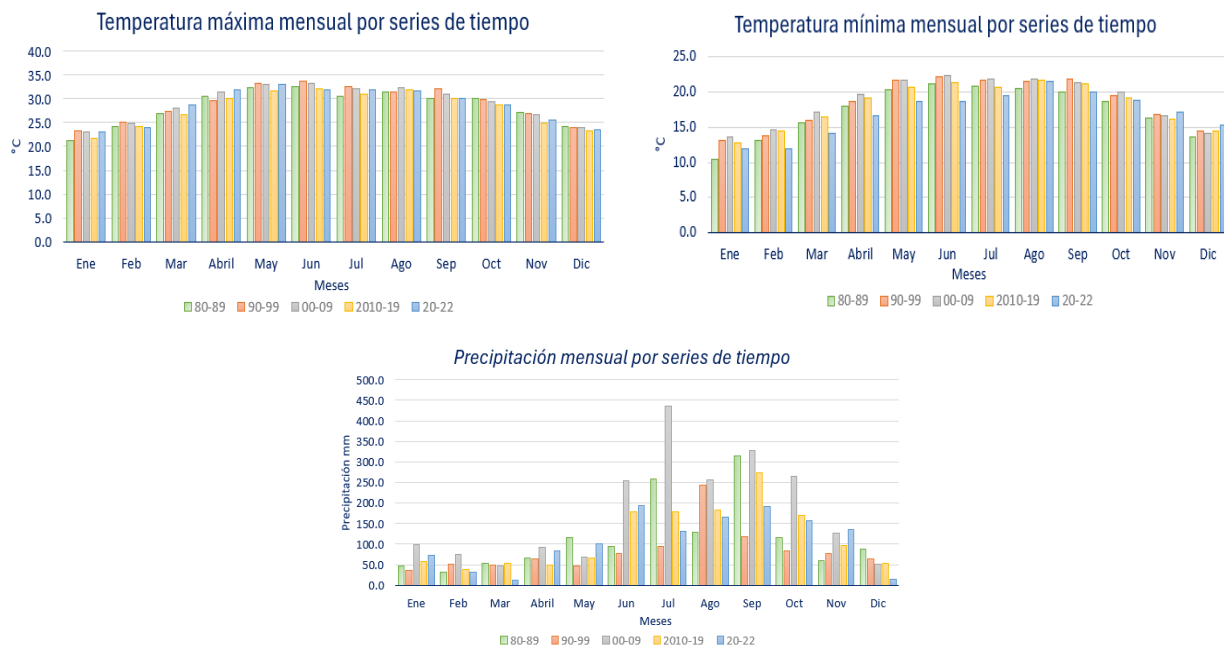
*Gráfica 7. Comportamiento de Tmáx, Tmín y Precipitación a través del tiempo en Francisco Z. M., Puebla. Elaboración propia. 2024.*

En la gráfica anterior se presentan los niveles de temperatura máxima, temperatura mínima, y precipitación en el municipio Francisco Z. Mena, obtenidos de la estación meteorológica 21212 que se encuentra en operación y lleva por nombre Metlaltoyuca. Los valores representados son los promedios anuales desde el año 1982 hasta el año 2022, exceptuando algunos años en los que no se encontraron registros.

La temperatura máxima en el municipio oscila entre los 28°C a 30°C; sin embargo, se han registrado cifras muy bajas de 24.3°C en el año 2018 y de 27.5 en el 2022, la temperatura máxima más alta corresponde a 30°C en el año 2020; con respecto a la temperatura mínima, esta suele fluctuar de los 17°C a los 19°C, no obstante, se han presentado datos muy bajos como lo fue en el año 2020 con una temperatura máxima de 13°C, por el contrario, la temperatura mínima más alta registrada fue de 19.6°C en el año 2017; en cuanto a los niveles de precipitación, suelen ir de los 80 a 150 mm; sin embargo, se observa un periodo de tiempo comprendido de 2001 a 2005 donde los valores estuvieron por encima de los 170 mm hasta alcanzar en el año 2003 los 260 mm.

La línea de tendencia indica que temperatura máxima en el municipio con el paso del tiempo ha disminuido; la temperatura mínima no presenta cambios; y las precipitaciones han disminuido con los años.

### 3.3.2 Comportamiento mensual por series de tiempo



*Gráfica 8. Gráficos del comportamiento mensual de las variables climáticas en Francisco Z. Mena. Elaboración propia. 2024.*

Las gráficas anteriores muestran las variaciones de los elementos climáticos a través de los meses del año, definidos en periodos de tiempo de 10 años, a excepción del último periodo que únicamente comprende los años 2020, 2021 y 2022.

La temperatura máxima mensual se comporta de la siguiente manera: de manera general, en todas las series de tiempo, los meses más calurosos en el municipio de Francisco Z. Mena son mayo y junio, meses en los que se presentaron temperaturas en un rango de 31.7°C a 33.7°C; la década de 1990 a 1999 muestra las temperaturas más altas registradas en los meses de enero, febrero, mayo, junio, julio, y septiembre, siendo la década con las temperaturas máximas más altas.

La temperatura mínima mensual varía conforme al siguiente modo: el mes con la temperatura mínima más alta en todas las series de tiempo es el mes de junio, donde la

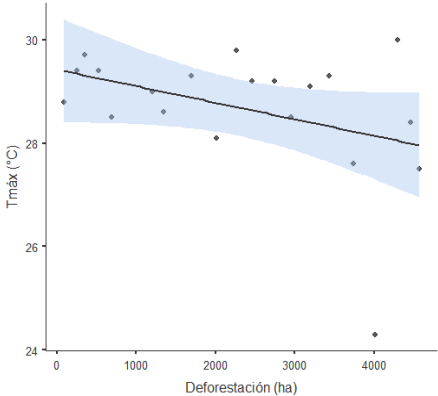
temperatura se mantiene por arriba de los 21°C a excepción de la última serie de tiempo, el mes con la temperatura mínima más baja generalmente es enero, con una temperatura que va de los 11°C a los 13°C; la serie de tiempo de 2020 a 2022 muestra las temperaturas más bajas registradas en los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio, y julio, aunque esto puede deberse a la poca cantidad de datos analizados.

La precipitación mensual cambia a través del año de la siguiente forma: se observa una mayor variación en los niveles de precipitación a través de los meses y de las diferentes series de tiempo, los meses con más cantidad de lluvias serían los meses de julio, agosto y septiembre, los meses con menos lluvia son febrero y marzo; con respecto a la década con mayor cantidad de precipitaciones no se puede definir una ya que es muy cambiante, sin embargo en el mes de julio de la década de 2000 a 2009 se alcanzó un promedio máximo histórico de 436.8 mm de precipitación.

**3.3.3 Correlación**

Francisco Z. M	Tmáx	
	Rho Spearman	N
Deforestación	-0.375	20

*Tabla 4. Correlación: Deforestación - Tmáxima en el municipio de Francisco Z. M. Elaboración propia. 2024*



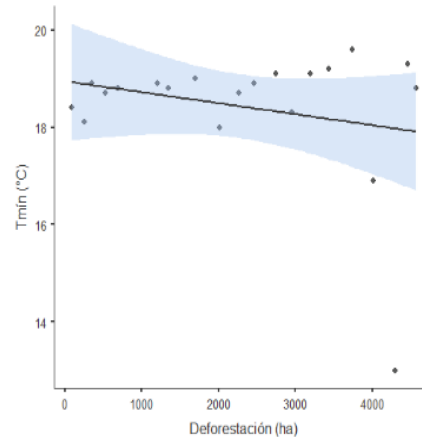
*Gráfica 9. Dispersión Deforestación – Tmáx en el municipio de Francisco Z. M. Elaboración propia. 2024*

La correlación de Spearman se basa en el análisis de 20 pares de datos de las variables señaladas. El resultado obtenido, mejor conocido como Rho Spearman, fue de **-0.375**, valor que indica una correlación negativa, es decir, a medida que la deforestación crece la temperatura máxima tiende a disminuir. Por otra parte, la cifra entra dentro de los valores que señalan una correlación débil; por lo que en este caso la asociación que existe entre la deforestación y la temperatura máxima es denominada una **correlación negativa débil**.

La distribución de los 20 pares de datos se muestra en la gráfica, además de ser observable la correlación negativa que existe entre la deforestación y la temperatura máxima; sin embargo, es notable que los datos se encuentran lo bastante dispersos para ser el motivo por el que la correlación entre ambas variables sea muy débil.

Francisco Z. M	Tmín	
	Rho Spearman	N
Deforestación	0.208	20

*Tabla 5. Correlación: Deforestación - Tmínima en el municipio de Francisco Z. M. Elaboración propia. 2024.*



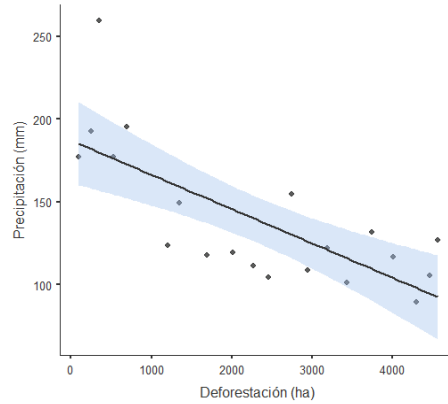
*Gráfica 10. Dispersión Deforestación – Tmín en el municipio de Francisco Z. M. Elaboración propia. 2024.*

La correlación de Spearman se basa en el análisis de 20 pares de datos de las variables señaladas. El resultado obtenido, mejor conocido como Rho Spearman, fue de **0.208**, valor que como primera instancia indica una correlación positiva, es decir, a medida que la deforestación crece, la temperatura mínima también tiende a crecer. Por otra parte, la cifra entra dentro de los valores que señalan una correlación débil; por lo que en este caso la asociación que existe entre la deforestación y la temperatura mínima es denominada una **correlación positiva débil**.

La distribución de los 20 pares de datos se muestra en la gráfica, además de ser observable la correlación positiva que existe entre la deforestación y la temperatura mínima, se observa que los datos se encuentran menos dispersos, sin embargo, no deja de ser una correlación débil.

Francisco Z. M	Precipitación	
	Rho Spearman	N
Deforestación	-0.684	20

Tabla 6. Correlación: Deforestación - Precipitación en el municipio de Francisco Z. M. Elaboración propia. 2024.



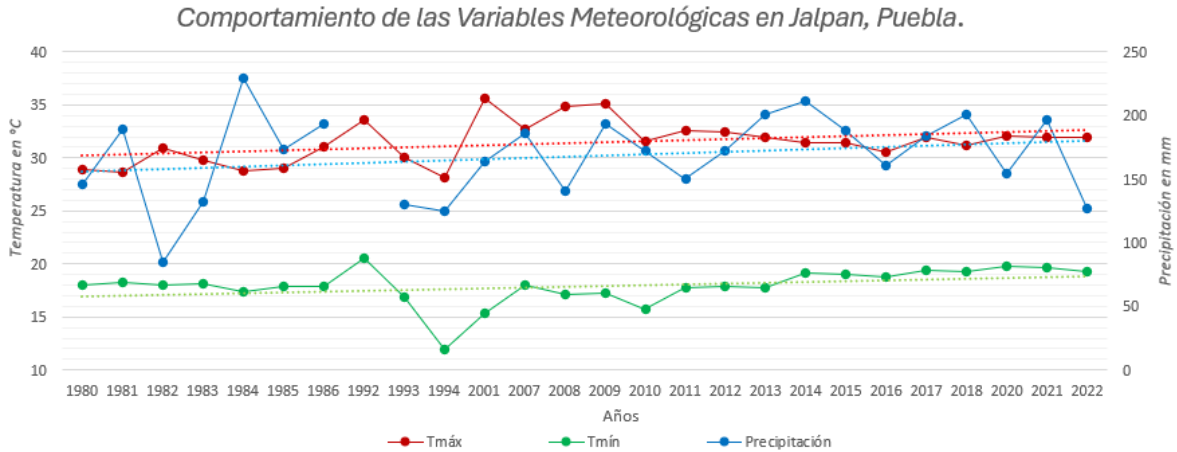
Gráfica 11. Dispersión Deforestación – Precipitación en el municipio de Francisco Z. M. Elaboración propia.

La correlación de Spearman se basa en el análisis de 20 pares de datos de las variables señaladas. El resultado obtenido, mejor conocido como Rho Spearman, fue de **-0.684**, valor que indica una correlación negativa, es decir, a medida que la deforestación crece la precipitación tiende a disminuir. Por otra parte, la cifra entra dentro de los valores que señalan una correlación moderada; por lo que en este caso la asociación que existe entre la deforestación y la precipitación es denominada una **correlación negativa moderada**.

La distribución de los 20 pares de datos se muestra en la gráfica, además de ser observable la correlación negativa que existe entre la deforestación y la precipitación, se observa que los datos se encuentran más cercanos a línea de tendencia que en los casos anteriores, por lo que el grado de correlación es mayor.

### 3.4 JALPAN

#### 3.4.1 Comportamiento a través del tiempo



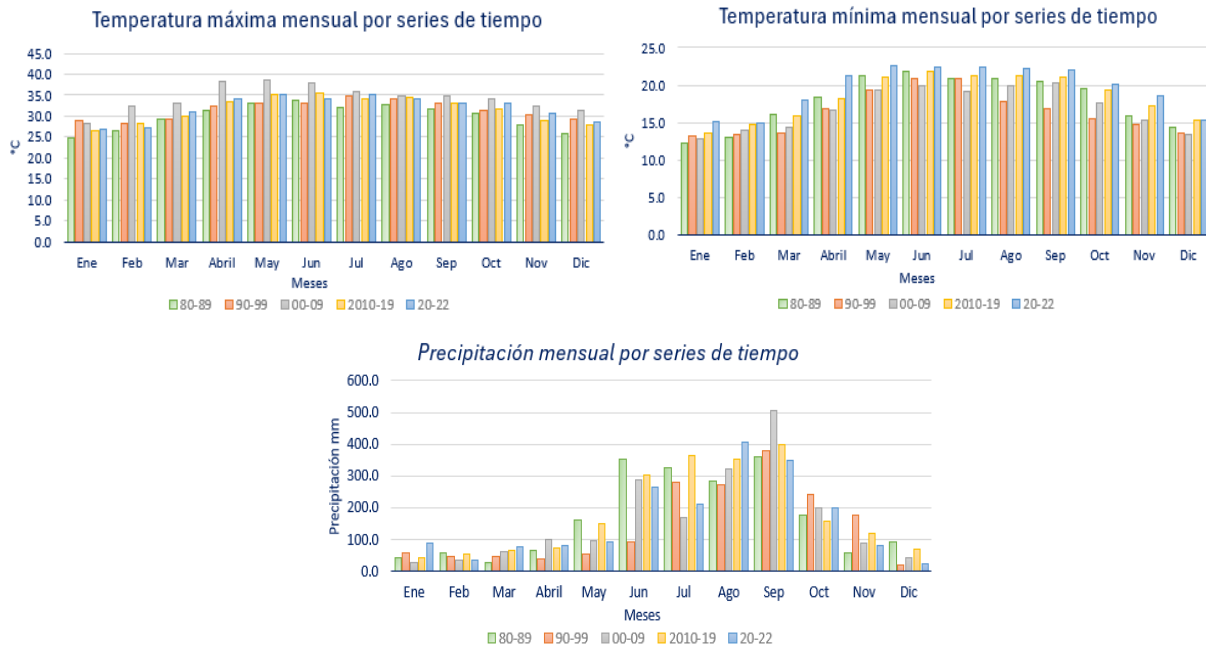
*Gráfica 12. Comportamiento de Tmáx, Tmín y Precipitación a través del tiempo en Jalpan, Puebla. Elaboración propia. 2024.*

En la gráfica anterior se presentan los niveles de temperatura máxima, temperatura mínima, y precipitación en el municipio Jalpan, obtenidos de la estación meteorológica 21147 que se encuentra operando y lleva por nombre Apapantilla, los valores son los promedios anuales desde el año 1980 hasta el año 2022, exceptuando algunos años en los que no se encontraron registros.

La temperatura máxima en el municipio es muy variable ya que oscila en un rango amplio que de los 28°C a 35°C, la temperatura máxima más baja registrada fue de 28.1°C en el año 1994, sin embargo los valores más altos de temperatura máxima han llegado hasta 35.6°C en el año 2001, seguido de los 34.8°C en el año 2008; la temperatura mínima fluctúa entre los 16°C y 20°C, la temperatura mínima más baja registrada fue de 11.9°C en el año 1994 y la temperatura mínima más alta registrada fue de 20.5°C en el año 1992; los niveles de precipitación a simple vista se aprecia son muy fluctuantes, ya que los valores abarcan un rango que va de los 85 a 230 milímetros, el valor más alto fue en el año 1984 con un valor de 229.7 mm y el valor más bajo fue de 85 mm en el año 1982.

La línea de tendencia indica que temperatura máxima en el municipio con el paso del tiempo ha aumentado; la temperatura mínima también ha aumentado; y las precipitaciones han aumentado con los años.

### 3.4.2 Comportamiento mensual por series de tiempo



*Gráfica 13. Gráficos del comportamiento mensual de las variables climáticas en el municipio de Jalpan. Elaboración propia. 2024*

Las gráficas anteriores muestran las variaciones de los elementos climáticos a través de los meses del año, definidos en periodos de tiempo de 10 años, a excepción del último periodo que únicamente comprende los años 2020 – 2021 y 2022.

La temperatura máxima mensual se comporta de la siguiente manera: de manera general, en todas las series de tiempo, los meses más calurosos en el municipio de Jalpan son el mes de mayo y junio, meses en los que se presentaron temperaturas en la zona de entre 33°C hasta 38°C; la década de 2000 a 2009 muestra las temperaturas más altas registradas en los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, siendo la década con las temperaturas máximas más altas.

La temperatura mínima mensual varía conforme al siguiente modo: el mes con la temperatura mínima más alta en todas las series de tiempo es el mes de junio, donde la temperatura estuvo en un rango de 19.8°C a 22.3°C, el mes con la temperatura mínima más baja generalmente es enero, con una temperatura que va de los 12°C a los 15°C; la década de 1990 a 1999 muestra las temperaturas más bajas registradas en los meses de marzo,

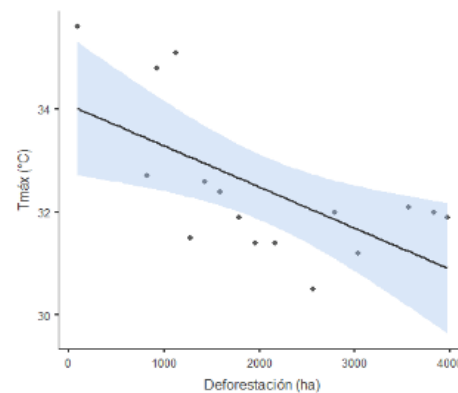
mayo, agosto, septiembre, octubre, y noviembre, siendo la década con las temperaturas mínimas en promedio más bajas.

La precipitación mensual cambia a través del año de la siguiente forma: de la misma forma que en los municipios anteriores se observa una mayor variación en los niveles de precipitación a través de los meses y de las diferentes series de tiempo, los meses con más cantidad de lluvias serían los meses de junio, julio, agosto y septiembre, los meses con menos lluvia son enero y febrero; con respecto a la década con mayor cantidad de precipitaciones no se puede definir una ya que es muy cambiante, sin embargo en el mes de septiembre de la década de 2000 a 2009 se alcanzó un promedio máximo histórico de 505.9 mm de precipitación.

### 3.4.3 Correlación

Jalpan	T <sub>máx</sub>	
	Rho Spearman	N
Deforestación	-0.616	16

Tabla 7. Correlación: Deforestación - T<sub>máxima</sub> en el municipio de Jalpan. Elaboración propia. 2024.



Gráfica 14. Dispersión Deforestación – T<sub>máx</sub> en el municipio de Jalpan. Elaboración propia. 2024.

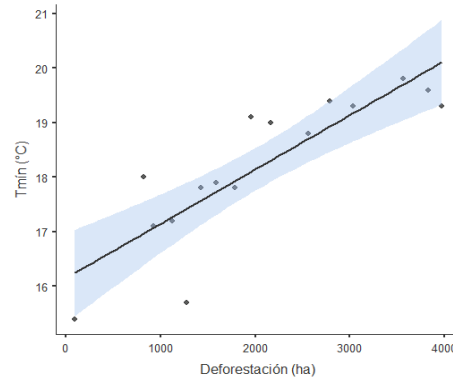
La correlación de Spearman se basa en el análisis de 20 pares de datos de las variables señaladas. El resultado obtenido, mejor conocido como Rho Spearman, fue de **-0.616**, valor que indica una correlación negativa, es decir, a medida que la deforestación crece, la temperatura máxima tiende a disminuir. Por otra parte, la cifra entra dentro de los valores que señalan una correlación moderada; por lo que en este caso la asociación que existe entre la deforestación y la temperatura máxima es denominada una **correlación negativa moderada**.

La distribución de los 20 pares de datos se muestra en la gráfica, además de ser observable la correlación negativa que existe entre la deforestación y la temperatura máxima; sin

embargo, es notable que los datos se encuentran lo bastante dispersos para ser el motivo por el que la correlación entre ambas variables sea muy débil.

Jalpan	Tmín	
	Rho Spearman	N
Deforestación	0.882	16

Tabla 8. Correlación: Deforestación - Tmínima en el municipio de Jalpan. Elaboración propia. 2024.



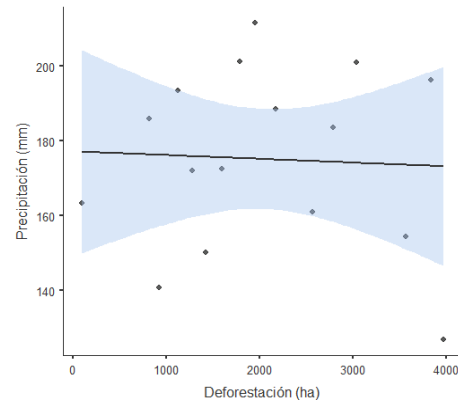
Gráfica 15. Dispersión Deforestación – Tmín en el municipio de Jalpan. Elaboración propia. 2024.

La correlación de Spearman se basa en el análisis de 16 pares de datos de las variables señaladas. El resultado obtenido, mejor conocido como Rho Spearman, fue de **0.882**, valor que como primera instancia indica una correlación positiva, es decir, a medida que la deforestación crece, la temperatura mínima también tiende a crecer. Por otra parte, la cifra entra dentro de los valores que señalan una correlación alta; por lo que en este caso la asociación que existe entre la deforestación y la temperatura mínima es denominada una **correlación positiva alta**.

La distribución de los 16 pares de datos se muestra en la gráfica, además de ser observable la correlación positiva que existe entre la deforestación y la temperatura mínima, se observa que los datos se encuentran menos dispersos y tienden más a la línea recta, por lo que la correlación es alta.

Jalpan	Precipitación	
	Rho Spearman	N
Deforestación	0.056	16

*Tabla 8. Correlación: Deforestación - Precipitación en el municipio de Jalpan. Elaboración propia. 2024.*



*Gráfica 16. Dispersión Deforestación – Precipitación en el municipio de Jalpan. Elaboración propia. 2024.*

La correlación de Spearman se basa en el análisis de 16 pares de datos de las variables señaladas. El resultado obtenido, mejor conocido como Rho Spearman, fue de **0.056**, valor que como primera instancia indica una correlación negativa, es decir, a medida que la deforestación crece, la precipitación tiende a crecer. Por otra parte, la cifra entra dentro de los valores que señalan una correlación prácticamente nula; por lo que en este caso la asociación que existe entre la deforestación y la precipitación es denominada una **correlación nula**, y se podría decir que no hay correlación entre ambas variables.

La distribución de los 16 pares de datos se muestra en la gráfica; todos los datos se encuentran altamente dispersos, por lo que no tienden a tener una correlación lineal.

## CONCLUSIONES

Del periodo 2001 a 2022, los municipios de mayor deforestación en el estado de Puebla son: 1.- Pantepec, 2.- Francisco Z. Mena, y 3.- Jalpan; los tres concentran el 22.8% de la deforestación del estado, equivalente a 15,511 hectáreas. Los tres municipios geográficamente se sitúan en la zona norte del estado, por lo que comparten características similares en cuanto a clima y vegetación; no obstante, sus niveles de deforestación son muy diferentes. Los tres municipios en el periodo de estudio muestran una tendencia al aumento en sus niveles de deforestación, aunque esta parece disminuir gradualmente desde el año 2017 en los tres municipios, por lo que su comportamiento es bastante similar.

Por medio de las series de tiempo se deduce que:

La temperatura máxima en Pantepec mostro tendencias a disminuir en meses los meses de junio, julio, agosto y octubre en promedio 1.5°C; la temperatura mínima en este municipio muestra tendencia a aumentar en el mes de abril en promedio 1.5°C y a disminuir en el mes de octubre 1.5°C: la precipitación en este lugar muestra tendencias a aumentar en junio y agosto en promedio 100 mm, y a disminuir en julio 100mm.

En Francisco Z. M. mostró tendencia a aumentar en meses como marzo y abril en promedio 1.5°C y a disminuir en octubre, noviembre y diciembre cerca de 2°C; la temperatura mínima tiene tendencias a aumentar en diciembre cerca de 1.5°C y a disminuir en junio y julio 1.5°C; la precipitación en junio y noviembre tendencia al aumento en 80mm y disminución en diciembre de 70mm.

Jalpan en los meses de julio, agosto y octubre tienen tendencias al aumento en 2°C; la temperatura mínima en abril, febrero, marzo, agosto, septiembre, noviembre y diciembre tiene tendencia al aumento de 2°C; la precipitación en marzo y agosto muestra tendencias al aumento.

Con ello, los municipios de Pantepec y Francisco Z. M. presentan comportamientos similares en cuanto a la variación de la temperatura a través de los meses y de los años en algunos meses y su rango de variación de temperatura es de 1.5°C en ambos sitios, y en cuanto al comportamiento de la precipitación, los tres municipios presentan comportamientos

similares en la mayoría de los meses y años. Por otro lado, Jalpan es el municipio que muestra los mayores aumentos de temperatura con un aumento de 2°C en la temperatura máxima y mínima, y ninguna tendencia de disminución significativa.

En los tres sitios de estudio, los meses con mayor temperatura son mayo y junio con temperaturas de 33°C y Jalpan de 38°C, en junio la temperatura mínima alcanza su más alto valor de 22° C, en enero la temperatura mínima alcanza su más bajo valor con 11°C, y las precipitaciones aumentan en meses como julio y septiembre, y disminuyen en febrero y marzo. En el caso de Pantepec, las temperaturas promedio corresponden a las descritas en el por el INEGI de 23° a 25°C; para el municipio de Francisco Z. M., la temperatura promedio va de 21° a 24°C un grado menos del reportado en el INEGI; y en Jalpan la temperatura promedio va de 23° a 27°C, presentando un aumento de dos grados de la cifra reportada por el INEGI; lo cual refleja el aumento en la temperatura promedio del municipio de Jalpan, una ligera disminución de la temperatura promedio del municipio de Francisco Z. M., y que la temperatura promedio de Pantepec se mantiene en el rango señalado por esta institución.

La correlación de deforestación con cada una de las variables meteorológicas analizadas en los tres municipios indica:

-Existe una correlación negativa débil en Pantepec y Francisco Z. M. y moderada en Jalpan con respecto a la temperatura máxima, es decir, a medida que crece la deforestación disminuye la temperatura máxima.

-Que existe una correlación con la temperatura mínima negativa débil en Pantepec, y positiva débil y alta en Francisco Z. M. y Jalpan respectivamente, por lo que en Pantepec a medida que crece la deforestación la  $T_{mín}$  disminuye, y por el contrario en Francisco Z. M. y Jalpan a medida que crece la deforestación crece la temperatura mínima.

-Que la correlación con los niveles de precipitación en cada municipio fue diferente y no muestran similitud a pesar de encontrarse geográficamente cerca, en Pantepec crecieron los niveles de precipitación a medida que creció la deforestación, en Francisco Z. M.

disminuyó la precipitación a medida que creció la deforestación y en Jalpan no existe una correlación entre ambos.

Con ello se comprueba que existe una relación de causalidad, aunque esta sea baja, entre la deforestación y la temperatura máxima y una relación de causalidad débil a moderada con respecto a la temperatura mínima, es decir, la deforestación afecta o influye ligeramente en los aumentos o disminuciones de la temperatura en los tres sitios de estudio. En cuanto a la deforestación y los niveles de precipitación, únicamente dos municipios muestran una relación de causalidad baja, por lo que solo en Pantepec y Francisco Z. M. se puede decir que la deforestación influye en los aumentos o disminuciones de las precipitaciones. Sin embargo, es el municipio de Jalpan el que mayormente se ve afectado por la deforestación ya que es donde más influye en el comportamiento de sus variables climáticas.

Además, la correlación débil entre las variables puede haberse visto afectada por la falta de datos de las estaciones meteorológicas en algunos municipios, la no consideración de los datos antes del año 2000, o bien por aspectos no contemplados en la presente investigación que pudieran influir en los comportamientos de las variables meteorológicas como lo son la ocurrencia de fenómenos meteorológicos.

Sin embargo, los resultados obtenidos concuerdan con lo descrito por diversos autores, que mencionan que ante la deforestación y degradación existirán aumentos o disminuciones de la temperatura y precipitación, específicamente en México. Martínez, Fernández y Osnaya (2004) prevén aumentos de más de 2°C en la temperatura promedio, mismo que es reflejado en el municipio de Jalpan con el aumento de casi 2°C en su temperatura promedio.

Ante estos resultados, es obvio que están ocurriendo cambios en las condiciones normales del clima de las regiones de estudio, y que, ante estas modificaciones, los recursos forestales se encuentran más vulnerables, puesto que conllevan a la alteración de la dinámica interna del ecosistema a la vez que se siguen enfrentando a la deforestación y degradación.

Dada esta situación, todos los servicios ambientales prestados por parte de los bosques se ven afectados, afectando también a las poblaciones cercanas en la realización de sus actividades económicas, sociales y en su calidad de vida.

Esta tesis identifica los cambios en el clima generados por la deforestación, a manera de que sirva de base no solo estadísticamente, sino también en la toma de decisiones futuras sobre la gestión de los recursos forestales, principalmente de su protección y conservación por parte del gobierno y la comunidad.

## BIBLIOGRAFÍA:

Acuña, D., y Robles, D. (2015). Manual de Meteorología y de Gestión de la Información Climática. *Agencia de EE. UU para el Desarrollo Internacional (US Agency for International Development Structure, USAID). Serie Estudios Aplicados para la Adaptación*. Recuperado de: [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PA00N1N1.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00N1N1.pdf)

Andrades, M., Muñoz, C. (2012). Fundamentos de Climatología. *Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones*.

Artaxo, P., Almeida-Val, V., Bilbao, B., Brando, P., Bustamante, M., Coe, M.T., ... Val, A.L. (2021). Capítulo 23: Impactos de la deforestación y el cambio climático sobre la biodiversidad, los procesos ecológicos y la adaptación ambiental. Panel Científico por la Amazonía. doi: 10.55161/SNTO3592

Becerra, M. R., Mance, H., Barrera, X., y García, C. (2015). Cambio Climático: lo que está en juego. Recuperado de: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/cc6f1413-747e-408d-ae73-49842f7cb900/content>

Bocco, G., Mendoza, M., y Masera, O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán: Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*, (44), 18-36. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112001000100003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112001000100003&lng=es&tlng=es).

Castro, S. M., Saborío, J., Saborío, M., y González, J. P. (2018). La variabilidad climática y el calentamiento global antropogénico (CGA) en el contexto de reordenamiento territorial y los planes reguladores en Costa Rica. Recuperado de: [https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/06\\_variabilidad\\_climatica\\_y\\_el\\_calentamiento\\_global\\_antr-opogenico\\_-\\_documento\\_de\\_apoyo\\_para\\_el\\_protocolo.pdf](https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/06_variabilidad_climatica_y_el_calentamiento_global_antr-opogenico_-_documento_de_apoyo_para_el_protocolo.pdf)

Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. (2022). Sistema Climático. Recuperado de: <https://ciifen.org/sistema-climatico/>

Chorley, R. J., & Barry, R. G. (1980). *Atmósfera, tiempo y clima*. Omega SA, Barcelona.

Ciesla, W. M. (1996). Cambio climático bosques y ordenación forestal: Una visión de conjunto. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/v5240s/v5240s.pdf>

Comisión Nacional del Agua. (2016). Servicio Meteorológico Nacional, Tiempo y Clima. Recuperado de: [https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/SMN\\_tiempo\\_y\\_clima.pdf](https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/SMN_tiempo_y_clima.pdf)

CONAFOR. (2013). Bosques, cambio climático y REDD+ en México. Guía Básica. Recuperado de:

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/4034Gu%C3%ADa%20B%C3%A1sica%20de%20Bosques,%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20y%20REDD%20.pdf>

CONAFOR. (2017). Estrategia Nacional para REDD+ 2017–2030. Recuperado de [https://redd.unfccc.int/files/estrategia-nacional-redd\\_-2017-2030\\_mexico.pdf](https://redd.unfccc.int/files/estrategia-nacional-redd_-2017-2030_mexico.pdf)

CONAFOR. (2013). Inventario Estatal Forestal y de Suelos: Puebla 2013. Recuperado de <https://docplayer.es/108089323-Inventario-estatal-forestal-y-de-suelos-puebla-2013.html>

CONAFOR. (2011). Servicios ambientales y cambio climático. Recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/5/2290Servicios%20Ambientales%20y%20Cambio%20Clim%C3%A1tico.pdf>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2021). Cambio Climático y el rol de los Bosques en la Neutralidad del Carbono. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/notas-estadisticas/dic-2021-nota-estadistica-cambio-climatico-rol-bosques-neutralidad-carbono.pdf>

Ertel, J., Goldman, L., Spore, J., y Brandt, J. (2023). Explicación de los conjuntos de datos sobre la cubierta arbórea de Global Forest Watch. Global Forest Watch. Recuperado de: <https://www.globalforestwatch.org/blog/es/data/explicacion-de-los-conjuntos-de-datos-sobre-la-cubierta-arborea-de-global-forest-watch/>

FAO. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 – Principales resultados. <https://doi.org/10.4060/ca8753es>

FAO. (2015). Los bosques y suelos forestales contribuyen de manera esencial a la producción agrícola y la seguridad alimentaria mundial. Recuperado de: <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/285875/>

FAO. (2018). Términos y Definiciones FRA 2020. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/I8661ES/i8661es.pdf>

Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones W. M., Andrew R. M., Gregor, L., Hauck, J., ...Zheng B. (2022). Presupuesto mundial de carbono 2022. Copernicus Publications, 14(11), 4811-4900. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>

Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. (2004). Metodología y Climatología: Semana de la Ciencia y la Tecnología 2024. Recuperado de: <https://hopelchen.tecnm.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r120586.PDF>

Global Forest Watch. (s.f.). Acerca de Global Forest Watch. Recuperado de: <https://www.globalforestwatch.org/about/>

Gottle, A., y Sene, E. H. (1997). Funciones protectoras y ambientales de los bosques. Unasylva (FAO). Recuperado de: <https://www.fao.org/3/w6251s/w6251s06.htm>

H. Ayuntamiento de Pantepec. (s.f.). Plan Municipal de Desarrollo 2018 -2021. Recuperado de: <https://planeader.puebla.gob.mx/PDF/Municipales2020/Pantepec.pdf>

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2019). GLOSARIO METEOROLOGICO. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Anexo+10.+Glosario+meteorol%C3%B3gico.pdf/6a90e554-6607-43cf-8845-9eb34eb0af8e>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010. Francisco Z. Mena, Puebla. Recuperado de: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/21/21064.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21064.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010. Jalpan, Puebla. Recuperado de: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/21/21086.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21086.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010. Pantepec, Puebla. Recuperado de: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/21/21111.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21111.pdf)

Instituto de Recursos Mundiales (s.f.). Vigilancia Forestal Mundial. Recuperado de: <https://www.wri.org/initiatives/global-forest-watch>

IPCC. (2018). Anexo I: Glosario. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15\\_Glossary\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf)

IPCC. (2019). Resumen para responsables de políticas. El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL\\_SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf)

Jandl, R., & Rubio Sánchez, A. (2005). Sostenibilidad del secuestro de carbono en ecosistemas forestales. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 20(2), 259-269. Recuperado de: [https://oa.upm.es/48542/1/Jandl\\_Rubio\\_2005\\_CuadSECF.pdf](https://oa.upm.es/48542/1/Jandl_Rubio_2005_CuadSECF.pdf)

Martínez, G. A. L. (2016). Estación Meteorológica para la Conformación de Redes. Proceso de Instalación. *Scientia et Technica*, 21(2), 115-121. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84950866002.pdf>

Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., y Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman

caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2), 0-0. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1804/180414044017.pdf>

Organización de las Naciones Unidas (2017). Hasta 13 millones de hectáreas de bosque desaparecen por el hombre. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2017/05/hasta-13-millones-de-hectareas-de-bosques-desaparecen-cada-ano-por-la-accion-del-hombre/>

Organización Meteorológica Mundial. (2018). Guía de prácticas Climatológicas (OMM-N° 100). Recuperado de: <https://library.wmo.int/viewer/28514/?offset=8#page=1&viewer=picture&o=bookmark&n=0&q=>

Martínez J., Fernández A., Osnaya, P. (2004). Cambio climático: una visión desde México . Instituto Nacional de Ecología. Recuperado de: [http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca\\_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-\(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf](http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf)

Pacheco, P., Mo, K., Dudley, N., Shapiro, A., Aguilar-Amuchastegui, N., Ling, P.Y., ... Marx, A. (2021). Frentes de deforestación: Causas y respuestas en un mundo cambiante. Recuperado de: [https://wwf.es/assets.panda.org/downloads/wwf\\_frentesdeforestacion\\_resumen\\_enero2021.pdf](https://wwf.es/assets/panda.org/downloads/wwf_frentesdeforestacion_resumen_enero2021.pdf)

Roy-García, I., Rivas-Ruiz, R., Pérez-Rodríguez, M., & Palacios-Cruz, L. (2019). Correlación: no toda correlación implica causalidad. *Revista Alergia México*, 66(3), 354-360. Recuperado de: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-91902019000300354](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-91902019000300354)

Secretaría de Economía. (s.f.). Francisco Z. Mena - Municipio de Puebla. Data México. Recuperado de: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/francisco-z-mena>

Secretaría de Economía. (s.f.). Jalpan - Municipio de Puebla. Data México. Recuperado de: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/jalpan>

Seppälä, R., & Buck, A. C. (2009). Adecuar los bosques al cambio climático: Una perspectiva global de los efectos del cambio climático sobre los bosques y las poblaciones y opiniones de adaptación al mismo. Recuperado de: <https://www.cbd.int/doc/meetings/for/wscb-fbdcc-01/other/wscb-fbdcc-01-oth-05-es.pdf>

Stan, K., y Sanchez-Azofeita, A. (2019). Diversidad del bosque seco tropical, respuesta climática y resiliencia en un clima cambiante. *Forests*, 10 (5), 443. <https://doi.org/10.3390/f10050443>

World Wildlife Fund. (2016). El Cambio Climático, los bosques y las medidas para reducir las emisiones provenientes de la deforestación. Recuperado de: [https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/wwf\\_cambio\\_climatico\\_final.pdf](https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/wwf_cambio_climatico_final.pdf)