



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
POSGRADO EN GEOGRAFÍA



“DEFORESTACIÓN Y CLIMA: APROXIMACIÓN AL ANÁLISIS
REGIONAL Y MODELADO LOCAL EN LA REGIÓN
DE LA MARIPOSA MONARCA, MÉXICO.”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN GEOGRAFÍA
(Manejo Integrado del Paisaje)

P R E S E N T A

Geog. Rodolfo Ruiz López

Director de Tesis: Dra. María Isabel Ramírez Ramírez
Comité Tutorial: Dra. María Engracia Hernández Cerda
Dr. Manuel Bollo Manent
Dr. Diego Pérez Salicrup
Mtra. Rosaura Paéz Bistrain

EN MEMORIA DE MI MADRE †

DEDICATORIA:

Este trabajo lo dedico con todo el amor y un profundo respeto a mi familia: Padre, Hermanos, y a todos mis sobrinos.

A mi compañía Ruffo y Fiona.

AGRADECIMIENTOS

En principio quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por la oportunidad de cursar un posgrado y la beca que me fue asignada durante los dos años que pertencí al posgrado. Ha sido un placer poder realizar mis estudios primero de licenciatura en el Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras, y actualmente dentro de la Maestría en Geografía con Orientación en Manejo Integrado del Paisaje en las instalaciones del CIGA en la ciudad de Morelia Michoacán.

A todas aquellas personas que laboran en el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), porque en todo momento hicieron un gran esfuerzo para que los miembros de mi generación tuviéramos lo necesario para continuar con nuestros estudios.

A la Dra. Ma. Isabel Ramírez Ramírez por aceptar ser mi tutora. Isabel al comienzo de esta convivencia me dijiste que ambos aprenderíamos de este trabajo de investigación y créeme que así fue. Quiero resaltar que hayamos logrado encontrar el equilibrio que trajo como resultado la culminación de este trabajo. También quiero decirte que no solamente aprendí de ti en el aspecto académico, además con tus comentarios y observaciones de carácter personal, me ayudaste a conocer un poco más de mí mismo y aprender de mis errores para seguir adelante con mi camino. En ti encontré un respaldo académico y conocí a la persona que esta detrás del investigador, la que se preocupó y siempre tuvo las palabras certeras que me hicieron pasar por todas las emociones inimaginables para después continuar. Te admiro.

Al Proyecto “Efectos de la deforestación en el clima local del oriente de Michoacán” JPAPIIT-IN114707, financiado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, UNAM.

Al Dr. Lincoln Brower y a la Dra. Oberhauser de la Fundación Santuario de la Mariposa Monarca quienes aceptaron apoyar esta investigación. Esta fundación año tras año apoya aquellos proyectos que brinden información necesaria para la protección de los bosques de Oyamel en el centro del país, lugar en donde hibernan las mariposas monarca.

Al Comité Tutorial integrado por: Dra. Ma. Engracia Hernández, Dr. Manuel Bollo Manent, Dr. Diego Pérez Salicrup y a la Mtra. Rosaura Paéz Bistrain; a todos ustedes les agradezco primero por aceptar se parte de este trabajo y además por el tiempo que dedicaron en la revisión de extenso y sus valiosas observaciones.

Al Dr. Narciso Barrera Bassols ya que durante tu periodo de maestro nos mostraste la importancia de ver más allá del "píxel" y con ello conceder la importancia que merecen aquellos conocimientos tradicionales en el tiempo y el espacio. Además quiero agradecer que me hayas proporcionado una beca para terminación de tesis, misma que se obtuvo a partir de los fondos del proyecto PAPIIT clave IN306806 y que lleva por titulo: "Saberes Locales y Manejo de la Diversidad Eco-geográfica en Áreas Rurales de Tradición Indígena".

A las personas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) por haberme facilitado la información necesaria para elaborar este trabajo. De la misma forma agradezco a la Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad ya que me proporcionaron una imagen Landat MSS del año 1974.

Al grupo de compañeros de la segunda generación de esta orientación de la maestría. En especial a Nubia, Carlos y Daniel pues cada uno de ustedes me mostró que la amistad no solamente requiere de tiempo para que se manifieste, además hay que condimentarla con sinceridad, confianza, ánimo, responsabilidad y sobre todo disposición. Quiero decirles que ustedes forman parte importante en mi vida.

A mis amigos con quienes vine a la conquista de Morelia sin saber lo que nos esperaba: Nacho, Pao, Aby resultó que conquistamos nuestra propia vida, Borre como olvidar las aventuras que pasamos; a todos les digo que no me cabe la menor duda...como hemos cambiado. Mención aparte para aquellos con quien he podido cotorrear de vez en cuando: Esmeralda, Verónica, Betycua, Kikecua, ToñodeNubia, Danymuyuk, Alejandro Caballero, Leonel y Omar.

Mago deseo expresarte mi profundo agradecimiento por el apoyo que me has brindado durante el tiempo que hemos convivido. Deseo de corazón que logres cumplir todos tus proyectos. Te quiero petit.

Lulú por apoyarme y ayudarme a conquistar mis temores y reconfortar mis tristezas siempre te voy a estar agradecido. Eres a toda madre!!!!.

Tabla de contenido

Listado de figuras	3
Listado de tablas	4
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	5
1.1 Antecedentes	5
1.2 Planteamiento del problema	10
1.3 Área en estudio	11
1.4 Justificación	14
1.5 Objetivo general	14
1.6 Objetivos particulares	15
CAPITULO 2: METODOLOGÍA	16
2.1 Materiales	16
2.2 Método	16
2.2.1 Análisis estadístico	17
2.2.1.1 Aproximación regional	17
2.2.1.2 Aproximación local	21
2.2.2 Cubierta forestal	21
2.2.3 Análisis de las variables	24
2.2.4 Modelado de la temperatura	25
CAPITULO 3: RESULTADOS	28
3.1 Aproximación regional	28
3.1.1 Calidad de los datos	28
3.1.2 Coeficiente de variación	30
3.1.3 Análisis regional de la temperatura	33
3.1.3.1 Temperatura media	33
3.1.3.2 Temperatura máxima promedio	37
3.1.3.3 Temperatura mínima promedio	41
3.1.3. Gradiente térmico altitudinal	43
3.1.4 Cubierta forestal para del área de influencia	45
3.1.5 Tasa de cambio de la cubierta forestal	47
3.1.6 Relación deforestación - temperatura	50
3.1.6.1 Análisis de correlación	50
3.1.6.2 Prueba de hipótesis	52
3.2 Aproximación local	53
3.2.1 Coeficiente de variación de registros locales	53
3.2.2 Relación densidad del arbolado - temperatura	56
3.2.3 Prueba de hipótesis aproximación local	57
3.3 Distribución de la temperatura en Cerro Pelón	58
3.3.1 Modelado de datos regionales	58
3.3.1.1 Temperatura media	58
3.3.1.2 Temperatura máxima	60
3.3.1.3 Temperatura mínima	62

3.3.2 Modelado de datos locales	64
3.3.2.1 Temperatura media	64
3.3.2.2 Temperatura máxima	66
3.3.2.3 Temperatura mínima	68
3.3.3 Comparación del modelado regional y los valores locales	71
3.3.1.1 Temperatura media	71
3.3.1.2 Temperatura máxima promedio	72
3.3.1.3 Temperatura mínima promedio	73
3.3.1.4 Comparación del modelado regional y la estación Cerro Pelón	74
CAPITULO 4: DISCUSIÓN	76
4.1. La red de estaciones meteorológicas en la región País de la Monarca	76
4.2. El cambio en las cubiertas del suelo	76
4.3 Relación deforestación y clima	77
4.4 Pruebas y análisis estadísticos	78
4.5 Modelado	79
CONCLUSIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	82

Listado de figuras

Figura 1.1 Área de estudio.....	12
Figura 1.2. Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca	13
Figura 2.1 Diagrama de flujo.....	18
Figura 2.2. Área de influencia de las estaciones meteorológicas utilizadas.....	22
Figura 2.3 Modelo resultado de la aplicación de la recta de regresión.....	27
Figura 3.1. Concentrado de años con registro de temperatura de las estaciones del S.M.N.....	29
Figura 3.2. Coeficiente de variación de los datos de las estaciones del Estado de México	31
Figura 3.3. Coeficiente de variación de los datos de las estaciones de Michoacán.....	32
Figura 3.4. Gráfica del comportamiento de la temperatura media anual	35
Figura 3.5. Estaciones con variación en los registros de temperatura media.....	37
Figura 3.6. Gráfica del comportamiento de la temperatura máxima promedio.....	39
Figura 3.7. Estaciones con variación en la temperatura máxima promedio.....	40
Figura 3.8. Gráfica del comportamiento de la temperatura mínima promedio.....	42
Figura 3.9. Estaciones con variación en la temperatura mínima promedio.....	43
Figura 3.10. Superficie en hectáreas para las cinco fechas del análisis	46
Figura 3.11 Estación San Francisco Oxtotilpan.....	49
Figura 3.12 Estación Santa Bárbara.....	50
Figura 3.13. Estaciones consideradas para la prueba de hipótesis.....	53
Figura 3.14. Valores de coeficiente de variación diarios.....	55
Figura 3.15. Valores de coeficiente de variación y humedad relativa mensuales.....	55
Figura 3.16. Modelado de la Temperatura Media a partir de datos regionales.....	59
Figura 3.17. Modelado de la Temperatura Máxima promedio a partir de datos regionales	61
Figura 3.18. Modelado de la Temperatura Mínima promedio a partir de datos regionales	63
Figura 3.19. Modelado de la Temperatura Media a partir de datos locales propios	65
Figura 3.20. Modelado de la Temperatura Máxima promedio a partir de datos locales	67
Figura 3.21. Modelado de la Temperatura Mínima promedio a partir de datos locales	70

Listado de tablas

Tabla 2.1. Imágenes Landsat utilizadas	16
Tabla 2.2 Variables recopiladas.....	17
Tabla 2.3 Años disponibles por estación.....	19
Tabla 3.1. Clasificación por tipo térmico, según García (2004).....	34
Tabla 3.2. Cubierta forestal del área de influencia por estación, en porcentaje	36
Tabla 3.3. Cubierta forestal del área de influencia por estación, en porcentaje	38
Tabla 3.4. Cubierta forestal del área de influencia por estación, en porcentaje	41
Tabla 3.5 Estaciones seleccionadas para el cálculo del gradiente térmico.....	44
Tabla 3.6. Gradiente térmico en °C por cada 100 metros de altitud	44
Tabla 3.7 Cubierta forestal del área de influencia por estación, en porcentaje.....	47
Tabla 3.8 Tasa de Cambio.....	49
Tabla 3.9 Variables usadas para el análisis de regresión lineal.	51
Tabla 3.10 Varianza de la precipitación para el periodo 1976-1986.....	51
Tabla 3.11 Varianza de la temperatura máxima promedio, periodo 2000-2003	52
Tabla 3.12 Valores de r de temperatura media.....	56
Tabla 3.13 Valores de r de temperatura máxima	57
Tabla 3.14 Valores de r de temperatura mínima	57
Tabla 3.15. Comparación de la temperatura media	72
Tabla 3.16. Comparación de la temperatura máxima promedio.....	73
Tabla 3.17. Comparación de la temperatura mínima promedio	73
Tabla 3.18. Comparación del modelado regional y los datos de la estación meteorológica de Cerro Pelón	74

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En México, los bosques, selvas y otras áreas con vegetación natural ocupan aproximadamente 74% del territorio nacional; estos abarcan una superficie de 146 millones de hectáreas (SEMARNAP 1997, Villers y Trejo, 1998). Los ecosistemas forestales tienen gran importancia, la cual radica en aspectos fundamentales tales como la gran biodiversidad que los integra, su contribución a la estabilización de los suelos, conservan los ciclos hidrológicos, capturan carbono y regulan el clima. Este último aspecto lo llevan a cabo gracias a su estructura morfológica que absorbe la radiación solar; además la actividad fisiológica de los bosques tiende a regular la humedad entre el suelo y la atmósfera (Bounoua, 2004; Betts, et al., 2007).

Asimismo los ecosistemas forestales también tienen una notable importancia social, ya que son una fuente de subsistencia de la población al proveer de productos maderables y no maderables para el consumo humano (Maser et al. 1997, SEMARNAP 1997, Villers y Trejo 1998); sin embargo la tala inmoderada ha provocado en nuestro país que los bosques sean objeto de deterioro durante un largo periodo. En este sentido, la deforestación por cambio de uso del suelo, y el desmonte, por extracción forestal; son los principales procesos de cambio en la vegetación natural. Los impactos ecológicos de estos procesos son importantes e incluyen la pérdida y degradación de los suelos, cambios en el microclima, pérdida de la biodiversidad, mal funcionamiento de las cuencas hidrológicas; sin olvidar que a nivel mundial contribuye a las emisiones de gases invernadero que ocasionan el calentamiento global.

Para la superficie total del territorio nacional, SEMARNAT e INE en el año 2001, reportaron una tasa de cambio de alrededor de 700 mil hectáreas afectadas anualmente. Por su parte Velázquez et al. (2001) consideran que la deforestación puede llegar a alcanzar 1.5 millones de hectáreas por año. En el estado de Michoacán, la Comisión Forestal (COFOM, 2007); informa que se han deforestado en promedio unas 53,340 ha al año.

Al cambio de uso del suelo contribuyen numerosos procesos, tales como la ganadería extensiva, formas no sustentables de agricultura, tala inmoderada

de bosques, incendios forestales y la dispersión de asentamientos humanos, entre otros (SEMARNAP, 1997). Además del cambio de uso del suelo, el cambio climático en nuestro país se vislumbra como otro importante factor de degradación de los bosques. Al respecto, existen algunos estudios concernientes a la evaluación del impacto dentro del sector forestal, cuyo tema es el cambio en el clima. Como ejemplo, en el “Estudio de País: México” se incluyen los primeros análisis de vulnerabilidad al cambio climático en las áreas de agricultura, asentamientos humanos, zonas costeras, desiertos, ecosistemas forestales, recursos hidrológicos y sobre los sectores energético e industrial. En el proyecto se menciona que bajo los escenarios climáticos para el 2050, México perdería el 3% de sus bosques templados (SEMARNAP 1997, Villers y Trejo 1998).

Por su parte, las tendencias del clima en México para los últimos cincuenta años muestran un ligero aumento de la temperatura en superficie, junto con una tendencia positiva de la precipitación en el norte, mientras que en el sur tiende a disminuir. Ejemplo de esas tendencias en el clima son las temperaturas récord que se registraron en casi todo el territorio en el bienio 1997-1998. En el caso de la Ciudad de México, en el año de 1998 se rompió el récord histórico de temperatura máxima, con 32.5°C, la más alta del último siglo, por efecto de la llamada “Isla de Calor” (SEMARNAT-INE, 2001).

Por otra parte, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) en el año 2002 llevo a cabo los primeros estudios piloto para obtener los escenarios de distribución potencial de algunas especies de encinos y pinos que se distribuyen en los bosques templados de México, por tratarse de uno de los ecosistemas más vulnerables al cambio climático (Arriaga y Gómez, 2004). El impacto en la modificación de variables climáticas en el sector bosques puede ser de corto y largo plazo. En el corto plazo, el incremento en la temperatura y las sequías pueden favorecer la mortalidad de árboles adultos debido a la influencia que ejerce en el déficit de agua en el suelo; así como en el establecimiento de plántulas limitando la regeneración natural de los bosques. Asimismo, el incremento de la temperatura puede favorecer la disminución en el crecimiento y la productividad de los recursos forestales. En el largo plazo, las sequías y cambios en los patrones de la precipitación pueden influir en el cambio en la distribución geográfica de los bosques, cambios en la composición de especies y cambios en la productividad de los recursos forestales.

Teniendo en cuenta los estudios en donde se consideran varias variables climáticas, la mayoría de los autores concluyen que los procesos de cambio de uso del suelo, ya sea por la introducción de sistemas de cultivos o de ganado, o por el aprovechamiento maderable o silvícola, han provocado modificaciones en el comportamiento de esas variables climáticas en menor o mayor grado. En este sentido, a nivel mundial se han desarrollado estudios que pretenden demostrar cómo ha sido modificado el funcionamiento y las características que presentan variables como la evapotranspiración, la temperatura a nivel del suelo, pérdida de sumideros de carbono, incremento del albedo, entre otros. Es así como la recopilación de datos diarios de variables tales como la temperatura mínima y máxima, la precipitación, la humedad del aire y la evaporación, entre otras variables, han venido a tomar cierta importancia en diversos temas de investigación (Caldentey et al. 2000).

En nuestro país se han elaborado estudios en donde se busca reconocer la existencia de variaciones en los datos de variables como la temperatura y la precipitación, y se relacionen con procesos de deforestación o perturbación en la cubierta vegetal. En este sentido en la subcuenca del río Corona en el estado de Tamaulipas, Salinas et. al., (2002), realizaron un estudio cuyo objetivo fue evaluar los posibles impactos ocasionados por el cambio en el uso del suelo y la cubierta vegetal, sobre la distribución de la radiación solar incidente en el calor sensible y el calor latente.

Aunque los autores encontraron evidencia estadística en algunas tendencias que podrían aportar elementos sobre las consecuencias del cambio del uso de suelo sobre el clima, la variación entre los parámetros de cada estación parece manifestar el efecto que tiene el tipo de cubierta presente alrededor de las estaciones sobre los registros climáticos. Al observar los ambientes circundantes obtenidos de los cambios de usos de suelo y su relación con la ubicación de las estaciones meteorológicas, algunos de sus parámetros indicaron este efecto. El incremento de las temperaturas máximas y mínimas parece estar asociado a cambios de uso de suelo hacia cubiertas de bajo aporte (pastizales), los cuales propiciaron un calentamiento del aire a nivel de superficie que se detectó en la estación (Salinas, et. al., 2002).

Téllez et. al. (2002) plantearon un modelo que tomara en cuenta la relación que existe entre los parámetros climáticos y la biota, así como su correspondencia con posibles cambios globales que causaran cambios en la diversidad y en los patrones de distribución de las especies. Para este modelo

usaron 19 parámetros ambientales que se asocian con especies de cactáceas; además proponen algunos escenarios de cambio climático en los próximos años. Concluyen que si la propuesta de cambio climático ocurriera, su modelo bioclimático permitiría distinguir entre la distribución potencial de los patrones actuales y tres posibles escenarios.

Caldentey et. al. (2000) comentan que en un bosque de Lengua, los procedimientos en las prácticas silvícolas provocan cambios en las condiciones microclimáticas, tales como incrementos en el ingreso de la radiación solar dentro del bosque y variaciones en la redistribución de las precipitaciones recibidas. Producto de ello, también ocurren modificaciones en la temperatura y humedad del aire y del suelo. Los resultados que se presentan en ese estudio corresponden, a los promedios mensuales de los registros de dos años de mediciones, abarcando el periodo comprendido entre el 9 de febrero de 1997 al 31 de enero de 1999.

Los autores concluyen que el análisis de las variables confirma que en relación al bosque sin intervención, los cambios en la cubierta, densidad y estructura del rodal sometido a corta provocan incrementos en los montos de radiación incidente, en los valores medios mensuales de la temperatura del aire y velocidad del viento y en las temperaturas medias mensuales del suelo superficial, durante la temporada primavera-verano; asimismo la humedad relativa del aire se redujo en el rodal intervenido.

El comportamiento de variables climáticas es analizado en el trabajo realizado por Younis et al. (1999) en la cuenca del río Guadalentín, España. En este trabajo mencionan que la dinámica de la vegetación es un indicador importante para revelar la existencia de un proceso de desertificación en ambientes semiáridos. El método utilizado toma en cuenta datos sobre la precipitación mensual y la temperatura media mensual procedentes de 18 estaciones meteorológicas en la zona de estudio, distribuidas a distintas alturas. Generaron imágenes de precipitación acumulada y temperatura media, mismas que fueron relacionadas con un índice de diferencia de vegetación normalizado (NDVI); esto expuso que existe una buena correlación entre ambos parámetros, indicando el desarrollo de la vegetación como consecuencia de la precipitación registrada.

De la misma forma, en Colombia, Pérez et al. (1994) llevaron a cabo una serie de pruebas estadísticas para tratar de detectar señales de cambio climático

con registros hidrológicos, en términos de cambio en la homogeneidad de la media de los datos, en la varianza y la existencia de tendencias lineales en los registros. De la misma forma examinan el cambio en la fase y la amplitud de los ciclos anual y semianual de series de diversas variables climáticas, tales como precipitación, temperaturas mínima y media, tensión de vapor, evaporación. Para realizar este estudio emplearon dos tipos de análisis para la detección de cambios y tendencias: análisis exploratorio de homogeneidad de las series y análisis confirmatorio. Los resultados obtenidos les permitieron concluir que existe una clara tendencia de calentamiento que se observa en las series de temperaturas mínimas y medias. La razón del calentamiento se encuentra tanto en el efecto invernadero como en los procesos de urbanización y deforestación.

Finalmente, existen trabajos que buscan obtener información acerca de la estructura y la distribución de la precipitación diaria, como el realizado por De la Luz et. al., (2004) en la Península Ibérica, para cada una de las estaciones del año. Los autores construyeron series de índices que describen la frecuencia de la precipitación para esta variable.

En lo que respecta a trabajos realizados en el área de estudio, en los que se busca caracterizar variables climáticas, hay trabajos a nivel regional como el realizado por García (1997) en donde hace una clasificación de los tipos de clima de la RBMM y sus alrededores, basándose en la clasificación de Köppen. Ramírez (2001) hace una clasificación bioclimática de la misma área y la ubicación espacial de las áreas con riesgo de heladas a partir de datos de las estaciones climatológicas más cercanas y de otros ecosistemas similares en el centro de México.

Por su parte, Oberhauser y Peterson (2003) identificaron el cambio climático como una amenaza más para la hibernación de la mariposa monarca, utilizando un modelado de nichos ecológicos para las mariposas y para los bosques de oyamel, así como escenarios de cambio climático del Hadley Center Climate Models; proyectaron que dentro de 50 años los sitios de hibernación actuales serán considerablemente más fríos y húmedos.

A nivel microclimático, Calvert et al. (1982), Calvert y Brower (1986) y Alonso (1996) tomaron registros de temperatura con la intención de conocer el papel del microclima en el movimiento de las colonias de mariposas durante el periodo de hibernación, pero sólo en las colonias más grandes y estables, y únicamente de enero a marzo. Asimismo, Alonso (op cit) realizó un estudio

detallado de la humedad, insolación y velocidad del viento en una sola colonia y durante un periodo de hibernación, que en ese caso coincidió con un invierno suave.

1.2 Planteamiento del problema

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) es un Área Natural Protegida (ANP) que tiene por objeto conservar las 56,259 hectáreas que conforman parte del corredor ecológico donde se lleva a cabo la hibernación de la mariposa monarca en las montañas del Eje Neovolcánico Mexicano. La reserva se encuentra integrada por 10 municipios, 16 de Michoacán y 11 del estado de México, donde habitan alrededor de 500 mil habitantes, tanto en la zona protegida como en la de influencia. A su vez, la reserva se encuentra dentro de la región conocida como País de la Monarca, conformada por 27 municipios, que de acuerdo con el reporte del Foro Monarca (2007), presentan elevados niveles de marginación que se reflejan también en la presión que la población ejerce sobre los recursos forestales a través de la tala ilegal, cambios en el uso del suelo y expansión urbana no controlados.

A pesar de los tres decretos de protección que se han emitido para proteger a la mariposa monarca y su hábitat (1980, 1986 y 2000), la deforestación y degradación forestal, así como los conflictos por el uso del suelo y la tenencia de la tierra no se han frenado (Hoth, 1995; Ramírez y Zubieta, 2005).

Brower et al. (2002) y Ramírez et al. (2003) señalan que después del decreto de 1986 la degradación del bosque se aceleró, especialmente después de 1992. Los primeros autores, reportan una tasa anual de degradación (perturbación y pérdida juntas) de 1.7% entre 1971 y 1984, la cual se incrementó a 2.4% entre 1984 y 1999. Mientras que Ramírez et al. (op cit) estimaron una tasa de perturbación promedio anual de 1.3% entre 1971 y 2000, más una tasa de deforestación de 0.1% para las mismas fechas.

Asimismo Ramírez y Zubieta (2005) llevaron a cabo un análisis de los procesos de cambio antes y después del decreto del año 2000, considerando toda la superficie de la actual Reserva más su área de influencia; con el objetivo de detectar si hubo más cambios dentro de los límites de protección o fuera de ellos. En dicho trabajo encontraron una elevada perturbación del bosque en toda el área de estudio, la cual ha sido mayor dentro de los límites de la Reserva.

Mencionan que en el área núcleo se perdieron 641 ha de bosque de 1993 a 2000, y 414 ha de 2000 a 2003, mientras que en el área de amortiguamiento dicha pérdida fue de 494 ha en el primer periodo y de 1069 hectáreas en el segundo.

Se reconoce que una de las muchas implicaciones de la deforestación es la modificación en el régimen climático regional y local. Por ello, suponemos que dichos cambios en la cubierta vegetal, se verían reflejados, en cierto grado, dentro de los registros de parámetros climáticos.

Dado lo anterior, en la presente investigación intentamos dar respuesta a las siguientes preguntas:

¿Es posible identificar la influencia de la deforestación y la perturbación forestal sobre el clima local, a partir de la comparación de variables climáticas de la red de estaciones sinópticas y la información del cambio de uso del suelo?

¿Qué tanto se ajusta el modelo de los registros regionales a los datos locales reales con un solo año de observación?

¿Es estadísticamente confiable validar el modelo anterior a partir de instrumentos ubicados en un transecto dentro del rango altitudinal en donde se encuentran las masas forestales en el área de estudio, con sólo 1 año de observaciones no coincidentes con los datos de las bases del modelado regional?

1.3 Área en estudio

El área de estudio se estableció en dos aproximaciones, una regional y otra local. La primera se propuso tomando en cuenta las estaciones meteorológicas que se encuentran entre los 1150 y 2900m de altitud y están ubicadas desde la Sierra de Mil Cumbres hasta la presa Valle de Bravo, lo que corresponde aproximadamente a la región del País de la Monarca (figura 1.1). La segunda, para el modelado local, se encuentra en el Cerro Pelón, al sur de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM).

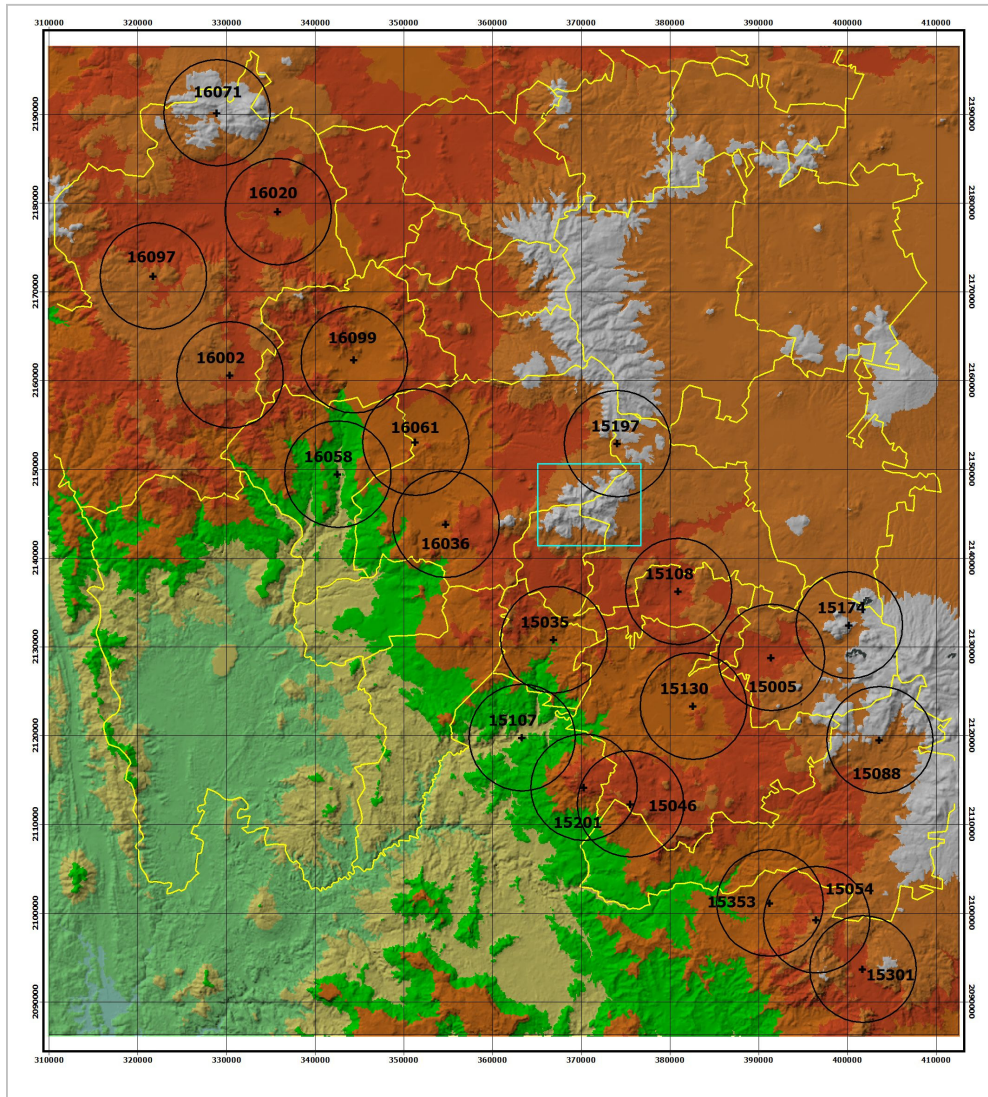


Figura 1.1. Área de estudio. En la figura se observa dentro de un recuadro cyan el área que corresponde a la aproximación local, las cruces señalan las estaciones del SMN, mientras que los círculos establecen el área de influencia de cada estación de acuerdo a la OMM. Asimismo, las líneas en amarillo representan los límites del País de la Monarca. El fondo corresponde a un modelo digital de elevación, el cual representa en colores gris las elevaciones mayores.

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca se localiza entre los estados de México y Michoacán (figura 1.2). Tiene una extensión de 56,259 ha, divididas en tres zonas núcleo (ZN), con una superficie total de 13,551 ha., y dos zonas de amortiguamiento que en total suman 42,707 ha.

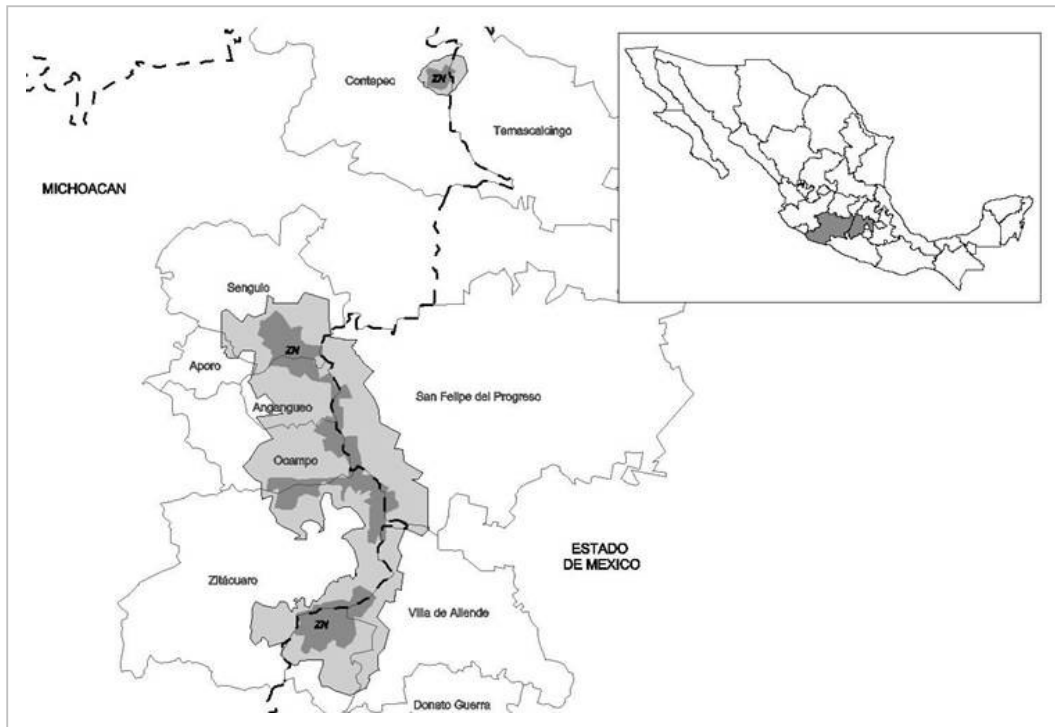


Figura 1.2. Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. En gris claro se presenta el limite de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca y, en gris oscuro la zona núcleo de la reserva.

Presenta una litología compuesta por materiales andesíticos y basálticos, a partir de los cuales se han formado principalmente andosoles, acrisoles y luvisoles. Es decir, suelos caracterizados por ser ligeramente ácidos y con bajo contenido de nitrógeno, poco favorables para el desarrollo agrícola y adecuados para sostener vegetación leñosa. La formación de suelos responde a los intensos y acelerados procesos de descomposición de la abundante materia orgánica.

Sobre estos suelos se desarrolla un ecosistema templado-húmedo, expresado por diversos tipos de vegetación en donde predominan los de coníferas (*Abies*, *Pinus* y *Cupressus*) con asociaciones tales como el bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de encino y bosque de cedros; además de bosques mixtos de coníferas y latifoliadas (*Quercus*, *Alnus*, *Arbutus*, etc.) (Ramírez, 2001). Asimismo, la reserva cuenta con una gran diversidad de especies de fauna silvestre (CONANP, 2003).

La región presenta en general un clima Cw, templado subhúmedo con lluvias en verano, temperaturas medias anuales de 8° a 22°C, precipitaciones

promedio desde 700 mm, hasta 1250 mm, y temperaturas mínimas para el mes más frío entre -3° y 18°C . Este tipo de clima cambia en distancias relativamente cortas debido a la presencia de montañas, sierras y relieves escarpados; mismos que provocan importantes variaciones microclimáticas, las cuales se reflejan sobre todo en la humedad y la precipitación de la zona (CONANP, 2001).

1.4 Justificación

Se han realizado estudios en México cuyo tema tiene que ver con los posibles efectos de los procesos de cambio en la vegetación natural sobre los registros de las variables climáticas a nivel regional o local (Salinas et al., 2002; Villers et al., 1998). Estos han utilizado datos de las variables climáticas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), cuya característica es la escasa cobertura temporal en el registro de esos datos, así como la falta de varios meses e incluso años completos dentro de los mismos registros (Mendoza et al., 2004).

Como ejemplo de lo anterior, tenemos el caso de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM), que a pesar de ser un área protegida emblemática y prioritaria para nuestro país no contaba con instrumentos de registro climático dentro de sus límites; además de que los registros de las estaciones más cercanas son escasos y con muchos huecos. En este sentido, proponemos llevar a cabo un trabajo que analice el comportamiento de la temperatura en sitios forestales de estas montañas, considerando dos aproximaciones, una regional y otra local. Dada la carencia de datos antes mencionada, este trabajo establece, además, el comienzo del registro sistemático de datos climáticos para el área de la RBMM; lo que permitirá reconocer el comportamiento del clima específico para esta zona.

1.5 Objetivo general

Identificar la posible influencia de la deforestación y la perturbación forestal sobre los registros de temperatura de la red oficial y de instrumentos propios en la Región de la Mariposa Monarca.

1.6 Objetivos particulares

1. Recabar y organizar la base de datos de las estaciones meteorológicas dentro del área de estudio tomando en cuenta los registros que corresponden al Servicio Meteorológico Nacional (SMN).
2. Llevar a cabo un análisis regional del comportamiento de los datos históricos de temperatura (media, máxima y mínima) y su relación con la cubierta del suelo
3. Modelar el comportamiento de las variables de temperatura con base en los registros de los instrumentos instalados en la ladera sur del Cerro Pelón
4. Llevar a cabo la comparación del modelo anterior con los resultados del análisis de la aproximación regional

CAPITULO 2: METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para llevar a cabo el presente trabajo fueron utilizados registros de variables climáticas de 49 estaciones meteorológicas. Se consultaron tanto la base del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), como la del registro nacional ERICIII (Extractor Rápido de Información Climática tercera versión). Considerando ambas fuentes, los datos recabados corresponden al periodo 1922-2003, aunque no son registros completos ni continuos para todas las estaciones. Se usaron también los datos de una estación meteorológica semiautomática propia (Weather Hawk) y de ocho higrómetros (IButton Hygrochron DS1923, Dallas Semiconductor) instalados en la vertiente sur de Cerro Pelón.

Asimismo se utilizaron imágenes de satélite Landsat que comprenden el periodo 1976-2003 (tabla 2.1), mapas de uso de suelo para las fechas 1986, 1993, 2000 y 2003 (Ramírez et al., 2005), modelo digital de elevación, además de la cartografía digital vectorial de INEGI (1983). Esto permitió tener un análisis previo para localizar los sitios que presentan cambios en la cubierta forestal, lo cual posteriormente se comparó con datos obtenidos de los registros climáticos.

Imagen	Path/Row	Fecha
Landsat MSS	28/46 y 28/47	1976
Landsat TM	27/46 y 27/47	1986
Landsat TM	27/46 y 27/47	1993
Landsat ETM+	27/46 y 27/47	2000
Landsat ETM+	27/46 y 27/47	2003

Tabla 2.1. Imágenes Landsat utilizadas.

2.2 Método

La metodología se presenta en diferentes secciones, considerando, por una parte, las escalas de aproximación en las que se planteó el trabajo (regional y local); y por otra parte, de acuerdo al grupo de actividades que se llevaron a cabo en cada etapa del mismo (figura 2.1).

2.2.1 Análisis estadístico

2.2.1.1 Aproximación regional

Se recopilaron los datos de cuatro variables climáticas (tabla 2.2) para un total de 49 estaciones que se encuentran en el rango altitudinal de los 1000 a los 3000 msnm; todas se encuentran dentro del área de estudio entre la sierra de Mil Cumbres en Michoacán y Valle de Bravo en el Estado de México. Aunque el objetivo del estudio es sólo el análisis de la temperatura, para esta aproximación regional decidimos incorporar también la precipitación, la cual sirvió para ejemplificar la diferencia de su comportamiento con el de las variables de temperatura.

Variable
Temperatura Mínima Promedio
Temperatura Máxima Promedio
Temperatura Media
Precipitación Acumulada

Tabla 2.2. Lista las variables elegidas para este trabajo.

Los datos del período 1960-1995 que fueron extraídos de la base de datos climáticos ERICII se compararon con los del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para determinar cuáles se tomarían como plataforma para el trabajo. De esta forma se buscó establecer si los datos proporcionados directamente por el SMN, en términos de la veracidad de los mismos y del periodo de tiempo que abarcan, eran idóneos para llevar a cabo una actualización de los registros de la base del ERIC.

Lo anterior implicó, por un lado, solicitar al SMN los archivos digitales con los datos de las variables climáticas, mismos que fueron proporcionados en formato de texto (.dat); por lo que posteriormente se exportaron hacia hojas de Excel en donde se concentraron los registros de cada variable por estación.

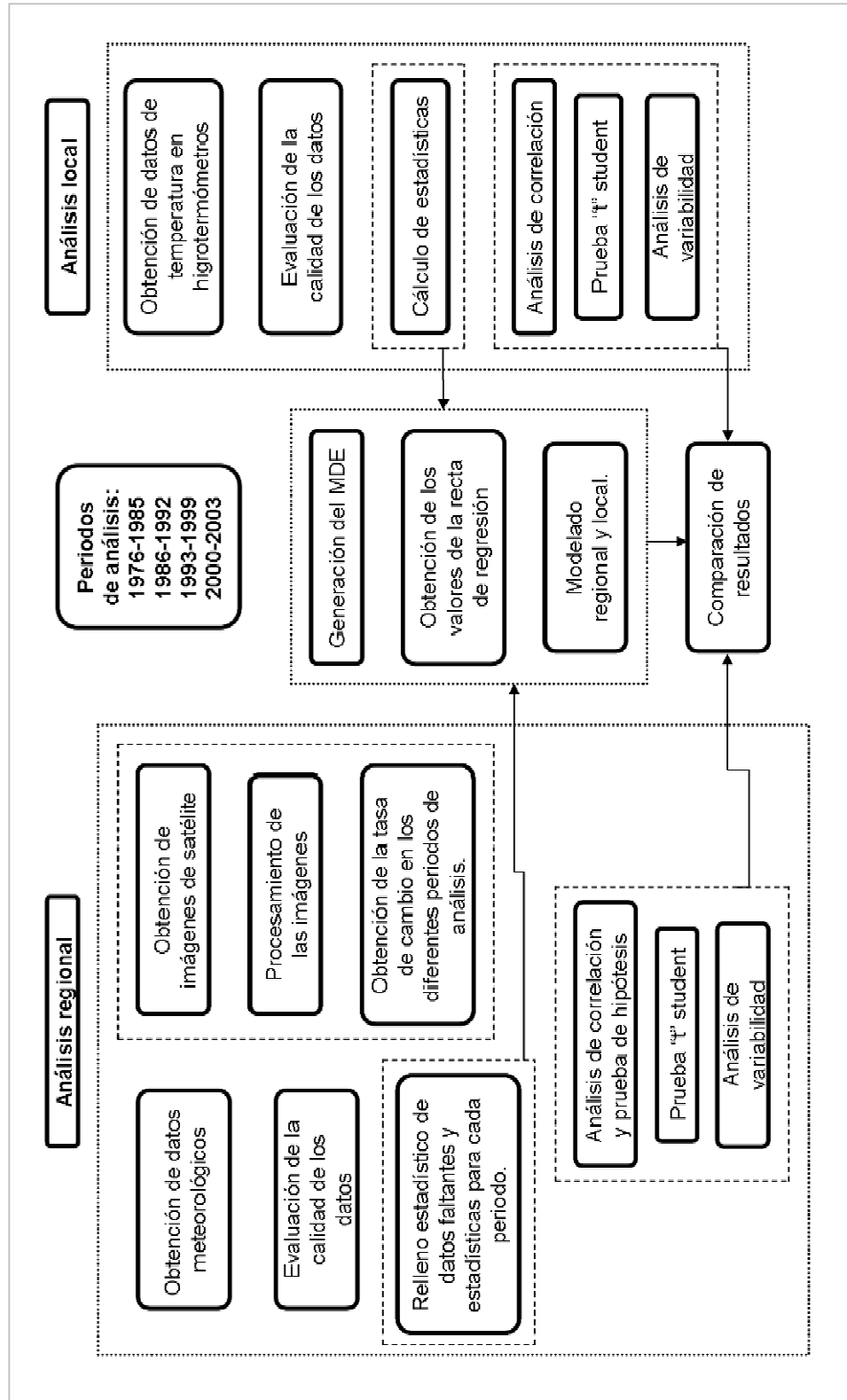


Figura 2.1. Diagrama de flujo. Muestra las diferentes etapas y actividades que se realizaron para el presente trabajo.

La integración de los datos en una hoja de cálculo permitió un manejo más amigable y un primer análisis visual para ubicar y contabilizar los meses y años con registros vacíos, además se elaboró un listado con las estaciones en donde se especifico el periodo de cada estación y con ello se elaboraron cuadros de concentración con los datos de cada variable lo que ayudó a definir cuáles estaciones no eran aptas por falta de datos y prever su posible impacto sobre la representatividad de los datos a analizar en el tratamiento estadístico posterior.

En los cuadros de concentración se establecieron cuatro clases para poder identificar la disponibilidad de datos por año para cada estación. De esta forma, el empleo de estas clases permitió conocer la cantidad de meses que no contaban con registro y los años disponibles para cada estación. Posteriormente se establecieron criterios para seleccionar aquellas estaciones que aseguraran que los datos analizados fueran lo más homogéneos posible. De esta forma se eligió a aquellas estaciones que cumplieran con al menos 17 años de registros, que cubrieran el periodo 1976-2003 y que su área de influencia no fuera cubierta por otra estación en al menos en un 60% (tabla 2.3).

Clave	Nombre	Altitud (m)	# años
15005	Amanalco de Becerra A.	2511	31
15035	Ixtapan del Oro	1680	26
15046	Presa Colorines (CFE)	1680	21
15054	Malinalco, Malinalco	1740	25
15088	San Francisco Oxtotilpan	2635	38
15107	Santa Bárbara, Sto. Tomás	1152	29
15108	Santa Maria del Monte	2210	42
15130	Presa Valle de Bravo (V.B.)	1869	21
15174	Palos Mancornados	2920	31
15197	Cuesta del Carmen (V.A.)	2823	24
15201	Trojes, Santiago Temoaya	1200	28
15301	Texcaltitlan (D-7)	2349	17
15353	Buenavista (Estancia V.)	2576	17
16002	Agostitlan, Cd. Hidalgo	2380	53
16020	Ciudad Hidalgo (DGE)	2020	44
16036	El Bosque, Zitácuaro	1750	38
16058	Jungapeo, Jungapeo	1430	49
16061	Laguna del Fresno	2070	55
16071	Los Azufres, Cd Hidalgo	2800	27
16097	Presa Pucuateo, Cd. Hidalgo	2505	51
16099	Presa Tuxpan, Tuxpan	1771	36

Tabla 2.3. Muestra la cantidad de años de observación disponibles de las estaciones seleccionadas.

Una vez que se eligieron las estaciones que cumplían con los registros suficientes para realizar el análisis de las variables climatológicas; se continuó con el cálculo de los datos faltantes. Para ello se llenaron los espacios vacíos con la finalidad de uniformar la información, considerando el método mencionado en Orellana et al. (2004). Ellos proponen el relleno de estos espacios vacíos con el promedio de 10 años del mismo mes, considerando en lo posible que sean 5 años antes y 5 años después del faltante.

Después de que se obtuvieron los datos y completada la información, se procedió a calcular las medias aritméticas y la varianza anuales para las variables de temperatura máxima promedio (T_{maxp}), temperatura mínima promedio (T_{minp}) y temperatura media (T_m). Para conocer el comportamiento de las variables de temperatura, se elaboraron gráficas usando los promedios anuales; éstas y su análisis podrán ser revisadas en el apartado correspondiente. Posteriormente se agruparon las variables tomando en cuenta los periodos de tiempo para los cuales se obtuvieron tasas de cambio (1976-1985, 1986-1992, 1993-1999 y 2000-2003).

Ya con los periodos establecidos y, con los datos de la media y la varianza de cada estación, se realizó un análisis exploratorio. Este análisis tiene como finalidad examinar los datos previo a la aplicación de cualquier técnica estadística, consiguiendo un entendimiento básico de esos datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas (Figueras et al., 2003). De acuerdo con estos autores, el análisis exploratorio de datos (AED) proporciona métodos sencillos para organizar y preparar los datos, detectar posibles fallos en el diseño y registro de los datos, tratamiento, etc.

Listas las matrices se procedió a llevarlas al paquete estadístico SYSTAT 11 (Systat Software, 2004), en donde se llevó a cabo la siguiente etapa del AED, la cual consistió en realizar un resumen descriptivo con el conjunto de datos de cada periodo; tanto para las variables climáticas como para el dato referente a la tasa de deforestación. El resumen descriptivo consistió en calcular la media aritmética, la mediana, el rango, la desviación estándar, el error estándar, la varianza, el coeficiente de variación, la asimetría (g_1), y la curtosis (g_2); así como obtener la gráfica correspondiente de cada conjunto de datos. Por otra parte se realizó la prueba de Shapiro-Wilk normality test, la cual principalmente permitió observar que la distribución de los datos no es normal, por lo que se procedió a normalizarlos elevándolos al cuadrado (Helsel et al., 1992).

2.2.1.2 Aproximación local

Para modelar el comportamiento en Cerro Pelón de las variables de temperatura y llevar a cabo su comparación con los resultados del modelado regional, se llevo a cabo la recopilación de datos de temperatura cada hora de diciembre de 2004 a mayo 2008. Esto se realizó mediante la obtención de datos de una estación meteorológica semiautomática (Weather Hawk) colocada en noviembre de 2004, así como ocho higrómetros distribuidos en un transecto sobre el rango altitudinal donde se encuentran las masas forestales del área de estudio local. Estos últimos registran temperatura y humedad cada hora, a partir de julio de 2007, y están colocados considerando sitios perturbados y sitios conservados (Alvarado, 2008).

Los registros obtenidos tanto de la estación meteorológica, que abarca 3 años completos de observaciones, como de los higrómetros (1 año de observaciones) no son coincidentes con las fechas de los datos utilizados en el modelado regional. Los datos descargados fueron transformados de un formato .dat hacia tablas en Excel. Una vez organizados se procedió al cálculo de la temperatura media y su desviación estándar, así como los promedios de máximas y mínima mensuales para cada uno de los nueve puntos. A partir de estos valores se elaboraron gráficas con las que se pudo apreciar el comportamiento a nivel local de las variables ya mencionadas.

2.2.2 Cubierta forestal

Paralelamente a las actividades descritas en el apartado anterior, se llevo a cabo la adecuación de las imágenes de satélite de las cinco fechas propuestas, de acuerdo al procedimiento descrito más adelante. A partir de ello se generaron los mapas respectivos de presencia ausencia de masa forestal y se cálculo la tasa de deforestación de los periodos 1976-1985, 1986-1992, 1993-1999 y 2000-2003.

Asimismo se llevo a cabo la delimitación del área de influencia (buffers) para cada estación, considerando la superficie que, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, cubre una estación meteorológica de una red nacional, la cual especifica un área de influencia de 100 km² (figura 2.2) (Salinas, 1998; WMO, 2008).

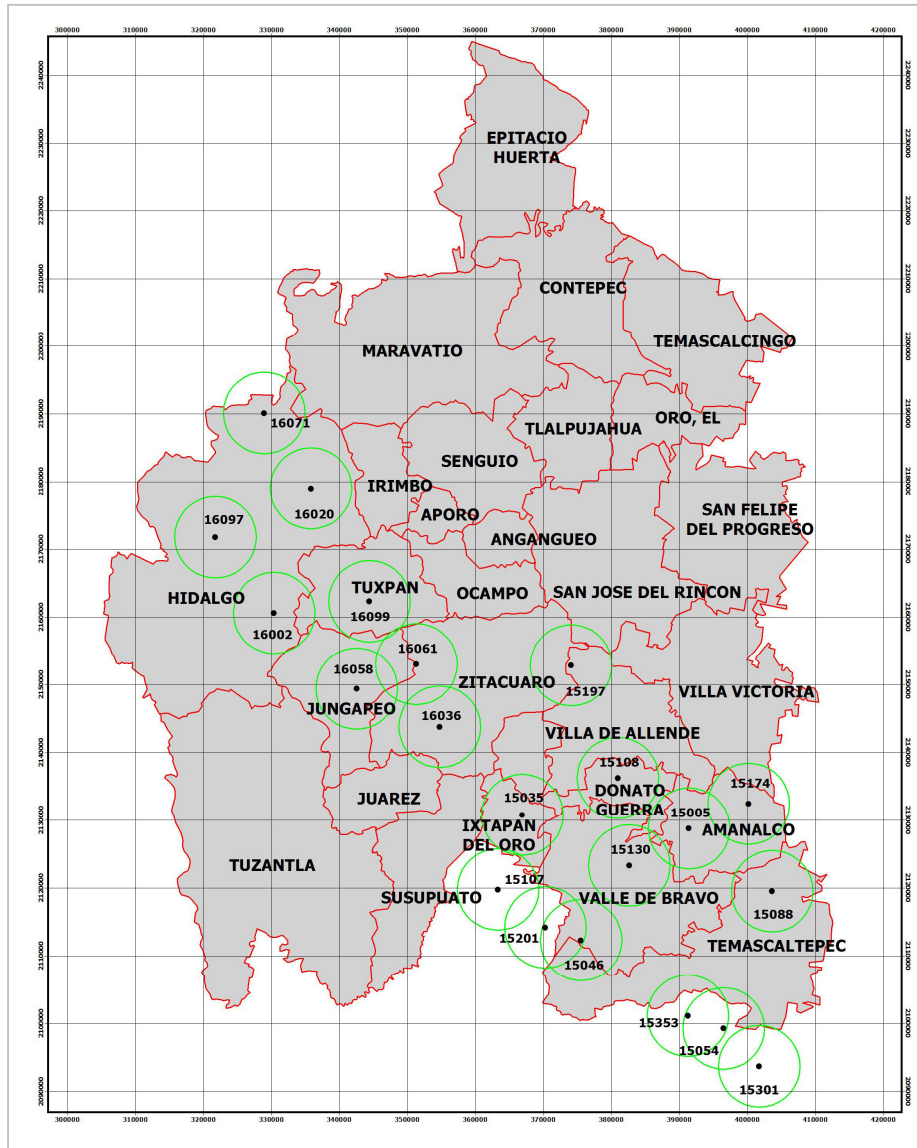


Figura 2.2. Área de influencia de las estaciones meteorológicas utilizadas. Muestra con un punto las estaciones del SMN, los círculos verdes corresponden al área de influencia de las estaciones y en rojo los municipios que integran al País de la Monarca.

Una vez obtenidos los insumos, se procedió a importar los archivos de las imágenes de satélite al formato de ERDAS (ERDAS Imagine, 2006), para luego extraer únicamente el área de interés mediante un recorte con el polígono del área de estudio. Realizados los cortes de las cinco imágenes, se procedió a llevar a cabo la georreferencia de una de las fechas, la cual sería tomada como base para el co-registro del resto de las imágenes.

Previo a la clasificación de las imágenes, se buscó que los valores de la imagen cubrieran todo el rango en tonos de gris, que va de 0 a 255; para ello se realizó el estiramiento del histograma (*stretchlinear*) con el cual se permite que haya una mejor diferenciación de los elementos que contiene la imagen (Ruiz, 2006).

Como el objetivo principal era la obtención de clasificaciones en donde se representara la presencia de cubierta forestal o no, se llevaron a cabo pruebas consistentes en la comparación de clasificaciones supervisadas y no supervisadas. La comparación fue en forma de análisis visual de los archivos obtenidos considerando la cartografía de vegetación y cubiertas del suelo existente para los años 1986, 1993, 2000 y 2003 (Ramírez et al., 2005; Zubieta, 2008). El método de clasificación supervisado fue el que brindó mejores resultados.

Concluida la exploración anterior y como antecedente la existencia de áreas en donde el sistema no logró discriminar de forma precisa las clases mencionadas se eligió utilizar un método híbrido que considerara el resultado de la clasificación automatizada pero complementándola con interpretación visual (Paniagua, 2008).

En la clasificación de cada imagen, los valores espectrales de éstas fueron agrupados en clases previamente establecidas: forestal, matorral, cuerpo de agua, área agrícola, pastizales y suelo desnudo. Con ello se obtuvieron los valores de superficie correspondientes a la cubierta forestal y tipo de uso de suelo. Las 6 clases después fueron re-agrupadas en dos clases (forestal y no forestal), y a continuación recortadas con el polígono del área de influencia de cada estación. Sobre los archivos por estación que se obtuvieron, se llevó a cabo

el mejoramiento de la clasificación mediante una interpretación visual con respecto a la imagen correspondiente.

Lo anterior requirió, pasar del formato de ERDAS al formato de celdas (grid) de la plataforma ArcInfo y posteriormente a formato vectorial para su edición, lo cual se llevó a cabo en el sistema de información geográfica ArcInfo Workstation (ESRI, 2004) lo que permitió entre otras cosas automatizar las actividades a realizar mediante el diseño de una cadena de comandos (scrip) (Paniagua, 2008). Respecto a la interpretación visual, se procedió en primer lugar a mejorar en la fecha más reciente, 2003, aquellos límites de clase erróneos, mediante interpretación visual en pantalla. Asimismo el archivo vectorial de esta fecha se tomó como base vectorial y se continuó con la interpretación de las fechas siguientes.

Al concluir esta actividad se obtuvieron las superficies para las clases forestal y no forestal, y se calculó la superficie de cambio en hectáreas, porcentaje y la tasa de cambio para cada uno de los cuatro periodos previamente establecidos.

La formula que se utilizó para el cálculo de la tasa de cambio es la propuesta por la FAO (Ramírez et al. 2005), cuya su expresión es la siguiente:

$$t = \left(1 - \frac{(S_1 - S_2)}{S_1} \right)^{1/n} - 1$$

Donde: t= tasa de cambio

S1= superficie en la fecha 1

S2= superficie en la fecha 2

n= número de años entre las dos fechas

2.2.3 Análisis de las variables

Como el objetivo general de este trabajo fue identificar la posible influencia de la deforestación y la perturbación forestal sobre los registros de temperatura, se definieron los análisis estadísticos que se aplicarían.

En lo que respecta a la aproximación regional, primero fueron obtenidos los datos para las variables climáticas, la información del grado de cubierta forestal del área de influencia en cada estación y la determinación de la tasa cambio presente en los diferentes periodos. Posteriormente se realizaron pruebas de regresión lineal de mínimos cuadrados para conocer si existía una correlación entre la deforestación, expresada en la tasa de cambio ocurrida en un periodo de tiempo dado, y las variables climáticas ya conocidas. Cabe recordar que para esta prueba, se incluyó la variable precipitación, la cual sirvió para ejemplificar la diferencia en su comportamiento y las variables de temperatura.

Asimismo se realizó una prueba de hipótesis, “t” de Student con los datos de dos estaciones con características de cubierta diferentes entre sí, para tratar de observar qué tan distinto es el comportamiento de los valores de la temperatura media, máxima y mínima, promedios en los cuatro periodos de tiempo señalados. Finalmente, para esta misma aproximación regional, se determinaron los coeficientes de variación para ocho estaciones, mismas que se dividieron en dos grupos: uno con las estaciones de mayor superficie forestal y otro con las estaciones cuya superficie forestal fuera mínima.

En lo que respecta a la aproximación local, el análisis se realizó con los datos de la estación meteorológica (Weather Hawk) y de los ocho higrotermómetros (Button Hygrochron DS1923, Dallas Semiconductor) colocados en un transecto en la vertiente sur de Cerro Pelón. De esta forma también se llevaron a cabo análisis de correlación y del coeficiente de variación, entre sitios con diferente porcentaje de cubierta arbolada y los promedios y varianzas de los registros de las variables de temperatura.

2.2.4 Modelado de la temperatura

Cada una de las variables de temperatura antes mencionadas, se modeló a partir de la obtención de los promedios de las estaciones seleccionadas, y de los valores de altitud del modelo digital de elevación calculado para ambas áreas de estudio.

En el caso de la aproximación regional, para lograrlo; primero se calculó la relación entre la temperatura y la altitud y se definieron los valores de la ecuación de la recta de regresión de las variables Temperatura media (T_m),

Temperatura máxima promedio (T_{maxp}) y Temperatura mínima promedio (T_{minp}). Mientras que para la aproximación local, se consideraron los promedios de Temperatura observada promedio diaria (T_{obs}), Temperatura máxima diaria (T_{maxd}) y, Temperatura mínima diaria (T_{mind}).

De esta forma, se procedió a graficar los promedios de cada una de las variables mencionadas y la altitud en la que se encuentran tanto las estaciones del servicio meteorológico, como los higrotermómetros; el resultado fue la obtención del gradiente de temperaturas que considerara la variable altitud.

Se generaron los modelos a partir de la aplicación de la ecuación de la recta de regresión, considerando los promedios mensuales de las temperaturas y de los datos de altitud del modelo digital de elevación (figura 2.3). La ecuación utilizada es la siguiente:

$$y = mx+b$$

Donde:

y = variable dependiente

x = variable independiente (altitud = MDT)

m = valor de la pendiente

b = valor de la constante

Los valores obtenidos en los sitios donde se encuentran las estaciones y los higrotermómetros, para cada modelo (regional y local), fueron comparados entre sí, en cada variable climática y para cada mes. Se utilizaron las coordenadas de estos sitios y se elaboró un archivo de puntos, el cual se transformó de formato vectorial a grid asignándole un tamaño de celda similar al del modelo digital de elevación y, un valor a 1 en los sitios en donde se encuentran, tanto la estación, como los higrotermómetros; mientras que en el resto de las caldas el valor calculado fue nulo (no data).

Con este archivo grid se llevó a cabo una operación aritmética, en este caso una multiplicación entre los modelos y el archivo mencionado, generando un nuevo archivo grid cuyo valor de celda correspondió a los valores medios de las variables climáticas mencionadas. Teniendo esta información se procedió a organizarla en tablas de cálculo dentro del software excel y llevar a cabo su comparación.

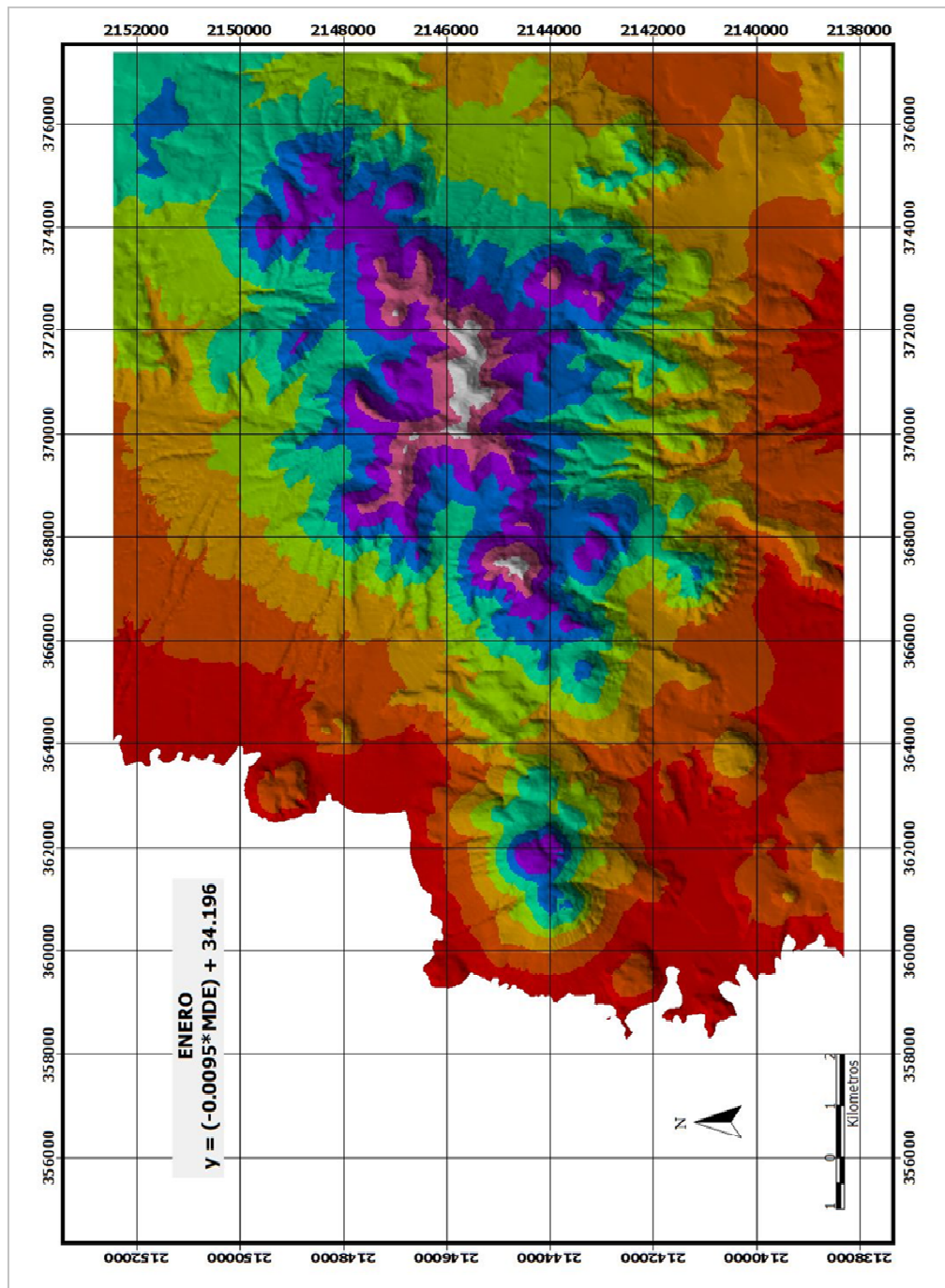


Figura 2.3 Modelo resultado de la aplicación de la recta de regresión. En este ejemplo se muestra la temperatura media durante el mes de enero. Los valores más altos se muestran en color guinda (12-13.3), mientras que los valores más bajos se representan en color gris (0.5-1.9).

CAPITULO 3: RESULTADOS

3.1 Aproximación regional

3.1.1 Calidad de los datos

Se recabaron datos de los registros de temperatura para las variables T_m , T_{max} y T_{min} ; para 49 estaciones proporcionadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), incluidas en el área de interés.

De acuerdo con las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial, para estudios regionales es necesario tener al menos 30 años disponibles de registros (WMO, 2008). No obstante, de las estaciones disponibles, sólo 12 (24%) cumplen este requisito con registros entre 37 y 57 años. Mientras que 37 estaciones (76%) cuentan con datos de 1 a 29 años (Figura 3.1).

Además de la limitante del número de años disponibles, prácticamente en la totalidad de las estaciones hubo huecos en los registros mensuales, que fueron desde 1 hasta 11 meses. Muchos de esos huecos se rellenaron de acuerdo al método de Orellana et. al (2004), lo cual no pudo ser aplicado en todas aquellas estaciones que presentaron huecos de más de 6 meses de registro en un año (Figura 3.1).

Debido a que el periodo de análisis de la cubierta forestal se estableció de 1976 a 2003, considerando la disponibilidad de imágenes de satélite, adicionado a la cantidad mínima de años recomendada, se optó por seleccionar aquellas que:

- contaran con registros dentro del periodo que corresponde con las imágenes,
- tuvieran más de 15 años de registros, y
- la sobreposición entre áreas de influencia no superara el 40% (figura 2.4).

Fueron seleccionadas 21 estaciones en total, de éstas, la que contó con más años de registros disponibles fue la estación Ciudad Hidalgo (16020) con 44. Esta estación se usó como referencia para estimar el porcentaje de años de registro del resto de las estaciones. Con ello, se reunieron las estaciones en 4 grupos de acuerdo al porcentaje de años con registros disponibles. Los grupos fueron: < 40%, 40-60%, 60-80% y 80-100%.

De acuerdo a los resultados de Salinas et al. (2002) y Mendoza et al. (2004), esta falta de series de datos con registro continuo, que cubra todo el periodo de interés, puede provocar que el análisis regional no muestre diferencias estadísticas significativas después de aplicar los análisis respectivos.

3.1.2 Coeficiente de variación

Se calculó el coeficiente de variación (CV), ya que este sirve para comparar las variabilidades de conjuntos de valores diferentes, por lo que el efecto causado por las condiciones específicas de la ubicación de las estaciones no tiene tanto efecto en el valor resultante (Fernández, 1996). Este coeficiente resulta de dividir la desviación típica entre la media.

Para realizar este análisis se evaluaron las 21 estaciones: 13 del Estado de México (Figura 3.2) y 8 de Michoacán (Figura 3.3). No obstante se eliminaron dos, la 15201 (Trojes) y la 16071 (Los Azufres), la primera porque presentaba valores altos negativos (-300%) y la segunda valores muy altos (de hasta 800%), lo que sugiere errores en los datos de entrada más que verdadera variabilidad.

El resultado del CV muestra un comportamiento más o menos homogéneo en todo el periodo de observación. En la época de secas (noviembre a abril) se presentan valores más altos (hasta 80%); y en la temporada húmeda valores bajos (menores a 20%).

En las figuras 3.2 y 3.3 se muestran en tonos cálidos aquellas estaciones con menos de 40% de su superficie cubierta por bosques, y en diferentes tonos de verde las que tienen un porcentaje de cubierta forestal mayor de ese 40%.

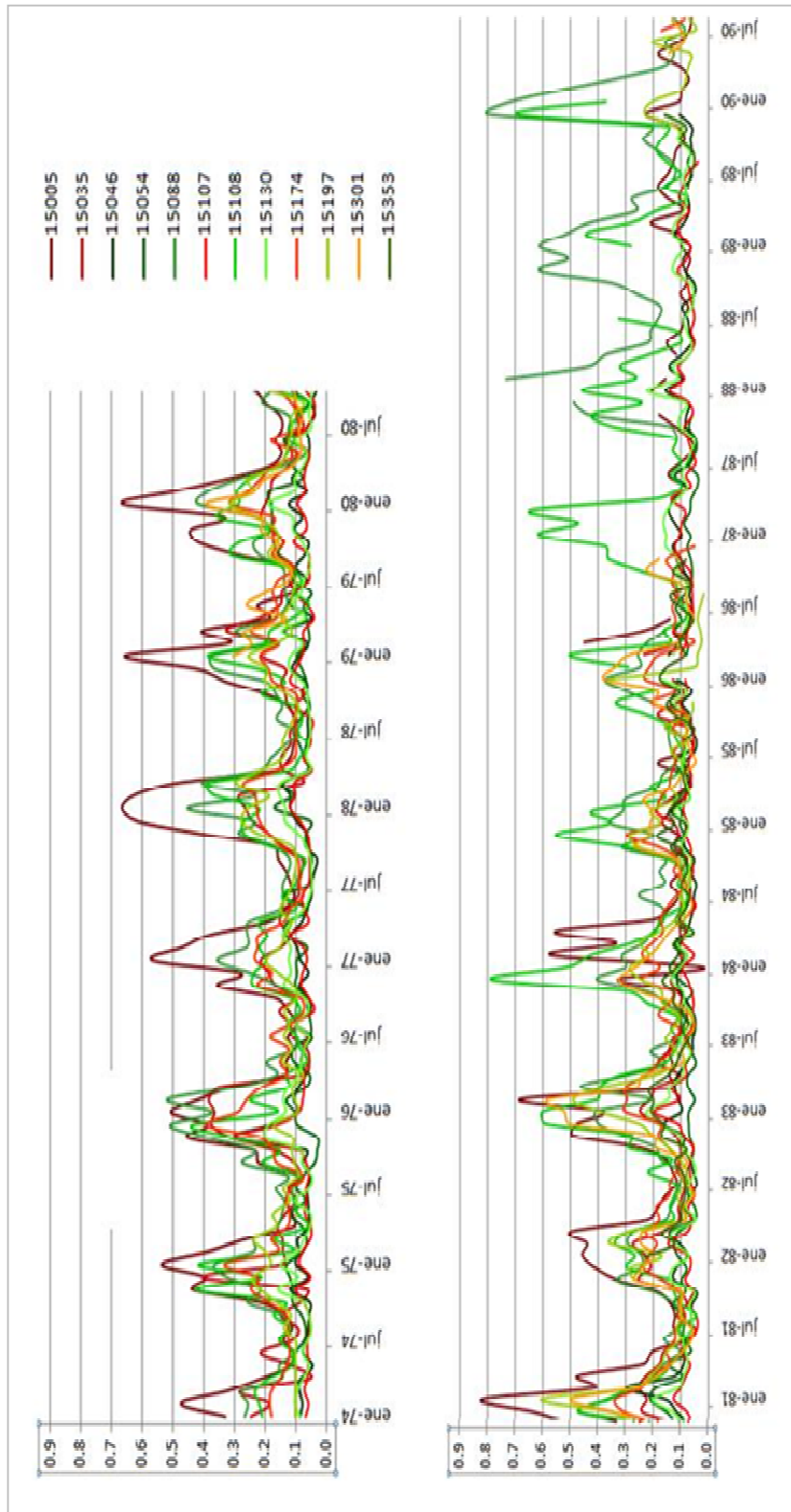


Figura 3.2. Coeficiente de variación. Datos de las estaciones del Estado de México.

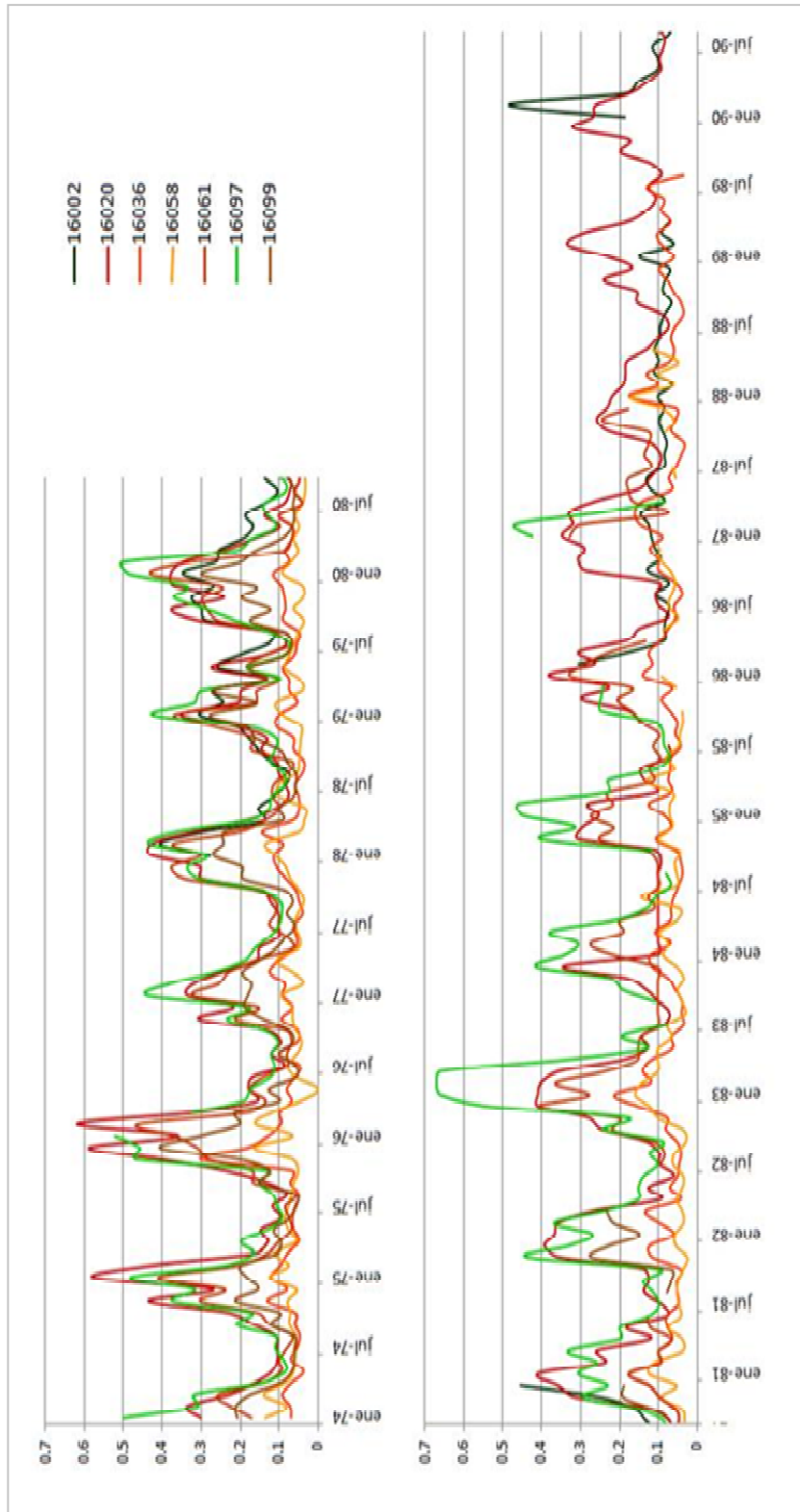


Figura 3.3. Coeficiente de variación. Datos de las estaciones de Michoacán.

La diferencia en el porcentaje de cubierta forestal de las áreas de influencia de cada una de las estaciones no se ve reflejada de forma clara en este coeficiente. Esto seguramente tiene relación con los requerimientos para la ubicación de las estaciones, ya que de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial; las estaciones deberían estar ubicadas en claros con vista completa del cielo, parcelas cubiertas por pastos o vegetación local de baja estatura y suficientemente lejos de árboles o edificios para que no sean afectadas por sus sombras o las cubran del viento (WMO, 2008). Es decir, aunque la cubierta forestal del área de influencia de 100 km² sea densa o no, el área cercana es prácticamente igual. Habrá que mencionar que en nuestro país, la mayoría de las estaciones climatológicas convencionales se localizan en áreas urbanas o rurales pero en vías de urbanización.

3.1.3 Análisis regional de la temperatura

De acuerdo con la CONANP (2001), la región presenta en general un clima Cw, templado subhúmedo con lluvias en verano, temperaturas medias anuales de 8° a 22°C, precipitaciones promedio desde 700 mm, hasta 1250 mm, y temperaturas mínimas para el mes más frío de entre -3° y 18°C. Este tipo de clima cambia en distancias relativamente cortas debido a la presencia de montañas, sierras y relieves escarpados; mismos que provocan importantes variaciones microclimáticas, las cuales se reflejan sobre todo en la humedad y la precipitación de la zona.

3.1.3.1 Temperatura media

Se graficaron los datos de las temperaturas media, máxima promedio y mínima promedio y después de un análisis visual previo, se pudo observar que los valores se concentraban en tres grupos. Considerando esto se definieron categorías de acuerdo con la altitud de cada una de las estaciones. La temperatura media en las estaciones oscila entre los 10.7°C y los 25.1°C, por lo que, de acuerdo con García (1997 y 2004), se encuentran climas desde semifríos hasta cálidos (tabla 3.1, figura 3.4).

Clave	Nombre	Altitud	Media Anual	Clima	Símbolo	Categoría
15107	SANTA BARBARA, STO. TOMAS	1152	24	Cálido	A	<1500
15201	TROJES, SANTIAGO TEMOAYA	1200	13	Templado	C	
16058	JUNGAPEO, JUNGAPEO	1430	24	Cálido	A	1500-1700
15035	IXTAPAN DEL ORO	1680	18	Semicálido	(A)C	
15046	PRESA COLORINES, (CFE)	1680	19	Semicálido	(A)C	1700-1900
15054	MALINALCO, MALINALCO	1740	21	Semicálido	(A)C	
16036	EL BOSQUE, ZITACUARO	1750	19	Semicálido	(A)C	
16099	PRESA TUXPAN, TUXPAN	1771	18	Semicálido	(A)C	1900-2100
15130	PSA. VALLE DE BRAVO, V.B.	1869	19	Semicálido	(A)C	
16020	CIUDAD HIDALGO (DGE)	2020	17	Templado	C	2100-2300
16061	LAGUNA DEL FRESNO	2070	17	Templado	C	
15108	SANTA MARIA DEL MONTE	2210	13	Templado	C	2300-2500
15301	TEXCALTITLAN D-7	2349	16	Templado	C	
16002	AGOSTILLAN, CD. HIDALGO	2380	14	Templado	C	2500-2700
16097	PSA. PUCUATO, CD. HIDALGO	2505	14	Templado	C	
15005	AMANALCO DE BECERRA, A.	2511	14	Templado	C	
15353	BUENAVISTA (ESTANCIA V.)	2576	18	Templado	C	< 2700
15088	SAN FRANCISCO OXTOTILPAN	2635	13	Templado	C	
16071	LOS AZUFRES, CD. HIDALGO	2800	11	Semifrío	C(b')	< 2700
15197	CUESTA DEL CARMEN, V.A.	2823	14	Templado	C	
15174	PALOS MANCORNADOS	2920	12	Semifrío	C(b')	

Tabla 3.1. Clasificación por tipo térmico, según García (2004).

Tanto en la tabla 3.1 como en la figura 3.4 llama la atención el comportamiento de la estación 15201 (Trojes), ya que la temperatura media anual registrada en todos los años de observación no corresponde con la altitud mencionada. Su temperatura media de 13°C, la clasifica como templada, pero por altitud debería corresponder con un clima cálido. Cabe recordar que esta estación presentó un comportamiento irregular en el CV, lo cual hace suponer que hay problemas en la calidad de su serie de datos ó en su localización.

Sin considerar la estación anterior, de manera general, podemos apreciar que en el periodo 1976-1986 el comportamiento de la temperatura media no presentó variaciones considerables, fue homogéneo. En cambio, para el periodo 1986-1992 las estaciones Amanalco de Becerra (15005) y Los Azufres, Cd. Hidalgo (16071), presentaron una variación considerable en la temperatura registrada. Asimismo en el periodo 1992-2000 y 2000-2003 la estación Cuesta del Carmen (15197) también mostró una variación mucho mayor que la mencionada anteriormente (figura 3.4).

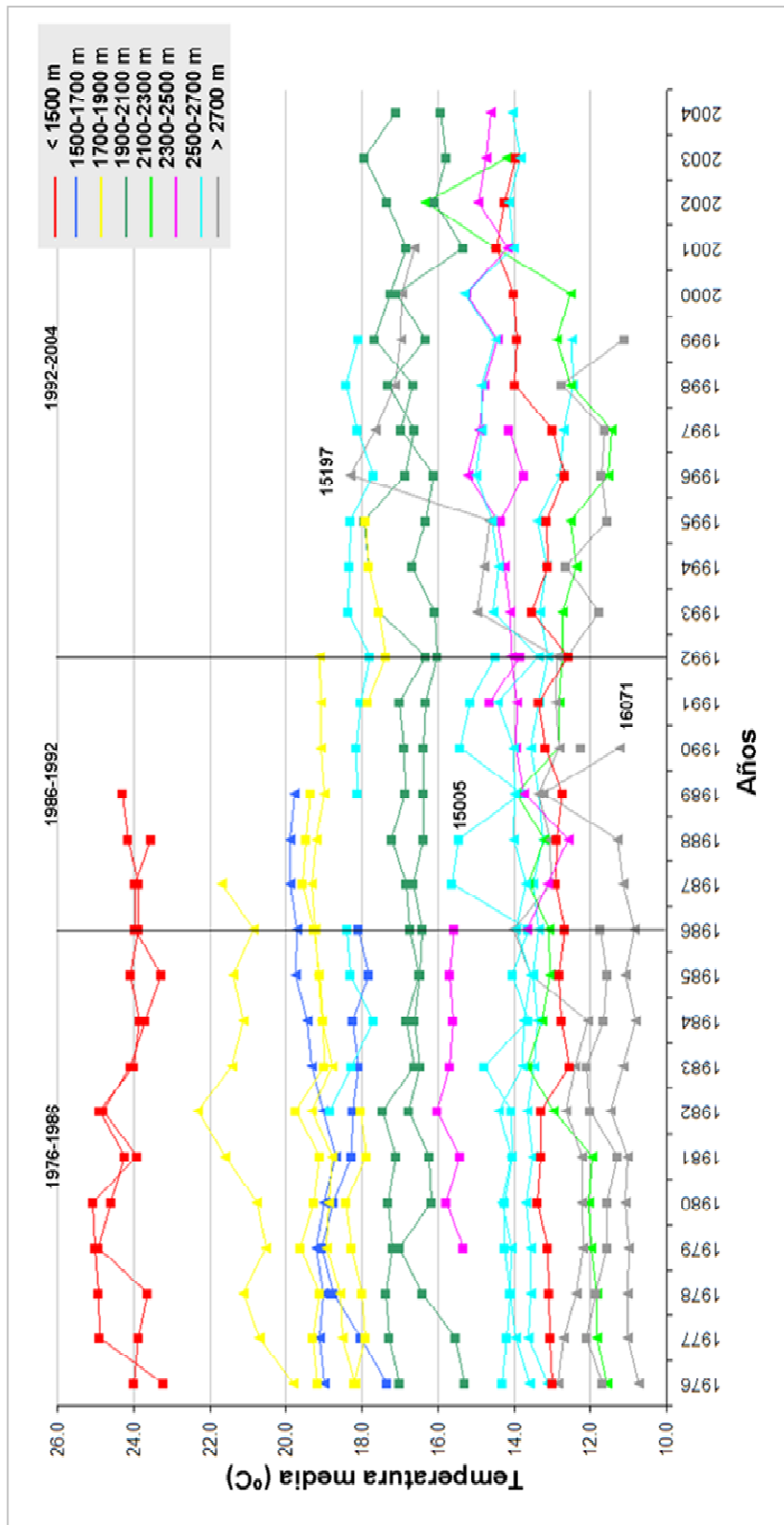


Figura 3.4. Gráfica del comportamiento de la temperatura media anual.

La ubicación y distribución de las estaciones podría tener influencia en el comportamiento de la temperatura media (figura 3.5). Asimismo, la estación Amanalco de Becerra (15005), se encuentra ubicada a los 2511m de altitud, dentro del área de influencia de ésta se encuentra una superficie forestal que disminuye 18.2% entre los años 1976 y 2003. La variación que muestra se da en el periodo 1986-1992, de acuerdo con la pérdida de superficie que tuvo (tabla 3.2), podemos decir que es probable éste sea el motivo.

Nombre	Estación	Altitud (m)	1976	1986	1993	2000	2003
Amanalco de Becerra A.	15005	2511	54.8	47.5	38.2	38.1	36.6
Cuesta del Carmen (V.A.)	15197	2823	44.5	44.1	43.8	43.3	42.5
Los Azufres, Cd. Hidalgo	16071	2800	73.0	71.6	70.0	65.4	63.1

Tabla 3.2. Cubierta forestal del área de influencia por estación, en porcentaje.

Por su parte las estaciones Los Azufres, Cd. Hidalgo (16071) y Cuesta del Carmen (15197) están ubicadas a los 2800 y 2823m de altitud respectivamente, la diferencia en la altitud que tienen es de 23m, de acuerdo con la variación del gradiente altitudinal que es de 0.6°C por cada 100m; las estaciones no deberían presentar diferencias en el comportamiento de los registros, sin embargo se observa un contraste que podría corresponder a la diferencia en la cubierta forestal que ambas tienen ó a un error en el momento de la toma de los registros de temperatura.

La cubierta forestal de estas estaciones se encuentra por encima del 40%, suficiente para considerarlas como estaciones con una masa forestal abundante y diferenciarlas de aquellas estaciones con una masa forestal escasa (menor a 40%); esta distinción aplicó para llevar a cabo las pruebas estadísticas que serán descritas en apartados posteriores.

Las estaciones presentan diferencias entre sí, las cuales se manifestaron como variaciones en los registros aunque no es posible afirmarlo ya que, al igual que la comparación anterior, pudiera deberse a un error en el momento de la toma del registro de temperatura ó a la ubicación del lugar donde se encuentran.

Finalmente, hay que señalar que al menos una de las tres estaciones (15005) tiene una pérdida constante de masa forestal en el periodo de 1976-2003, asimismo la altitud en la que se encuentra es aproximadamente 300m

menor a las restantes. Estas características podrían no verse reflejadas de forma considerable con respecto de las estaciones 15197 y 16071.

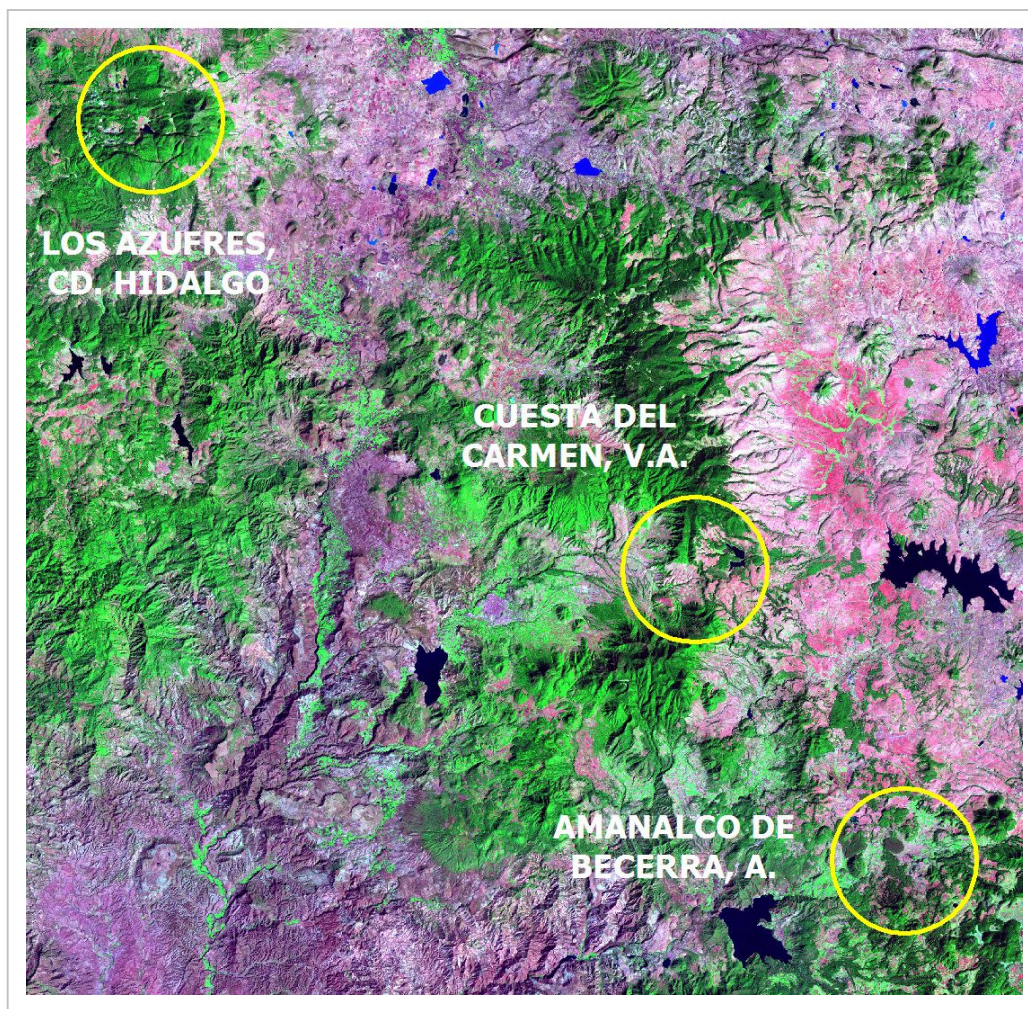


Figura 3.5. Estaciones con variación en los registros de temperatura media.

3.1.3.2 Temperatura máxima promedio

Al igual que en el caso anterior, los valores para esta variable fueron graficados considerando las mismas categorías (tabla 3.1). La temperatura máxima promedio oscila entre los 16.3°C y los 33.1°C (figura 3.6). Esta variable presenta variaciones considerables en cinco estaciones dentro del periodo 1976-2003.

Las estaciones Santa María del Monte (15108) ubicada a una altitud de 2210m, muestra variaciones en todos los periodos, y junto con la estación Cuesta del Carmen (15197), ubicada a los 2823m de altitud; son las que muestran una variación muy marcada respecto de todas las estaciones.

Las tres estaciones restantes son: Ciudad Hidalgo (16020) ubicada a los 2020m de altitud, Laguna del Fresno (16061), la cual se encuentra a los 2070m y, Presa Pucuate, Cd. Hidalgo (16097) localizada a los 2505m, todas tienen una variación importante en el periodo 1992-2003; su distribución puede observarse en la figura 3.7.

Asimismo en la figura 3.7 se pueden observar diferencias en cuanto a la cubierta forestal y los usos de suelo de las estaciones mencionadas. En dos de ellas, la estación Cd. Hidalgo DGE (16020) y Laguna Fresno (16061), tienen una superficie forestal menor al 10% en los años que comprende el periodo 1976-2003. Por su parte hay tres estaciones con una cubierta forestal mayor al 40%, estas son: Sta. María del Monte (15108), Cuesta del Carmen (15197) y, Psa. Pucuate, Cd. Hidalgo.

Las primeras dos estaciones tienen una variación en sus valores para el periodo 1992-2003, al observar el porcentaje de cubierta forestal que tienen no podemos deducir que esas variaciones puedan deberse a la pérdida de ésta, pues como se aprecia en la tabla 3.3 prácticamente durante todo el periodo ha sido mínima su superficie forestal.

Nombre	Estación	Altitud (m)	1976	1986	1993	2000	2003
Sta. María del Monte	15108	2210	47.2	46.3	46.3	45.9	45.8
Cuesta del Carmen (V.A.)	15197	2823	44.5	44.1	43.8	43.3	42.5
Cd. Hidalgo (DGE)	16020	2020	9.5	9.0	8.8	8.6	8.6
Laguna del Fresno	16061	2070	5.7	5.4	5.0	4.9	4.8
Psa. Pucuate, Cd. Hidalgo	16097	2505	63.6	63.0	61.4	61.3	61.1

Tabla 3.3. Porcentaje de cubierta forestal del área de influencia.

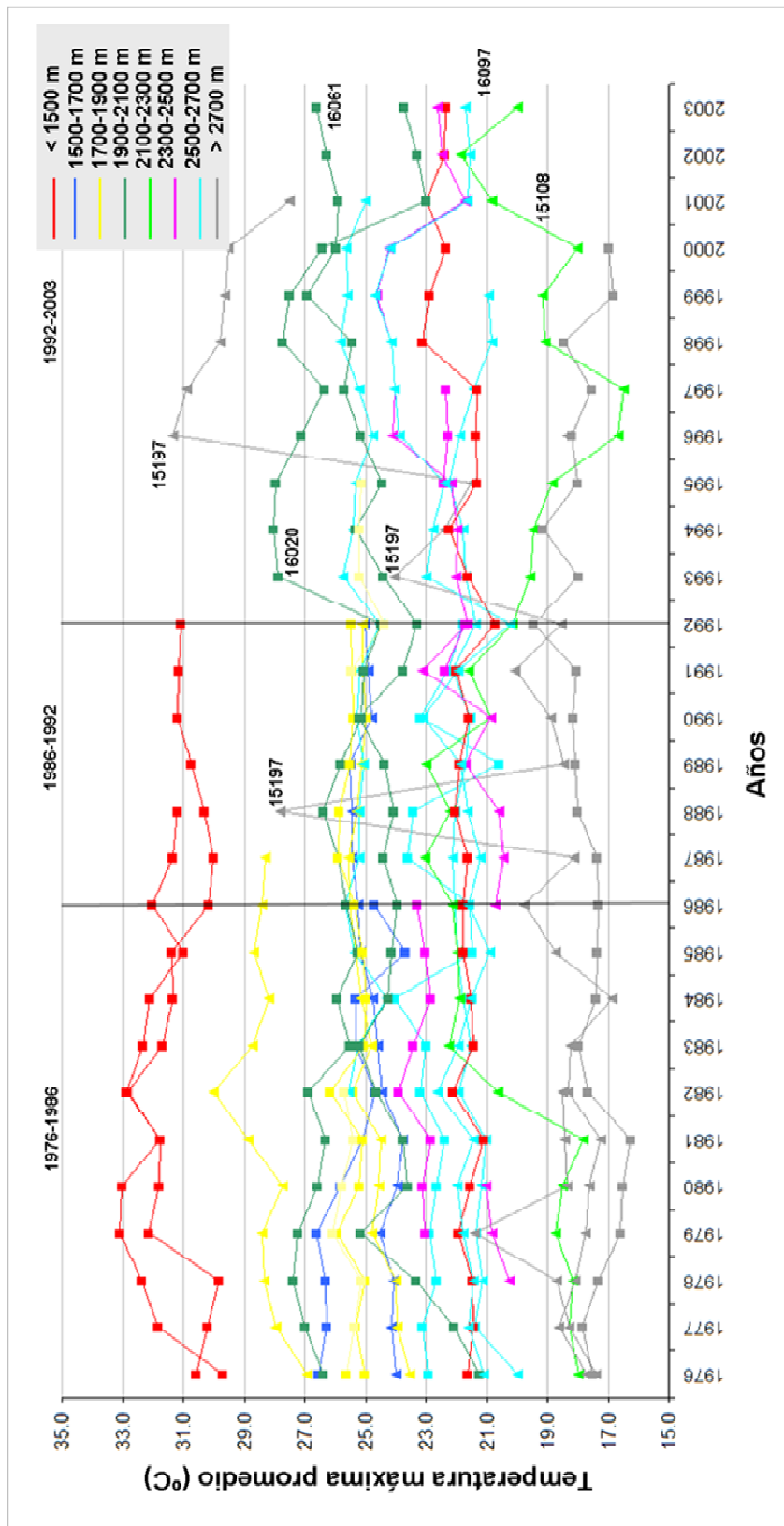


Figura 3.6. Gráfica del comportamiento de la temperatura máxima promedio.

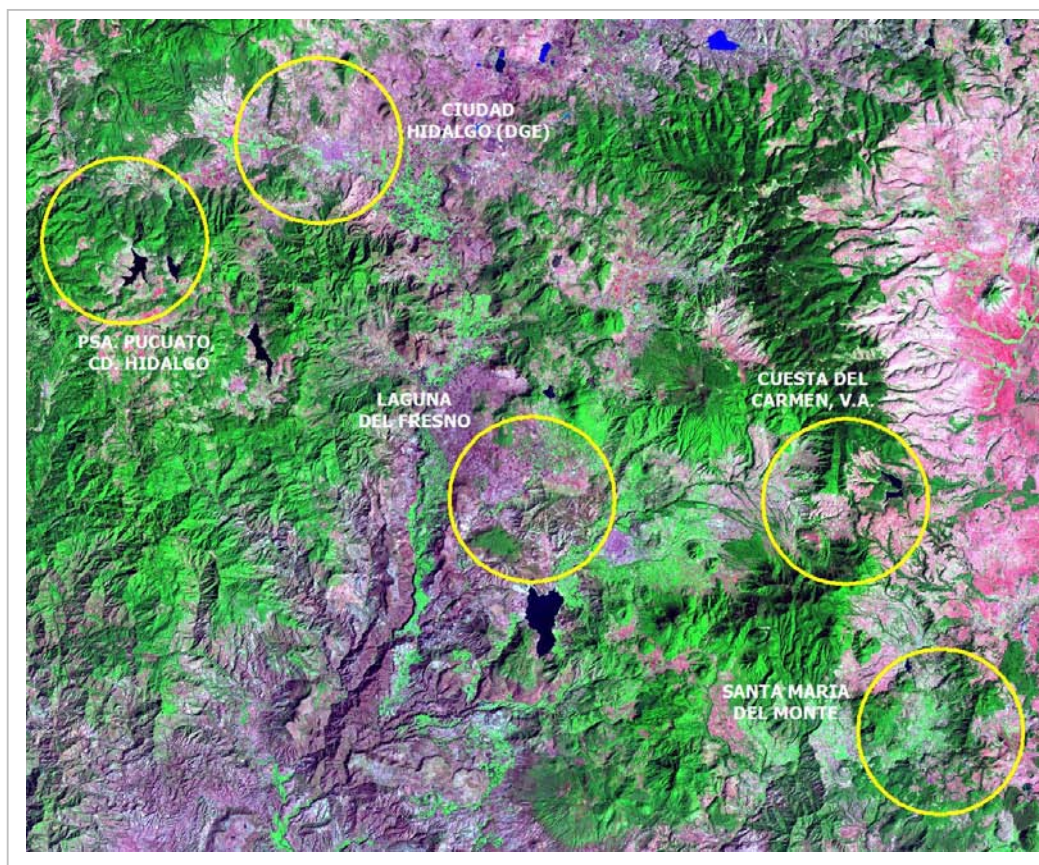


Figura 3.7. Estaciones con variación en la temperatura máxima promedio.

Por otro lado, las estaciones restantes, tienen una variación en el mismo periodo que el caso anterior, a excepción de la estación Cuesta del Carmen (15197) que además varía en el periodo 1986-1992; misma que puede deberse a errores al momento de tomar el registro.

De forma general podemos señalar que observar el comportamiento de la temperatura máxima promedio y compararlo con su porcentaje de cubierta forestal no permite asegurar que las variaciones de la temperatura se deban a un proceso de pérdida forestal; y más bien sea resultado de la calidad de la información que fue graficada e incluso a la orientación del sirio en donde esta se encuentra.

3.1.3.3 Temperatura mínima promedio

La temperatura mínima promedio oscila entre los 3.5°C y 18°C. Al graficar los datos de temperatura mínima promedio se observa que hay tres estaciones con ligeras variaciones en el periodo 1992-2003 y dos en el periodo 1986-1992 (figura 3.8). Las estaciones presentan una pérdida forestal en el periodo 1976-2003 (tabla 3.4), de las cinco, la estación Cd. Hidalgo (16020) es la que cuenta con menos superficie forestal y la que se encuentra ubicada a menor altitud respecto del resto; estas características que la diferencian del resto de las estaciones no implican esas ligeras variaciones en los registro de temperatura mínima. La distribución de las estaciones puede apreciarse en la figura 3.9.

Nombre	Estación	Altitud (m)	1976	1986	1993	2000	2003
Amanalco de Becerra A.	15005	2511	54.8	47.5	38.2	38.1	36.6
Cuesta del Carmen (V.A.)	15197	2823	44.5	44.1	43.8	43.3	42.5
Agostillan, Cd. Hidalgo	16002	2380	55.8	52.4	50.2	49.8	49.5
Cd. Hidalgo (DGE)	16020	2020	9.5	9.0	8.8	8.6	8.6
Psa. Pucuateo, Cd. Hidalgo	16097	2505	63.6	63.0	61.4	61.3	61.1

Tabla 3.4. Porcentaje de la cubierta forestal en el área de influencia.

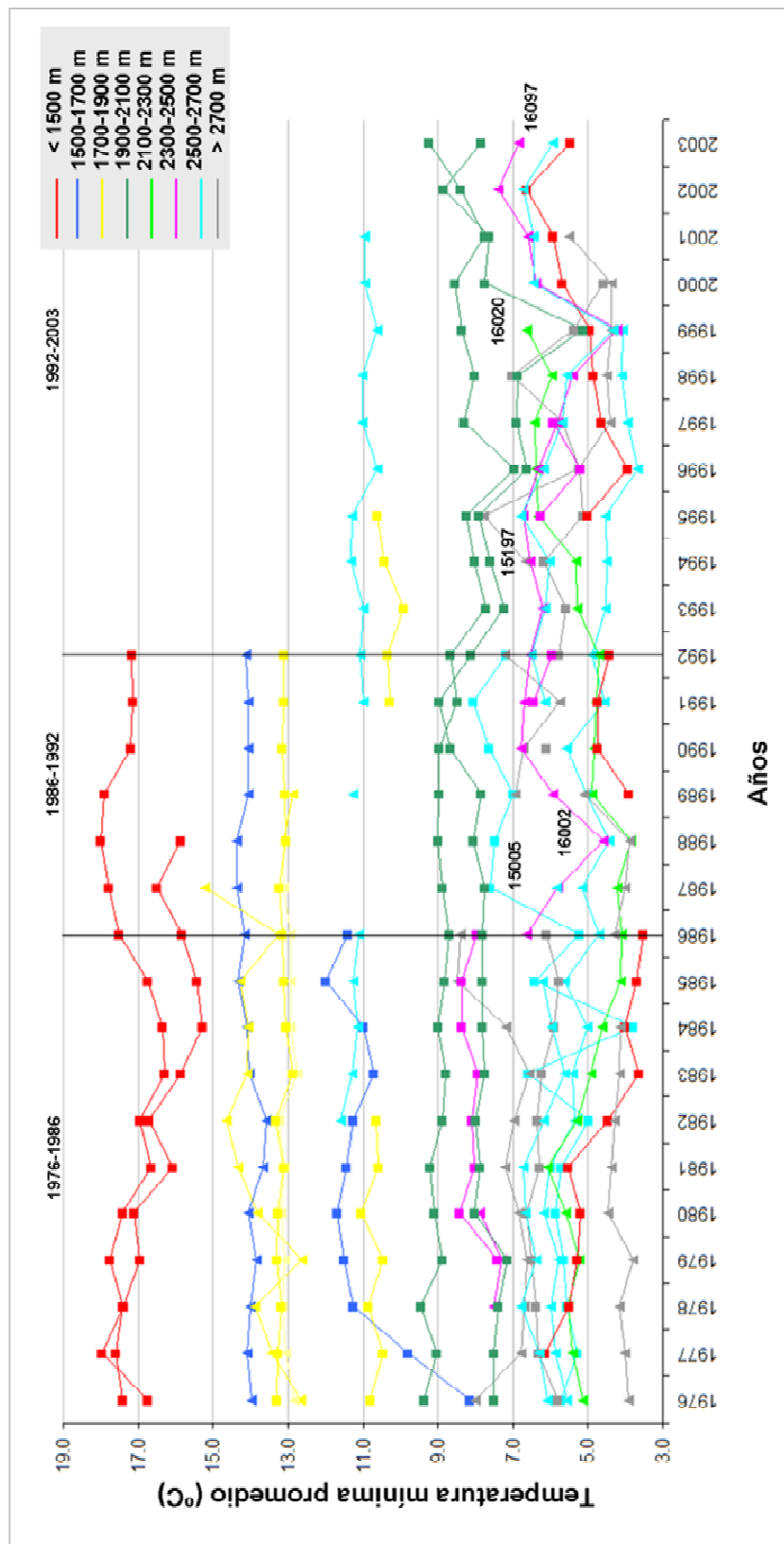


Figura 3.8. Gráfica del comportamiento de la temperatura mínima promedio.

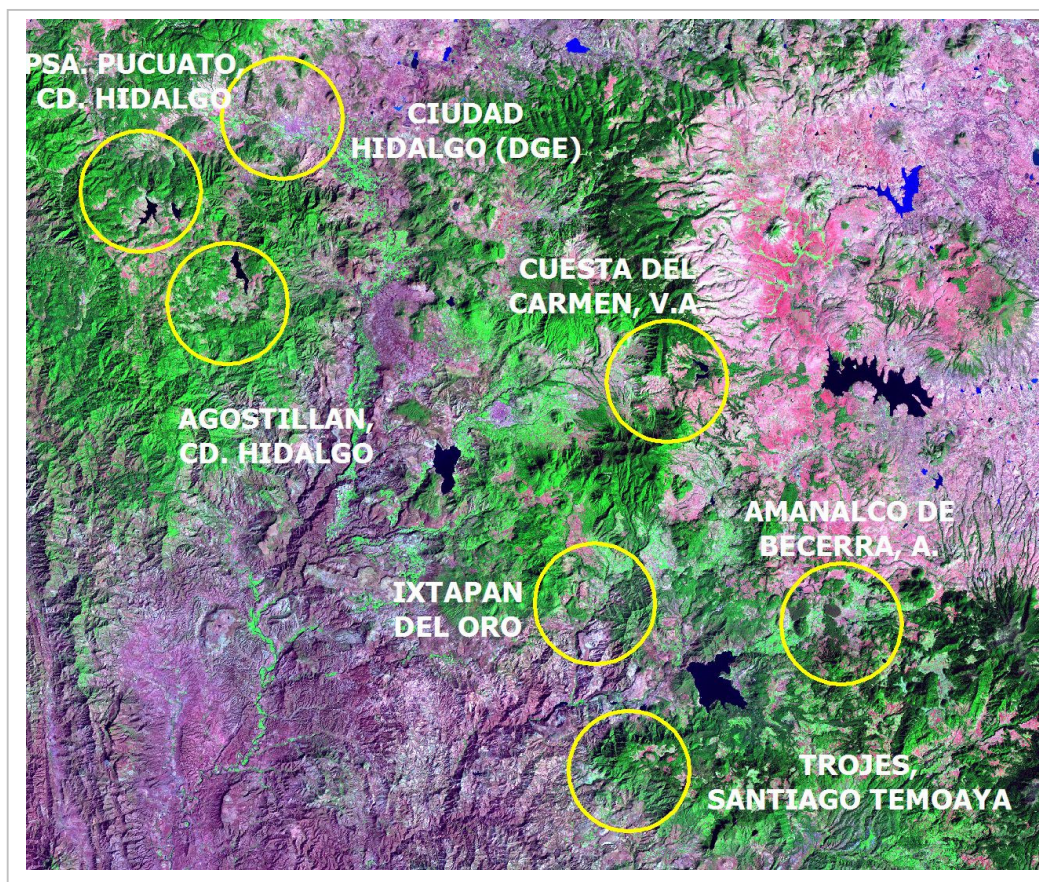


Figura 3.9. Estaciones con variación en la temperatura mínima promedio.

3.1.3. Gradiente térmico altitudinal

Los valores del gradiente térmico nos indican la discriminación de la temperatura por cada 100 metros que se asciende en altitud. Un problema medular es la ubicación de los equipos, los cuales fueron colocados en sitios en donde predomina el uso de suelo agrícola, dejando de lado aquellas zonas con vocación forestal y resultando en la adquisición de datos que no son del todo aplicables a las características de este tipo de zonas.

Las estaciones que fueron utilizadas se encuentran en un rango altitudinal que va de los 1152 a los 2920 metros de altitud. A partir del análisis de calidad de los datos, se consideraron sólo aquellas estaciones con un periodo mayor de registro y sin huecos (o un número insignificante de ellos),

para tratar de cubrir todo el rango altitudinal disponible. De esta forma, el gradiente altitudinal se calculó a partir sólo de ocho estaciones (tabla 3.5).

Clave	Nombre	Altitud (m)
15107	Santa Bárbara, Sto. Tomás	1152
16058	Jungapeo, Jungapeo	1430
15054	Malinalco, Malinalco	1740
16020	Ciudad Hidalgo (DGE)	2020
16061	Laguna del Fresno	2070
16002	Agostitlan, Cd. Hidalgo	2380
16097	Presa Pucato, Cd. Hidalgo	2505
16071	Los Azufres, Cd Hidalgo	2800

Tabla 3.5. Estaciones seleccionadas para el cálculo del gradiente térmico.

Los resultados muestran valores de gradiente altitudinal por encima de lo sugerido en la literatura. Tanto en los valores medios, como para los valores máximos y mínimos se obtuvo, en promedio, un gradiente altitudinal que indica una disminución de 0.8°C por cada 100 metros de elevación (tabla 3.6).

Mes	Media	Máxima	Mínima
Enero	0.95	0.89	1.02
Febrero	0.97	0.92	1.02
Marzo	0.95	0.90	1.01
Abril	0.97	0.93	0.99
Mayo	0.90	0.89	0.91
Junio	0.79	0.78	0.79
Julio	0.72	0.71	0.72
Agosto	0.73	0.73	0.71
Septiembre	0.71	0.72	0.69
Octubre	0.80	0.80	0.08
Noviembre	0.88	0.83	0.92
Diciembre	0.91	0.86	0.96
Promedio	0.86	0.83	0.82

Tabla 3.6. Gradiente térmico en °C por cada 100 metros de altitud.

3.1.4 Cubierta forestal del área de influencia

En cada una de las fechas consideradas, se identificó la cubierta forestal del área de influencia (100 km²) para las 21 estaciones climatológicas seleccionadas, tanto en hectáreas como en porcentaje (figura 3.10). Estos datos de superficie de cubierta forestal sirvieron para determinar la tasa de cambio para los periodos 1976-1985, 1986-1992, 1993-1999 y 2000-2003.

En el área de influencia de todas las estaciones, se observa una variación de la superficie forestal que presentan. En el año 1976, de las 21 estaciones, 14 (66%) tenían un porcentaje de superficie forestal menor al 50%. El resto de las estaciones, presentaban cubierta forestal en más de la mitad de su superficie, siendo la estación Los Azufres (16071) la que mayor cubierta forestal presentaba con 73%. Le siguen las estaciones Presa Pucuato (16097) y Malinalco (15054) con el 63.5 y 61.5% respectivamente.

Para el año 1986, la cantidad de estaciones con más del 50% de masa forestal en su área de influencia disminuyó a 6, una menos que la fecha anterior. Las dos que alcanzan una mayor superficie forestal son las estaciones Los Azufres (16071) y Presa Pucuato (16097), con 71.6 y 63.0% respectivamente.

En el año 1993, la cantidad de estaciones con más del 50% de cubierta forestal continuó disminuyendo, en este año solamente 5 de un total de 21 cumplen con esta característica. Las estaciones Los Azufres (16071) y la Pucuato (16097) a pesar de haber perdido masa forestal continúan siendo las que tienen la mayor cubierta boscosa. Las tres restantes tienen una cubierta del 50.2, 50.7 y 54.2% y son las estaciones 16002, 15046 y la 15054 respectivamente. En lo que respecta al año 2000, solamente tres estaciones cuentan con una cubierta forestal superior al 50%; éstas estaciones son de nueva cuenta: Los Azufres (16071), Pucuato (16097) y Malinalco (15054) con porcentajes del 65.4, 61.3 y 54.1% respectivamente. Finalmente para el año 2003, aunque disminuyó la masa forestal de las estaciones mencionadas continuaron siendo las que tenían una superficie mayor al 50%.

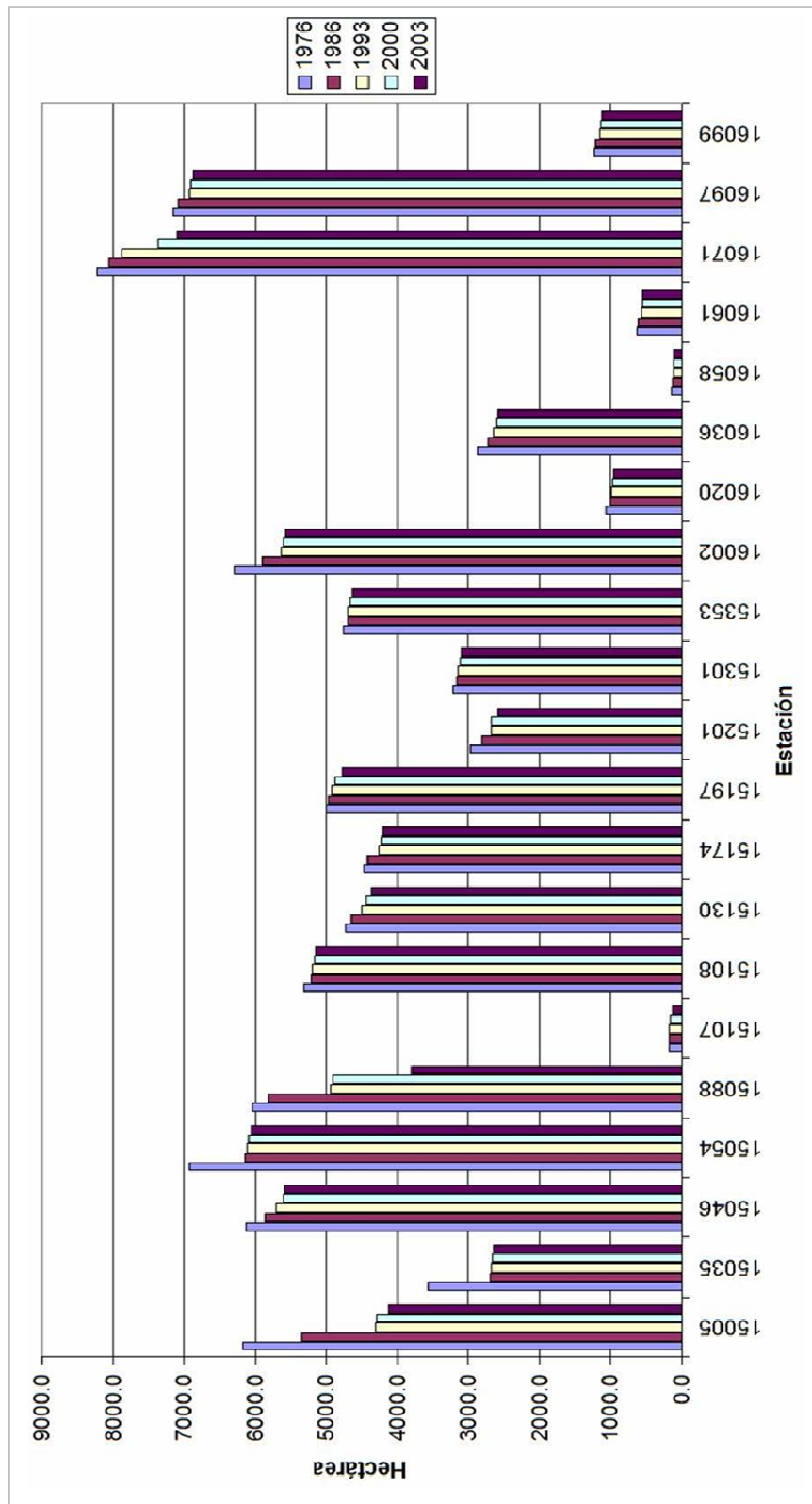


Figura 3.10. En la figura se observa que durante los cinco años del periodo de estudio la superficie forestal siempre disminuye.

Es necesario destacar que de las 21 estaciones seleccionadas para el análisis, solamente tres conservaron una cubierta forestal superior al 50% de su superficie durante las cinco fechas de análisis. Estas estaciones representan tan sólo el 14.28% de estaciones analizadas. Además, en dos estaciones la superficie boscosa total, en los mismos años no rebasó el 1.6%. En la tabla 3.7 se presenta en porcentaje la superficie forestal de las estaciones en los cinco periodos del estudio.

Nombre	Estación	Altitud (m)	1976	1986	1993	2000	2003
Amanalco de Becerra A.	15005	2511	54.8	47.5	38.2	38.1	36.6
Ixtapan del Oro	15035	1680	31.7	24.0	23.9	23.6	23.6
Presa Colorines (CFE)	15046	1680	54.4	52.1	50.7	49.8	49.7
Malinalco, Malinalco	15054	1740	61.5	54.6	54.2	54.1	53.9
San Francisco Oxtotilpan	15088	2635	53.8	51.8	43.8	43.6	33.8
Sta. Bárbara, Sto. Tomás	15107	1152	1.6	1.6	1.6	1.5	1.1
Sta. Maria del Monte	15108	2210	47.2	46.3	46.3	45.9	45.8
Psa. Valle de Bravo (V.B.)	15130	1869	42.0	41.2	40.1	39.4	38.9
Palos Mancornados	15174	2920	39.7	39.2	37.9	37.5	37.4
Cuesta del Carmen (V.A.)	15197	2823	44.5	44.1	43.8	43.3	42.5
Trojes, Santiago Temoaya	15201	1200	26.4	24.9	23.8	23.8	22.9
Texcaltitlan (D-7)	15301	2349	28.6	28.2	28.0	27.7	27.6
Buenavista (Estancia V.)	15353	2576	42.3	41.7	41.7	41.4	41.2
Agostillan, Cd. Hidalgo	16002	2380	55.8	52.4	50.2	49.8	49.5
Cd. Hidalgo (DGE)	16020	2020	9.5	9.0	8.8	8.6	8.6
El Bosque, Zitacuaro	16036	1750	25.5	24.3	23.5	23.1	23.0
Jungapeo, Jungapeo	16058	1430	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0
Laguna del Fresno	16061	2070	5.7	5.4	5.0	4.9	4.8
Los Azufres, Cd. Hidalgo	16071	2800	73.0	71.6	70.0	65.4	63.1
Psa. Pucuatedo, Cd. Hidalgo	16097	2505	63.6	63.0	61.4	61.3	61.1
Psa. Tuxpan, Tuxpan	16099	1771	10.9	10.8	10.3	10.1	10.0

Tabla 3.7 Cubierta forestal del área de influencia por estación, en porcentaje.

3.1.5 Tasa de cambio de la cubierta forestal

Una vez obtenida el área forestal para cada una de las fechas se calculó la tasa de cambio que cada una de las estaciones presentó durante los cuatro periodos antes mencionados.

Para el periodo 1976-1985, el 19% de las estaciones tuvieron una tasa de cambio mayor al 1%; estas estaciones son: Amanalco de Becerra (15005) con una tasa de 1.4%, la estación 15054 Malinalco, con 1.2% y la estación con clave 16058, llamada Jungapeo con 1.1%. Por su parte la estación con una tasa de cambio mayor fue la 15035 Ixtapan del Oro con el 2.7%.

Durante el periodo 1986-1992 las estaciones que presentaron una tasa de cambio superior al 1% fueron de nueva cuenta, la estación 15005 Malinalco con el 3.1%, la cual fue superior respecto del periodo anterior lo que podría indicar una mayor presión hacia el recurso por parte de la población de las localidades aledañas. Por su parte la estación 15088 San Francisco Oxtotilpan, tuvo tasa del 2.3%. Estas dos estaciones fueron las que mayor tasa de cambio presentaron para este año. Dos estaciones más, 16058 Jungapeo y 16061 Laguna del Fresno tuvieron una tasa de cambio del 1.5 y 1.1%.

En lo que respecta al periodo 1993-1999, solamente una estación, Los Azufres 16071 tuvo una tasa de cambio del 1%. El resto presentó tasas que no son representativas respecto de los periodos anteriores, estas fueron de entre el 0.04 y 0.5%. En este periodo hay que resaltar el hecho que la pérdida en la masa forestal no fue tan marcada en comparación con los demás periodos debido quizás a que diversas áreas que fueron deforestadas en los periodos anteriores, para éste, tuvieron cierto grado de regeneración, e incluso a que existió mayor vigilancia de las mismas.

Finalmente, el periodo 2000-2003 presenta una tasa de cambio mayor a 1% en cuatro de las 21 estaciones, aunque es de resaltar el hecho que dos de ellas rebasan el 6% en la tasa. Estas estaciones son: San Francisco Oxtotilpan (15088) y Santa Bárbara Sto. Tomás (15107), las cuales tuvieron una tasa del 6.2 y 6.5 respectivamente. Mientras que las estaciones Amanalco (15005) y Jungapeo (16058) tuvieron una tasa del 1.0 y 1.4%.

De lo anterior resulta que dos de las 21 estaciones, Amanalco (15005) y Jungapeo (16058) presentaron pérdida forestal que varía del 1 al 3.1% durante los cuatro periodos; sin embargo la estación 16058 es una de las dos que presentaron una cubierta forestal mínima respecto de las demás estaciones.

Por otro lado, solamente la estación San Francisco Oxtotilpan (15088) presentó pérdida forestal en dos de los cuatro periodos (1986-1993 y 2000-2003), ésta es una de las estaciones que tuvieron la tasa de cambio más grande registrada dentro de los cuatro periodos. Tres estaciones más, Laguna del Fresno (16061), Los Azufres 16071 y Santa Bárbara Santo Tomás (15107) presentaron cambios superiores al 1% tan sólo en uno de los cuatro periodos,

la estación 15107 tuvo la mayor tasa de cambio de todas las que fueron mencionadas con 6.5% en el periodo 2000-2003, aunque debe aclararse que también es una de las estaciones con menor cubierta forestal. La tabla 3.8 muestra la tasa de cambio para el total de estaciones analizadas.

Para ejemplificar las tasas de cambio más notables en los cuatro periodos se muestran las imágenes de dos estaciones. En primer plano tenemos la estación San Francisco Oxtotilpan (15088), la cual, presentó pérdida forestal en dos de los cuatro periodos (1986-1993 y 2000-2003), con una tasa de cambio dentro de los cuatro periodos de 6.2% (figura 3.11). Cabe recalcar que dentro del área de influencia de esta estación, durante el invierno se encuentra una colonia de mariposas monarca no protegida oficialmente.

Nombre	Estación	Altitud (m)	76-86	86-93	93-00	00-03
Amanalco de Becerra A.	15005	2511	-1.4	-3.1	0.0	-1.0
Ixtapan del Oro	15035	1680	-2.7	-0.1	-0.1	0.0
Presa Colorines (CFE)	15046	1680	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1
Malinalco, Malinalco	15054	1740	-1.2	-0.1	0.0	-0.1
San Francisco Oxtotilpan	15088	2635	-0.4	-2.3	-0.1	-6.2
Sta. Bárbara, Sto. Tomás	15107	1152	0.0	-0.7	-0.6	-6.5
Sta. Maria del Monte	15108	2210	-0.2	0.0	-0.1	0.0
Psa. Valle de Bravo (V.B.)	15130	1869	-0.2	-0.4	-0.2	-0.3
Palos Mancornados	15174	2920	-0.1	-0.5	-0.1	-0.1
Cuesta del Carmen (V.A.)	15197	2823	-0.1	-0.1	-0.2	-0.5
Trojes, Santiago Temoaya	15201	1200	-0.6	-0.7	0.0	-0.9
Texcaltitlan (D-7)	15301	2349	-0.2	-0.1	-0.2	0.0
Buenavista (Estancia V.)	15353	2576	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
Agostillan, Cd. Hidalgo	16002	2380	-0.6	-0.6	-0.1	-0.1
Cd. Hidalgo (DGE)	16020	2020	-0.6	-0.2	-0.4	-0.1
El Bosque, Zitacuaro	16036	1750	-0.5	-0.5	-0.2	-0.2
Jungapeo, Jungapeo	16058	1430	-1.1	-1.5	-0.5	-1.4
Laguna del Fresno	16061	2070	-0.5	-1.1	-0.3	-0.5
Los Azufres, Cd. Hidalgo	16071	2800	-0.2	-0.3	-1.0	-0.9
Psa. Pucuateo, Cd. Hidalgo	16097	2505	-0.1	-0.4	0.0	-0.1
Psa. Tuxpan, Tuxpan	16099	1771	-0.1	-0.7	-0.2	-0.3

Tabla 3.8. Tasa de Cambio de cubierta forestal en porcentaje.

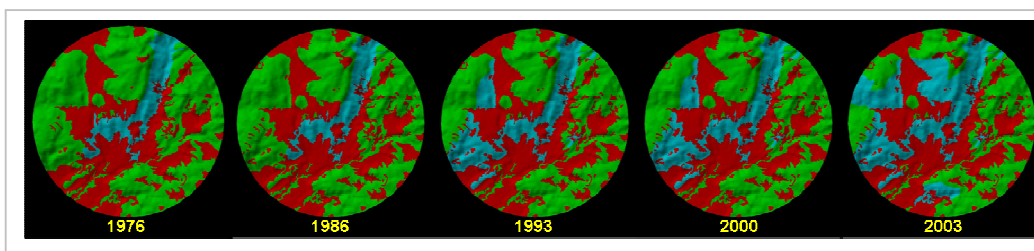


Figura 3.11 Estación San Francisco Oxtotilpan. En color verde se representa la clase forestal, en rojo la clase no forestal y en azul, aquellos sitios con vegetación secundaria.

Por su parte la estación Santa Bárbara (15107), aunque presentó la tasa de cambio más amplia, la estación presenta una cubierta forestal muy escasa; ésta es apenas del 1.5 y 1.1% durante el periodo en donde presentó la tasa de cambio mencionada (2000-2003) (figura 3.12).

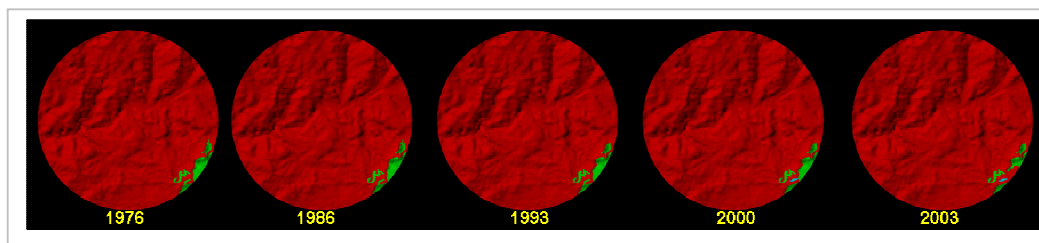


Figura 3.12 Estación Santa Bárbara. En verde se representa la clase forestal y en rojo la clase no forestal.

3.1.6 Relación deforestación - temperatura

3.1.6.1 Análisis de regresión

El análisis de la relación entre la deforestación a nivel regional y el clima se llevó a cabo a través de la estimación de la varianza y la media de los datos de las variables climáticas en todos los periodos, junto con la tasa cambio para cada uno de ellos.

Se realizaron un total de 32 análisis entre las medias y varianzas de la temperatura máxima promedio, temperatura mínima promedio, temperatura media y precipitación con la tasa de deforestación calculada (tabla 3.9). Hay que recordar que la variable precipitación solamente fue utilizada para este análisis. Los resultados muestran que solamente 2 de las 32 regresiones son significativas, lo que indica que en la mayoría de los casos no existe correlación entre las variables climáticas medidas y las tasas de cambio en la cubierta forestal.

Se dice que la correlación es significativa cuando los valores de "p" son menores a 0.05. En este sentido, los valores en las correlaciones que resultaron significativas fueron de 0.002 y 0.006. De esta forma tenemos que las únicas relaciones significativas fueron la varianza de la precipitación para el periodo

1976-1986 (tabla 3.10) y en la varianza de las temperaturas máximas promedio para el periodo 2000-2003 (tabla 3.11).

ESTACIN	MINPROMP1	MINVARP1	MEDPROMP1	MEDVARP1	MAXPROMP1
MAXVARP1	PPPROMP1	PPVARP1	MINPROMP2	MINVARP2	MEDPROMP2
MEDVARP2	MAXPROMP2	MAXVARP2	PPPROMP2	PPVARP2	MINPROMP3
MINVARP3	MEDPROMP3	MEDVARP3	MAXPROMP3	MAXVARP3	PPPROMP3
PPVARP3	MINPROMP4	MINVARP4	MEDPROMP4	MEDVARP4	MAXPROMP4
MAXVARP4	PPPROMP4	PPVARP4	CAMBIO1	CAMBIO2	CAMBIO3
CAMBIO4	CAMBIO1TR	CAMBIO2TR	CAMBIO3TR	CAMBIO4TR	MINVARP1TR
MEDVARP1TR	MAXVARP1TR	PPMEDP1TR	PPVARP1TR	MINVARP2TR	MEDVARP2TR
MAXVARP2TR	PPMEDP2TR	PPVARP2TR	MINVARP3TR	MEDVARP3TR	MAXVARP3TR
PPMEDP3TR	PPVARP3TR	MINVARP4TR	MEDVARP4TR	MAXVARP4TR	PPMEDP4TR
PPVARP4TR	CONTROL				

Tabla 3.9. Variables usadas para el análisis de regresión lineal.

Dep Var: PPVARP1TR N: 20 Multiple R: 0.642 Squared multiple R: 0.413						
Adjusted squared multiple R: 0.380 Standard error of estimate: 5.066						
Effect	Coefficient	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2 Tail)
CONSTANT	7.030	2.259	0.000	.	3.112	0.006
CAMBIO1TR	10.738	3.019	0.642	1.000	3.556	0.002
<u>Analysis of Variance</u>						
Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P	
Regression	324.620	1	324.620	12.648	0.002	
Residual	461.968	18	25.665			
*** WARNING ***						
Case	2	has large leverage (Leverage =		0.413)		
Durbin-Watson D Statistic		2.550				
First Order Autocorrelation		-0.298				

Tabla 3.10. Varianza de la precipitación para el periodo 1976-1986.

El coeficiente de correlación de Pearson, es una prueba que se utiliza para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón. Se simboliza “r” y ésta nos indica qué tanto se ajusta la correlación, cuando esta variable es igual a cero, se dice que las variables no están correlacionadas sin embargo si el valor es diferente a cero las variables se encontrarán correlacionadas.

La prueba considera a una de las variables como independiente y a la otra como dependiente. El coeficiente de correlación de Pearson se calcula a partir de las puntuaciones obtenidas en una muestra de dos variables. Se relacionan las puntuaciones obtenidas de una variable con las puntuaciones de la otra, con los mismos casos.

```

15 case(s) deleted due to missing data.
Dep Var: MAXVARP4TR  N: 6  Multiple R: 0.935  Squared multiple R: 0.874
Adjusted squared multiple R: 0.842  Standard error of estimate: 0.232

```

Effect	Coefficient	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2 Tail)
CONSTANT	1.927	0.196	0.000	.	9.857	0.001
CAMBIO4TR	-1.652	0.314	-0.935	1.000	-5.267	0.006

```

Analysis of Variance

```

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
Regression	1.487	1	1.487	27.743	0.006
Residual	0.214	4	0.054		

```

*** WARNING ***
Durbin-Watson D Statistic      2.694
First Order Autocorrelation    -0.382

```

Tabla 3.11. Varianza de la temperatura máxima promedio, periodo 2000-2003.

De acuerdo con Hernández (et al., 2006), y considerando que los datos presentaron una relación significativa, se tiene que en el caso de la varianza de la precipitación el valor de “r” es 0.380. Este valor nos indica que existe una correlación positiva media entre las dos variables. Mientras que para la temperatura máxima promedio el valor de “r” es de 0.842 lo que indica que la correlación entre las variables es positiva muy fuerte.

3.1.6.2 Prueba de hipótesis

Para llevar a cabo la siguiente prueba de hipótesis se utilizó el promedio de cada variable de temperatura para dos estaciones con mayor y menor superficie de cubierta forestal. Las estaciones utilizadas son 16097 y 16061 (figura 3.13).

La hipótesis que se siguió es que existe una diferencia significativa entre los valores medios de la estación con una superficie forestal importante (60%), y una estación con una superficie forestal mínima; lo cual, se vería reflejado en los registros de la temperatura media (Tm), temperatura máxima promedio (Tmaxp) y temperatura mínima promedio (Tminp).

Se realizó la prueba mencionada para las tres variables, considerando a los periodos como las repeticiones se calcularon las “t” respectivas y se comparó con la “t” de tablas para 3 grados de libertad; obteniéndose los siguientes resultados:

Para la variable temperatura máxima promedio (T_{maxp}) el valor de la “t” calculada fue menor al de tablas (1.54), de esta forma se desecha la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula; los valores son similares. Mientras que para las variables temperatura media (T_m) y temperatura mínima promedio (T_{minp}) el valor de la “t” calculada fue mayor al de tablas (8.51 y 8.31) respectivamente; por lo que se acepta la hipótesis alterna ya que sí existe una diferencia significativa entre sus valores medios.

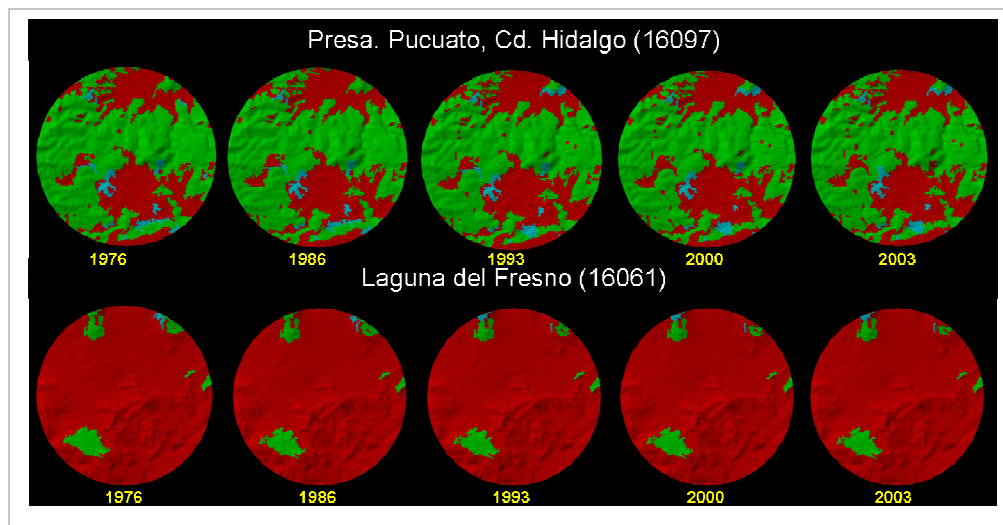


Figura 3.13. Estaciones consideradas para la prueba de hipótesis. En color verde se representa la clase forestal, en rojo la clase no forestal y en azul, aquellos sitios con vegetación secundaria.

Los resultados de esta prueba indican una diferencia en dos de las cuatro variables analizadas. Las dos estaciones analizadas bajo esta prueba de hipótesis tienen una diferencia obvia en la superficie forestal que presentan y los resultados en las variables T_m y T_{minp} ; demuestran que sí existen diferencias entre los valores medios de una y otra estación.

3.2 Aproximación local

3.2.1 Coeficiente de variación de registros locales

Además del análisis regional con las bases de datos de la red de registro meteorológico nacional, se llevó a cabo un análisis local utilizando nuestros propios dispositivos de registro, con la finalidad de conocer el comportamiento de la temperatura en ambientes propiamente forestales.

Este análisis se aplicó sobre los datos de temperatura registrada por ocho higrotermómetros situados en un transecto sobre la ladera sur de Cerro Pelón, entre los 2480 y 3340 metros de altitud. La densidad del arbolado se calculó para dos áreas de influencia distintas, de una y cinco hectáreas, obteniendo valores de densidad entre 36 y 96% de cobertura (Alvarado, 2008).

Los valores del coeficiente de variación de los registros de los higrotermómetros, se sitúan de forma compacta en los meses de la época de lluvias. En este periodo el coeficiente de variación diaria oscilan entre 0.0 y 0.5, mientras que el coeficiente mensual lo hace entre 0.15 y 0.30 (figuras 3.14 y 3.15).

Durante la época de secas (octubre-abril) la mayoría de los valores siguen relativamente compactos, excepto el valor que corresponde al sitio con menor cobertura de arbolado. En este punto se llegaron a estimar coeficientes de variación diarios superiores a 1 y mensuales de hasta 0.65, lo cual presenta valores altos en comparación con el resto de los sitios (figuras 3.14 y 3.15).

Estos valores altos en el coeficiente se deben a que el sitio en donde se ubicó el higrotermómetro se encuentra desprovisto de vegetación; lo que origina que al no existir cubierta forestal que ayude a regular la humedad de ese sitio ésta se evapore por la incidencia de la radiación solar.

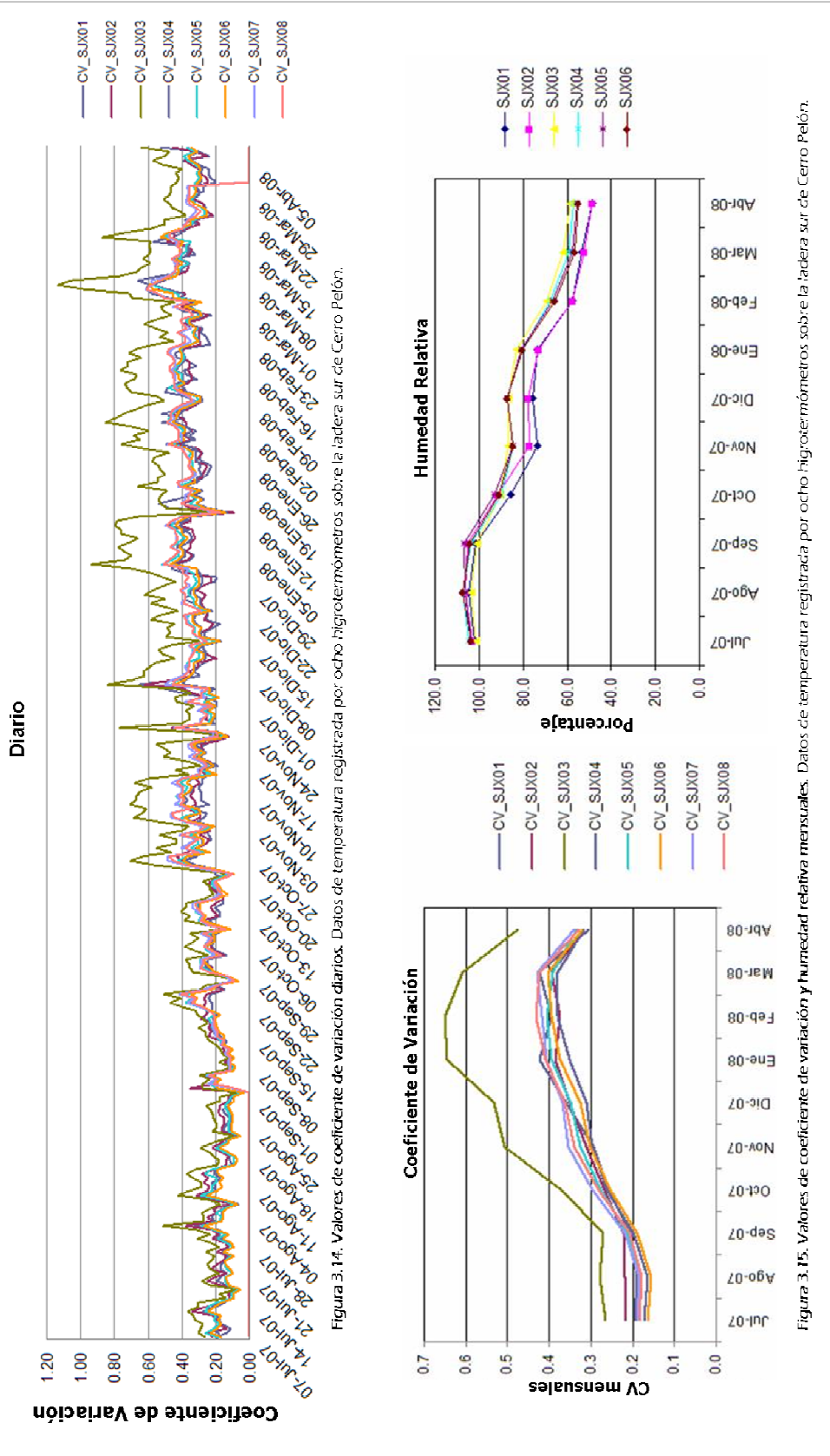


Figura 3.14. Valores de coeficiente de variación registrada por ocho higrómetros sobre la ladera sur de Cerro Pelón.

Figura 3.15. Valores de coeficiente de variación y humedad relativa mensuales. Datos de temperatura registrada por ocho higrómetros sobre la ladera sur de Cerro Pelón.

3.2.2 Relación densidad del arbolado - temperatura

Se llevó a cabo un análisis de la relación entre la densidad de arbolado y el coeficiente de variación de la temperatura media, máxima y mínima, para un periodo de diez meses, comprendido entre julio de 2007 y abril de 2008. A diferencia del análisis regional, esta relación local se realizó considerando los registros obtenidos por higrómetros colocados precisamente para este trabajo.

Los resultados muestran que, en la variable temperatura media, todas las correlaciones entre densidad del arbolado y el coeficiente de variación son significativas, tanto para un área de influencia de una hectárea como de cinco hectáreas (tabla 3.12). Esto demuestra el efecto regulador que tiene el bosque sobre clima local, pues a mayor densidad se tiene menor oscilación de la temperatura.

MESES	CV5HA	CV1HA
JUL07	0.822	0.872
AGO07	0.830	0.882
SEP07	0.839	0.843
OCT07	0.866	0.876
NOV07	0.876	0.848
DIC07	0.960	0.871
ENE08	0.962	0.829
FEB08	0.905	0.787
MAR08	0.975	0.872
ABR08	0.863	0.872

Tabla 3.12. Valores de r de temperatura media.

Esta correlación estadística no es tan clara si consideramos los promedios de máximas, ya que solamente dos de las 20 correlaciones resultaron significativas. Estas corresponden al mes de agosto, mientras que en el resto de los meses se tuvo una correlación débil (tabla 3.13); debido probablemente a que existe mayor variabilidad por ser valores extremos.

MESES	CBV5HA	CBV1HA
JUL07	0.005	0.0006
AGO07	0.761	0.821
SEP07	0.007	
OCT	0.057	0.033
OV07	0.002	
DIC07	0.088	0.034
ENE07		0.021
FEB07	0.019	0.011
MAR07	0.010	0.035
ABR08	0.248	0.205

Tabla 3.13. Valores de r de temperatura máxima

Finalmente, con los promedios de temperatura mínima tenemos que la correlación es significativa en la mayoría de las correlaciones calculadas (tabla 3.14).

MESES	CBV5HA	CBV1HA
JUL07	0.170	0.179
AGO07	0.844	0.883
SEP07	0.401	0.414
OCT07	0.936	0.933
NOV07	0.857	0.723
DIC07	0.467	0.328
ENE08	0.698	0.517
FEB08	0.682	0.466
MAR08	0.924	0.759
ABR08	0.775	0.775

Tabla 3.14 Valores de r de temperatura mínima

3.2.3 Prueba de hipótesis aproximación local

A partir de los resultados que fueron obtenidos de la clasificación de imágenes IKONOS (Alvarado, 2008), se realizó una prueba de hipótesis, con la cual se buscó responder a la hipótesis de que existe una diferencia significativa entre los valores medios de 2 sitios con una densidad de arbolado sustancialmente diferentes, 100 y 5% lo cual, se vería reflejado en los registros de temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima.

En la prueba mencionada se consideró a los meses como las repeticiones calculándose las "t" respectivas, las cuales fueron comparadas con

el valor de la "t" de tablas para 18 grados de libertad y un valor de alfa de 0.05. El valor de "t" calculada para las variables de temperatura media, máxima y mínima; fue de 0.88, -0.93 y 0.98 respectivamente.

De esta forma se desecha la hipótesis alterna y se acepta la nula, los valores en los grupos son similares. Los sitios analizados bajo esta prueba de hipótesis aunque tienen diferencias en el porcentaje de cubierta forestal que presentan, los resultados de la prueba "t" no demuestran que existan diferencias entre ellos.

3.3 Distribución de la temperatura en Cerro Pelón

3.3.1 Modelado de datos regionales

Considerando los gradientes térmicos mensuales calculados a partir de los datos regionales, se generaron mapas para cada uno de los 12 meses del año, para las variables de temperatura media, máxima promedio y mínima promedio. Para simplificar la presentación de esos resultados, en los siguientes apartados se muestran los mapas generados para los meses más representativos de cada estación: enero, para el invierno; abril, para la primavera; julio, para el verano; y, octubre, para el otoño.

3.3.1.1 Temperatura media

De acuerdo con el modelo generado, durante el mes de enero las temperaturas medias del Cerro Pelón van de los 0°C hasta los 14°C. Estas se distribuyen a lo largo del gradiente altitudinal de la siguiente forma: entre los 2220 y hasta los 2640m de altitud, la temperatura que predomina oscila entre los 10 y 13°C, éstas van disminuyendo conforme la altitud aumenta hasta alcanzar en las partes más elevadas (3400-3540m) temperaturas medias entre 0 y 2°C (figura 3.16).

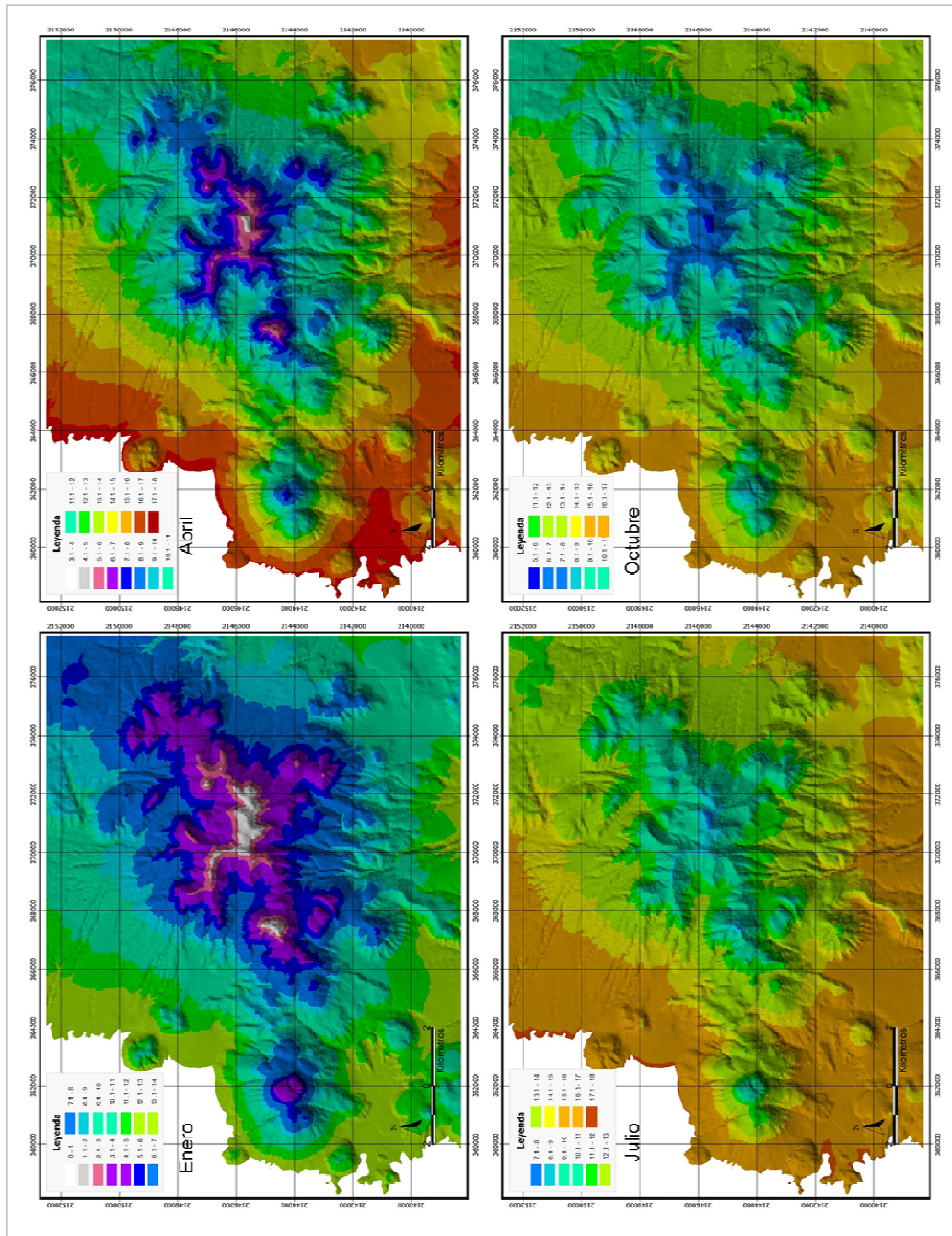


Figura 3.16. Modelado de la Temperatura Media a partir de datos regionales.

En el mes de abril la temperatura va de 3°C a 18°C. Estos valores son, junto con los de mayo, los más calurosos del año. Entre los 2220 y 2560m de altitud, las temperaturas medias predominantes van desde 13 a 18°C. A partir de los 2560 y hasta 2960m de altitud encontramos temperaturas de 10°C y hasta 14°C, mientras que en las partes más elevadas tenemos temperaturas medias entre 3 y 10°C.

A diferencia de Abril, durante el mes de Julio el cambio de la temperatura media con la altura es menor, probablemente debido a la mayor humedad ambiental. Las partes bajas del conjunto montañoso, entre los 2220 y 2500m de altitud, tuvieron temperaturas medias entre 15 y 18°C. Por su parte, en las partes de mayor altitud, entre los 3480 y 3540m, la temperatura más baja se encuentra alrededor de 7.1°C.

El mes de Octubre, de manera similar a Julio, muestra una variación de la temperatura media estimada que va de 5.1°C en las partes de mayor altitud y hasta 17°C en las partes más bajas. En este mes podemos observar una mayor amplitud en las temperaturas bajas presentes en la zonas altas de Cerro Pelón con variaciones que van de 5.1°C hasta 8°C. Mientras que en el rango altitudinal que va de 2360m a 3100m de altitud la temperatura varía de 10.1°C a 15°C.

3.3.1.2 Temperatura máxima

Las temperaturas máximas promedio modeladas para el mes de enero muestran una variedad amplia en su distribución. La temperatura máxima va desde 9.1°C, entre los 3200 y 3540m de altitud, hasta una oscilación entre 21 y 22°C en las partes más bajas, entre los 2220 y 2280 de altitud (figura 3.17).

Durante el mes de abril, las temperaturas más elevadas oscilan entre 22.1 y 27°C, éstas van desde las partes más bajas a los 2220 y hasta 2700m de altitud. Por su parte en las partes con elevaciones mayores, esto es, entre los 3360 y 3540m de altitud, tenemos una temperatura de entre 12.1° y 16°C.

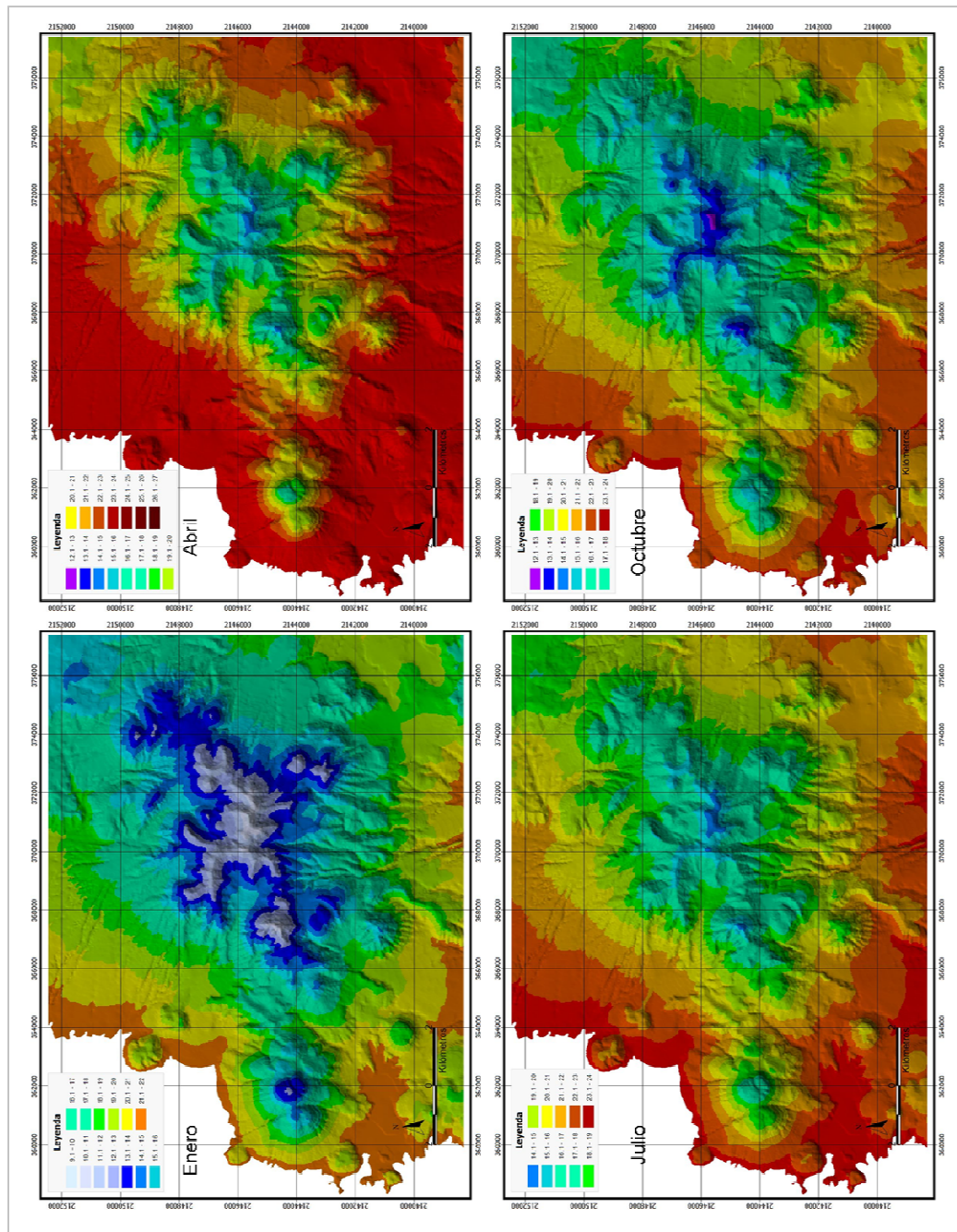


Figura 3. 17. Modelado de la Temperatura Máxima promedio a partir de datos regionales.

En el mes de julio el rango de temperaturas más elevadas, disminuye pero sin llegar a ser de las más bajas; va de 17 a 22°C, se encuentra distribuido entre los 2440 y los 3280m. Finalmente tenemos que en el mes de octubre la temperaturas se encuentra distribuida entre 12.1 y 23°C, durante este mes, las temperaturas más bajas las encontramos en un rango altitudinal mayor que para el mes de julio, este rango se encuentra entre los 3260 y 3540m de altitud, y su oscilación está entre 12.1 y 15°C.

3.3.1.3 Temperatura mínima

En lo que respecta a las temperaturas mínimas, éstas oscilan a lo largo del año entre -9 y 12°C. En el mes de enero encontramos temperaturas mínimas promedio desde -9 a 4°C. La cota a partir de la cual se presentan las temperaturas por debajo de 0°C durante este mes suele ser alrededor de los 2500m (figura 3.18).

En el mes de abril las temperaturas mínimas promedio de las partes bajas alcanzan 8°C, y descienden con la altura hasta llegar a presentarse temperaturas por debajo de 0°C por arriba de los 3200m de altitud.

Durante el mes de julio, la humedad de la época lluviosa suaviza considerablemente los extremos térmicos, de tal forma que las temperaturas mínimas promedio se estiman entre 12 grados en la base de la montaña, hasta 1 grado en las cumbres más elevadas de ésta.

En octubre el comportamiento es bastante similar al de julio, solo que con dos grados menos de temperatura mínima promedio: de 10 a -1°C.

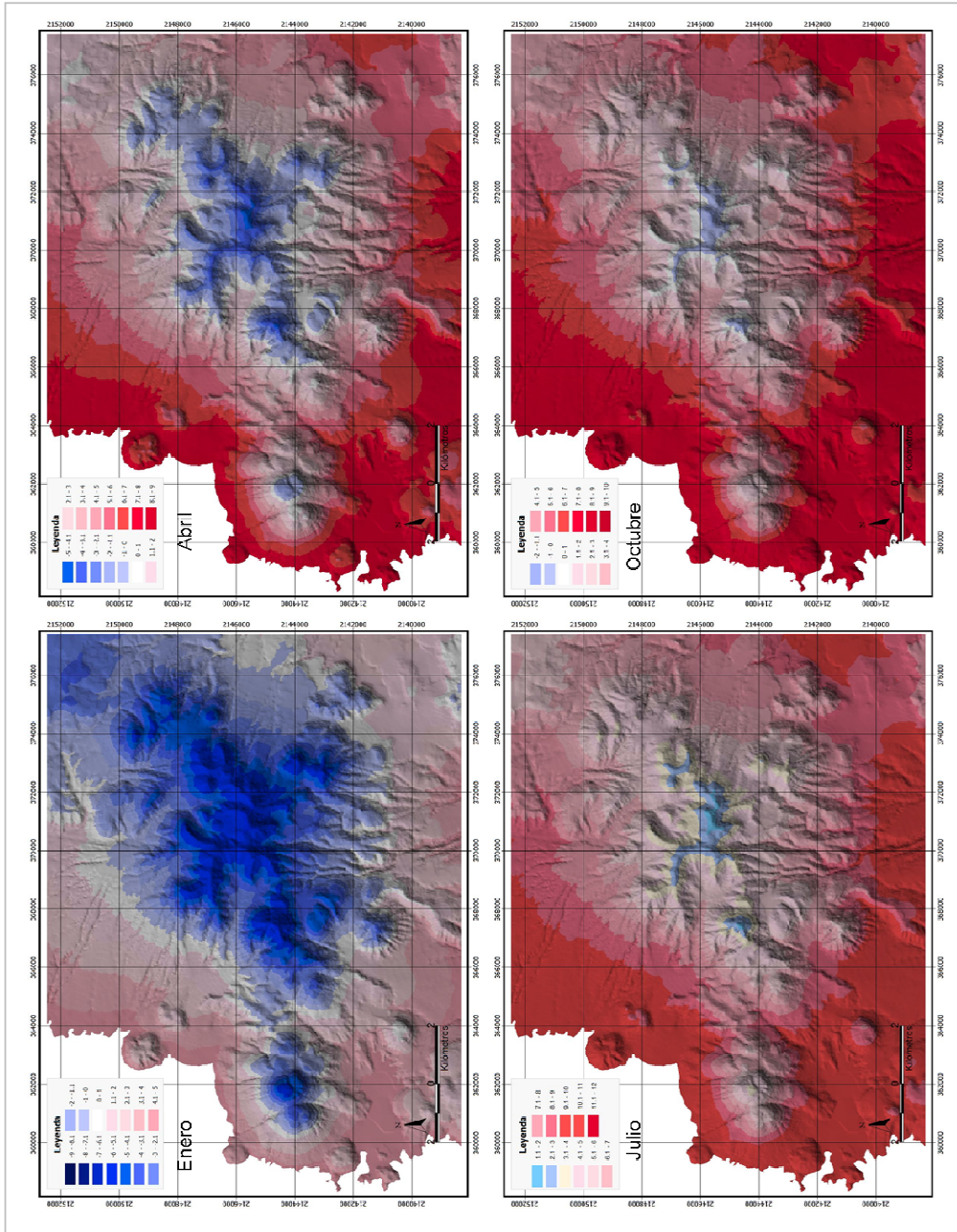


Figura 3.18. Modelado de la Temperatura Mínima promedio a partir de datos regionales.

3.3.2 Modelado de datos locales

A diferencia de los modelos espaciales de las variables térmicas presentadas en el apartado anterior, en la presente sección se muestra un modelado espacial generado a partir de los datos locales registrados para este trabajo en particular. Dicho registro se hizo a lo largo de todo el transecto altitudinal de la vertiente sur de Cerro Pelón, donde se colocaron higrómetros y una estación meteorológica. Para este trabajo se consideraron los registros de cada hora, cubriendo desde julio de 2007 hasta abril de 2008.

3.3.2.1 Temperatura media

Para esta variable en el mes de enero de 2008 tenemos que las partes medias y altas de Cerro Pelón presentaron una variación a lo largo del gradiente altitudinal entre 5 y 9°C; lo que significa que fue un mes de temperaturas relativamente suaves, considerando que la temperatura calculada en el modelo regional para este mismo mes, fue entre 0 y 14°C (figura 3.19).

Para el mes de abril 2008, el rango altitudinal de las partes bajas a las partes altas mostró un gradiente térmico que varió entre los 15° y los 10°C. Este mismo rango altitudinal pero en el modelado regional la temperatura calculada fue entre 18 y 10°.

Durante el mes de julio 2007, las temperaturas medias variaron en Cerro Pelón entre 11 y 15°C en el rango altitudinal que va de los 2220m hasta los 2840m de altitud. Mientras que las temperaturas más frías de este mes las encontramos en un rango altitudinal más amplio que va de los 2840m y hasta 3540m. A diferencia del gradiente térmico para el modelado regional, el cual, es más amplio (entre 7 y 18°C) y en donde encontramos una distribución más amplia entre 11 y 15°C y más reducida en las temperaturas más frías, entre 10 y 7°C.

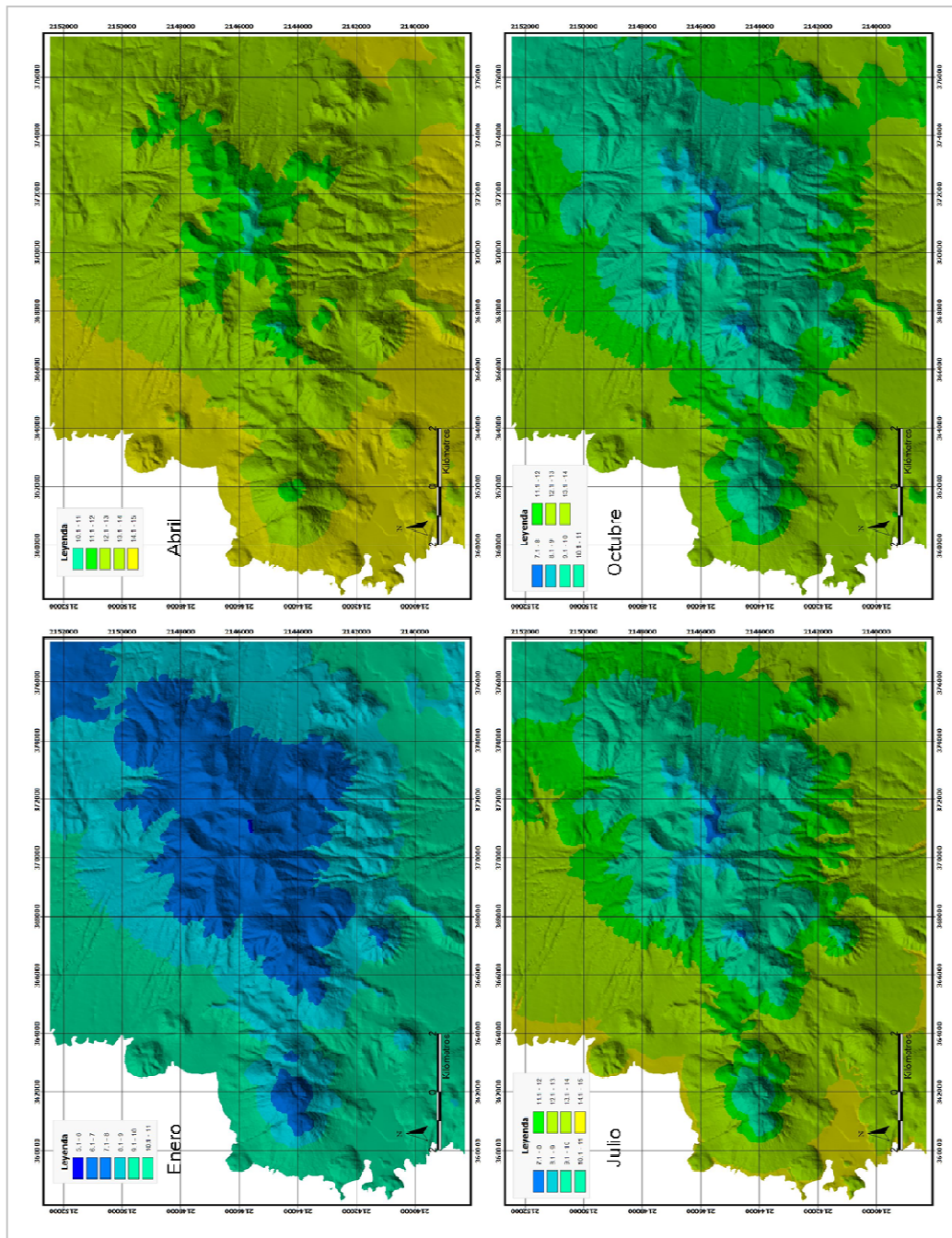


Figura 3.19. Modelado de la Temperatura Media a partir de datos locales propios.

Finalmente, el mes de octubre 2007 fue muy similar al de julio de ese mismo año en cuanto al comportamiento de la temperatura media. Las temperaturas más bajas se registraron en el rango altitudinal que va de los 2840m a 3540m, con valores entre 7 y 11°C. Por su parte en las zonas bajas, de los 2220m a 2720m de altitud, se presentaron temperaturas entre 11 y 14°C. Las temperaturas más frías calculadas en el modelo regional se presentaron en un rango altitudinal más reducido comparado con las ya mencionadas para el modelo local durante este mes, éstas son entre 5 y 8°C; por su parte las zonas bajas presentaron una mayor variedad en el gradiente térmico con temperaturas más cálidas entre 12 y 17°C.

3.3.2.2 Temperatura máxima

El promedio mensual de temperaturas máximas, a lo largo de los 10 meses monitoreados en campo, varió de 9 a 24°C, presentándose estos valores en el mes más frío y el más cálido (enero y abril) respectivamente.

El mes de enero de 2008 mostró una distribución de la temperatura máxima promedio que va de 9.1° a 19°C. En las zonas más elevadas, a partir de los 3380m de altitud se presentaron temperaturas máximas entre 9 y 11°C. En las partes medias de la montaña, a partir de los 2500m, hubo temperaturas máximas entre 11 y 16°C; y, en las partes más bajas, 2220 a 2520m, fueron entre 16 y 19°C. En cambio en los valores del modelo regional, durante este mes las temperaturas variaron entre 9 y 22°C provocando que en las partes más bajas las temperaturas tuvieran mayor variación, misma que se distribuyó entre 18 y 22°C (figura 3.20).

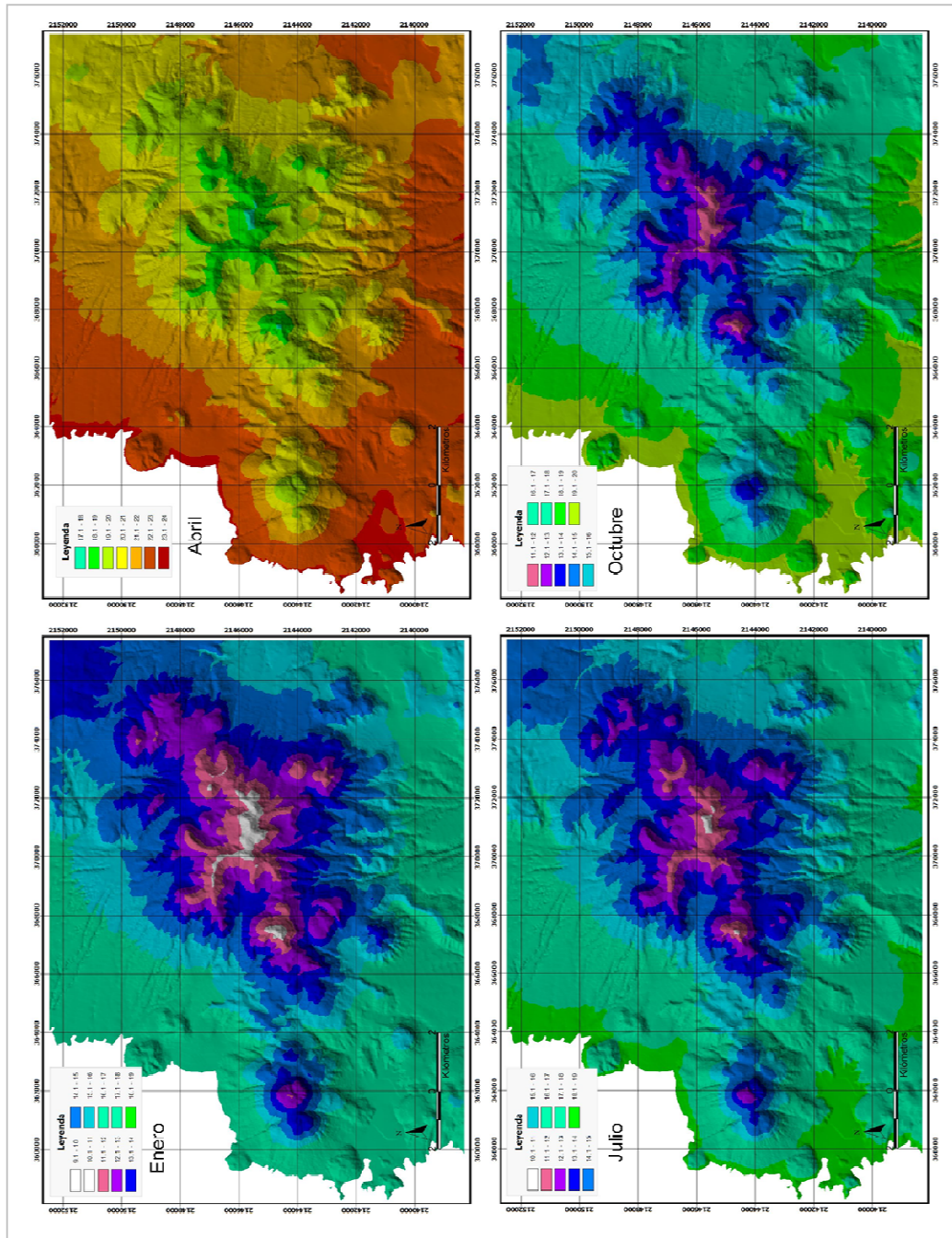


Figura 3.20. Modelado de la Temperatura Máxima promedio a partir de datos locales.

El mes de abril 2008 fue el más caluroso del periodo monitoreado. El promedio de temperatura máxima mensual fue de 24°C para las zonas bajas y hasta 17°C en la zona cumbre. Como característica de este mes, tenemos que la distribución más amplia se presentó con temperaturas entre 17 y 21°C, en el rango altitudinal comprendido entre los 2720m y los 3460m. Al compararlo con el modelo regional, los valores calculados de temperatura tienen una amplitud mayor, estos están entre 12 y 27°C, las partes altas llegan a tener temperaturas de hasta 12.1°C (cinco grados menos que el modelado local) y 27°C en las zonas más bajas (6°C más que en el modelado local).

En el mes de julio 2007, las temperaturas fueron más frescas; ya que la temperatura máxima promedio varió de 10 a 19°C en las zonas más elevadas. En la zona media a alta de la montaña, se registraron temperaturas máximas entre 11 y 16°C, es decir menos cálidas que en el mes anterior. En las zonas bajas las temperaturas fueron más cálidas entre 16 y 19°C, considerablemente menores que en el mes de abril. De acuerdo con los valores del gradiente térmico en el modelado regional, las partes bajas, son más cálidas, estas temperaturas se encuentran entre 19 y 24°C .

El mes de octubre 2007 varió en su gradiente de temperaturas máximas entre 11 y 20°C. La zona baja de la montaña tuvo temperaturas máximas entre 16 y 20°C; mientras que la zona de media montaña y hasta la cumbre estas fueron de 16° a 11°C. En esta misma zona, pero en el modelado regional; registró valores de entre 12 y 19°C.

3.3.2.3 Temperatura mínima

Considerando los valores locales registrados, esta variable mostró una temperatura mínima promedio mensual de 5°C en el mes de enero 2008 y de 15°C en los meses de abril y julio. Mientras que en el modelado regional, se obtuvieron valores entre -9 y 12°C en los meses de enero y julio respectivamente (figura 3.21).

En el mes de enero 2008 las temperaturas mínimas se distribuyeron en tres franjas altitudinales: la primera en las zonas bajas, con temperaturas entre los 9.1° y 11.1°C; la segunda, a media montaña, con temperaturas entre los 8°C y 9°C; finalmente en las zonas más altas de la montaña las temperaturas

mínimas se encuentran entre los 5 a 8°C. Caso contrario en el modelado regional, pues los valores calculados se distribuyeron al menos en 4 pisos altitudinales de los cuales los que están por encima de los 0° tienen una mayor amplitud en su distribución.

En el mes más cálido registrado, abril 2008, se presentaron temperaturas mínimas en todo el gradiente altitudinal del Cerro Pelón entre 10°C y hasta los 15°C, que aunque son frescas, no llegaron a ser frías. En cambio en el modelado regional el gradiente térmico se distribuyó entre -5 y 9°C; siendo este junto con el de enero y octubre los más fríos.

Los meses de julio y octubre 2007 tuvieron una distribución de las temperaturas mínimas bastante similar, éstas fueron entre 7 y 15°C para el primer mes y entre 7 y 14°C para el segundo. Sin embargo, la distribución de las mismas fue diferente, sobre todo en las partes medias de la montaña, donde las temperaturas que están entre 11 y 12°C en el mes de julio se encontraron entre los 2640 a 2840m, mientras que en el mes de octubre esas mismas temperaturas las encontramos desde los 2500m y hasta los 2740m de altitud.

Al observar los valores de temperatura en el mes de julio, pero en el modelado regional, se observa que éste fue el mes más cálido pues no tuvo temperaturas por debajo de los 0°C. Lo cual coincide con los resultados reportados por Brower et al. (2002), en donde menciona que no existen registros de heladas en durante el invierno de 2001. Por su parte, García (1997) comenta que el periodo de invierno 1991-1992 no fue tan frío. Lo anterior podría explicar las diferencias entre las variables de temperatura en el modelado regional y local.

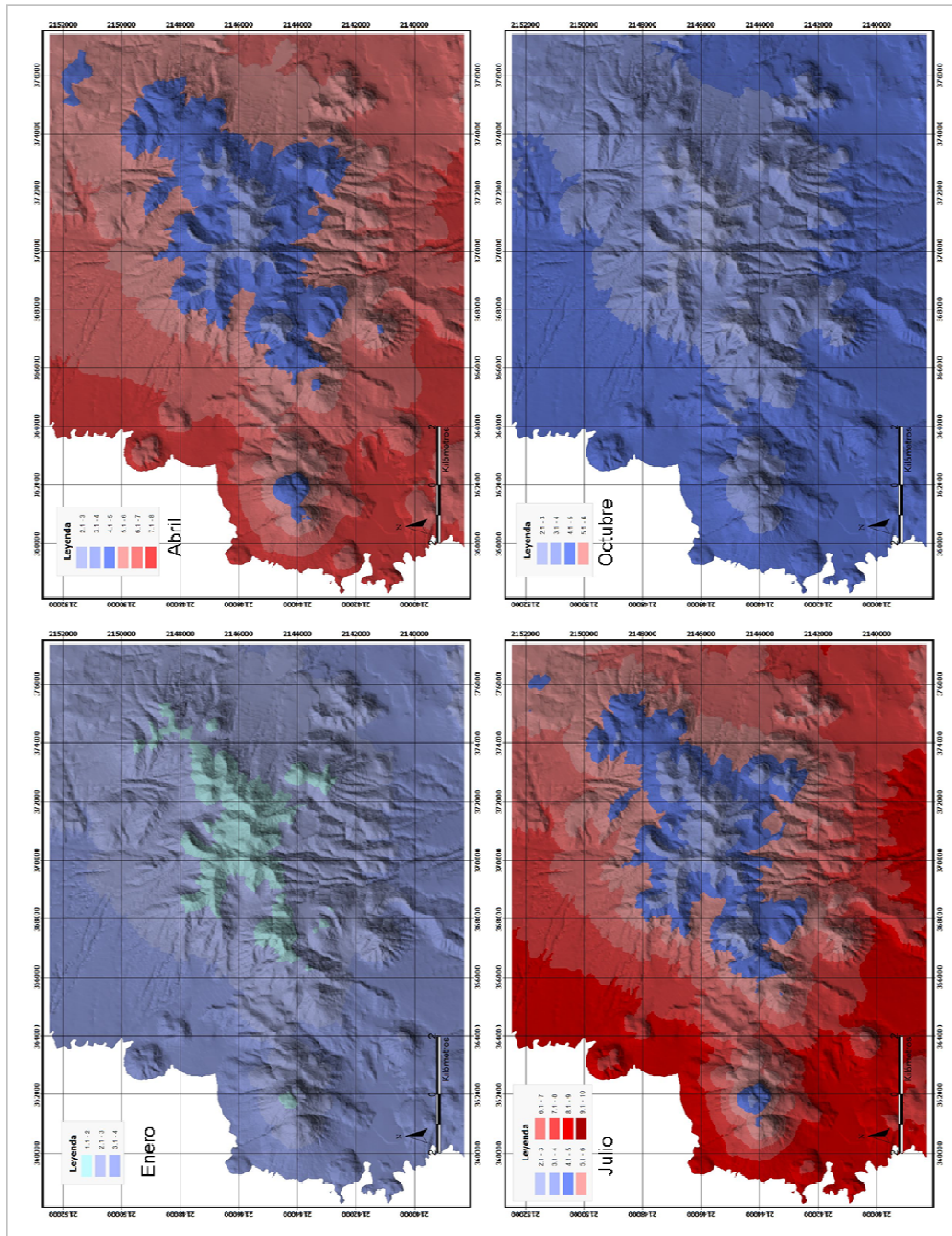


Figura 3.21. Modelado de la Temperatura Mínima promedio a partir de datos locales.

3.3.3 Comparación del modelado regional y los valores locales

Una vez obtenidos los valores promedios reales de las variables de temperatura, considerando los registros de los higrotermómetros de los ocho sitios de muestreo, se compararon con los datos obtenidos a partir del análisis y modelado de los datos regionales. Esta comparación se realizó sólo para los diez meses coincidentes.

3.3.1.1 Temperatura media

De cada uno de los mapas de temperatura media mensual, resultantes del modelado de los datos regionales (figura 3.16), se extrajeron los valores correspondientes al sitio donde se ubica cada uno de los higrotermómetros. Estos valores modelados se compararon con los valores reales de los meses de registro de los higrotermómetros (julio 2007-abril 2008), lo cual permite, por una parte, validar el modelo y, por la otra, dar respaldo a un periodo de observación climática tan corto.

De acuerdo con el modelado de los datos regionales, los sitios 1, 2 y 3, (ubicados respectivamente a los 3344, 3214 y 3020 metros de elevación) presentan una temperatura media anual entre 6 y 9 grados. Esto, según García (2004), los clasifica como semifríos, C(b) (5-12°C T media anual). Esto se confirma con los datos reales tomados de julio de 2007 a abril de 2008, ya que para estos mismos sitios encontramos temperaturas medias anuales entre 8 y 10°C (tabla 3.15).

Los tres sitios ubicados a media montaña (entre los 2670 y 2683 metros de altitud), presentan una temperatura media anual de 12°C, lo que los ubica en el límite entre los semifríos y los templados, C (entre 12 y 18°C). En este caso, los valores para nuestro año real de observación fueron de 11°C para los tres sitios, lo cual los ubicaría dentro de los semifríos (tabla 3.15).

MODELADO REGIONAL TEMPERATURA MEDIA																	
	Tmene	Tmfeb	Tmmar	Tmabr	Tmmay	Tmjun	Tmjul	Tmago	Tmsep	Tmoct	Tmnov	Tmdic	min	max	prom	clve	Categoría
sitio 1	2.5	3.0	5.1	6.4	8.4	9.2	9.0	8.8	9.0	7.2	4.9	3.6	2.5	9.2	6	C(b)	Semifrio
sitio 2	3.8	4.4	6.4	7.8	9.7	10.4	10.0	9.8	10.0	8.3	6.2	4.9	3.8	10.4	8	C(b)	Semifrio
sitio 3	5.5	6.2	8.1	9.6	11.3	11.8	11.4	11.2	11.3	9.8	7.8	6.6	5.5	11.8	9	C(b)	Semifrio
sitio 4	8.7	9.4	11.3	12.8	14.3	14.5	13.8	13.6	13.7	12.5	10.7	9.6	8.7	14.5	12	Ca	Templado
sitio 5	8.7	9.4	11.3	12.8	14.3	14.5	13.8	13.6	13.7	12.5	10.7	9.6	8.7	14.5	12	Ca	Templado
sitio 6	8.7	9.4	11.3	12.8	14.3	14.5	13.8	13.6	13.7	12.5	10.7	9.6	8.7	14.5	12	Ca	Templado
sitio 7	10.5	11.2	13.1	14.7	16.0	15.9	15.1	15.0	15.0	14.0	12.4	11.3	10.5	16.0	14	Ca	Templado
sitio 8	10.6	11.3	13.2	14.7	16.1	16.0	15.2	15.0	15.1	14.0	12.5	11.4	10.6	16.1	14	Ca	Templado

MODELADO LOCAL TEMPERATURA PROMEDIO															
	Tpju07	Tpago07	Tpsep07	Tpoct07	Tpnov07	Tpdic07	Tpene08	Tpfeb08	Tpmar08	Tpabr08	min	max	prom	clve	Categoría
sitio 1	8.5	8.4	8.6	8.4	8.1	7.7	6.6	7.9	8.0	11.2	7	11	8	C(b)	Semifrio
sitio 2	9.2	9.1	9.2	9.0	8.6	8.2	7.1	8.3	8.6	11.6	7	12	9	C(b)	Semifrio
sitio 3	10.2	10.1	9.9	9.8	9.3	8.7	7.6	8.9	9.4	12.2	8	12	10	C(b)	Semifrio
sitio 4	11.9	11.8	11.3	11.2	10.6	9.8	8.7	9.9	10.8	13.3	9	13	11	C(b)	Semifrio
sitio 5	11.9	11.8	11.3	11.2	10.6	9.8	8.7	9.9	10.8	13.3	9	13	11	C(b)	Semifrio
sitio 6	11.9	11.8	11.3	11.2	10.6	9.8	8.7	9.9	10.8	13.3	9	13	11	C(b)	Semifrio
sitio 7	12.8	12.8	12.0	12.0	11.3	10.4	9.3	10.5	11.6	14.0	9	14	12	Ca	Templado
sitio 8	12.9	12.8	12.0	12.1	11.3	10.4	9.3	10.5	11.7	14.0	9	14	12	Ca	Templado

Tabla 3.15. Comparación de la temperatura media, considerando el modelado regional y los valores de los ocho sitios de registro local

Por su parte los sitios 7 y 8, ubicados a los 2482 y 2489 metros de altitud respectivamente; presentan una temperatura media anual de 14°C. De acuerdo con García (2004), ambos quedan ubicados dentro de los templados, C (entre 12 y 18°C). Mientras que los valores de observación real promedian 12°C, lo cual, los ubica en el límite entre los semifríos y los templados (tabla 3.15).

3.3.1.2 Temperatura máxima promedio

Por su parte la temperatura máxima promedio en los sitios presentó valores diferentes en todos los sitios para ambas aproximaciones del modelado. En el modelado regional, en los sitios 1, 2, 3 tenemos temperaturas máximas de entre 15° y 17°C; mientras que para los mismos sitios pero en el modelado local fueron alrededor de 2° más suaves, entre 13° y 15°C (tabla 3.16).

Los sitios ubicados a media montaña (4, 5, y 6) presentan diferencias de 3°C entre los modelados regional y local. En el primero estos sitios tienen una temperatura máxima promedio de 20°C, mientras que para el modelado local los mismos sitios tienen un valor de 17°C. Los últimos dos sitios 7 y 8, presentaron valores de temperatura de 22°C en el modelado regional y de 18°C en el modelado local; la diferencia entre ambas aproximaciones fue de 4°C (tabla 3.16).

MODELADO REGIONAL TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO															
	Tmene	Tmfeb	Tmmar	Tmabr	Tmmay	Tmjun	Tmjul	Tmago	Tmsep	Tmoct	Tmnov	Tmdic	min	max	prom
sitio 1	11.6	12.3	14.8	16.1	17.0	16.5	15.6	15.4	15.3	14.3	13.5	12.3	12	17	15
sitio 2	12.9	13.6	16.0	17.4	18.2	17.6	16.6	16.4	16.3	15.4	14.7	13.5	13	18	16
sitio 3	14.5	15.3	17.7	19.1	19.9	19.1	17.9	17.7	17.6	16.9	16.2	15.1	15	20	17
sitio 4	17.5	18.4	20.7	22.2	22.8	21.7	20.3	20.2	20.1	19.6	19.0	18.0	17	23	20
sitio 5	17.5	18.4	20.7	22.2	22.8	21.7	20.3	20.2	20.1	19.6	19.0	18.0	17	23	20
sitio 6	17.5	18.4	20.7	22.2	22.8	21.7	20.3	20.2	20.1	19.6	19.0	18.0	17	23	20
sitio 7	19.2	20.1	22.4	24.0	24.5	23.1	21.6	21.6	21.4	21.0	20.6	19.6	19	25	22
sitio 8	19.2	20.2	22.5	24.1	24.6	23.2	21.7	21.6	21.5	21.1	20.6	19.7	19	25	22

MODELADO LOCAL TEMPERATURA MAXIMA DIARIA														
	Tpjul07	Tpago07	Tpsep07	Tpoc07	Tpnov07	Tpdic07	Tpene08	Tpfeb08	Tpmar08	Tpabr08	min	max	prom	
sitio 1	11.8	12.0	11.4	12.4	12.8	12.0	11.2	13.8	14.3	18.5	11	19	13	
sitio 2	12.6	12.8	12.2	13.3	13.6	12.8	12.1	14.7	15.3	19.1	12	19	14	
sitio 3	13.7	13.8	13.2	14.5	14.7	13.9	13.2	15.8	16.6	19.8	13	20	15	
sitio 4	15.7	15.8	15.0	16.7	16.7	15.9	15.2	18.0	18.9	21.2	15	21	17	
sitio 5	15.7	15.8	15.0	16.7	16.7	15.9	15.2	18.0	18.9	21.2	15	21	17	
sitio 6	15.7	15.8	15.0	16.7	16.7	15.9	15.2	18.0	18.9	21.2	15	21	17	
sitio 7	16.8	16.9	16.1	17.9	17.7	17.0	16.3	19.2	20.3	22.0	16	22	18	
sitio 8	16.9	16.9	16.1	17.9	17.8	17.0	16.3	19.2	20.3	22.0	16	22	18	

Tabla 3.16. Comparación de la temperatura máxima promedio, considerando el modelado regional y los valores de los ocho sitios de registro local

3.3.1.3 Temperatura mínima promedio

La temperatura mínima mostró valores sustancialmente diferentes en los sitios 1, 2 y 3, presentando valores de -2°C a 1°C en el modelado regional, a diferencia de los 2 a 3°C del modelado con datos locales. Esto confirma que durante los meses monitoreados se presentó siempre un clima relativamente suave, prácticamente sin condiciones extremas, de heladas (tabla 3.17).

MODELADO REGIONAL TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO															
	Tmene	Tmfeb	Tmmar	Tmabr	Tmmay	Tmjun	Tmjul	Tmago	Tmsep	Tmoct	Tmnov	Tmdic	min	max	prom
sitio 1	-6.9	-6.3	-4.9	-2.8	-0.3	2.2	2.8	2.8	3.0	0.1	-3.4	-5.2	-7	3	-2
sitio 2	-5.5	-4.8	-3.5	-1.4	0.9	3.3	3.8	3.8	3.9	1.3	-2.1	-3.8	-6	4	0
sitio 3	-3.6	-3.0	-1.7	0.4	2.6	4.8	5.1	5.1	5.2	2.7	-0.4	-2.0	-4	5	1
sitio 4	-0.2	0.5	1.7	3.7	5.7	7.4	7.5	7.4	7.5	5.4	2.7	1.2	0	8	4
sitio 5	-0.2	0.5	1.7	3.7	5.7	7.4	7.5	7.4	7.5	5.4	2.7	1.2	0	8	4
sitio 6	-0.2	0.5	1.7	3.7	5.7	7.4	7.5	7.4	7.5	5.4	2.7	1.2	0	8	4
sitio 7	1.7	2.4	3.6	5.6	7.4	8.9	8.9	8.8	8.8	6.9	4.4	3.0	2	9	6
sitio 8	1.8	2.4	3.7	5.7	7.4	9.0	8.9	8.8	8.9	7.0	4.5	3.0	2	9	6

MODELADO LOCAL TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO														
	Tpjul07	Tpago07	Tpsep07	Tpoc07	Tpnov07	Tpdic07	Tpene08	Tpfeb08	Tpmar08	Tpabr08	min	max	prom	
sitio 1	3.1	3.7	4.6	2.7	2.3	-0.2	1.6	1.8	0.7	3.7	0	5	2	
sitio 2	3.9	4.4	4.7	3.0	2.7	0.4	1.9	2.3	1.1	4.1	0	5	3	
sitio 3	4.8	5.3	4.8	3.4	3.1	1.2	2.2	2.8	1.5	4.8	1	5	3	
sitio 4	6.6	6.9	5.1	4.1	3.9	2.6	2.8	3.8	2.3	5.9	2	7	4	
sitio 5	6.6	6.9	5.1	4.1	3.9	2.6	2.8	3.8	2.3	5.9	2	7	4	
sitio 6	6.6	6.9	5.1	4.1	3.9	2.6	2.8	3.8	2.3	5.9	2	7	4	
sitio 7	7.5	7.8	5.2	4.4	4.4	3.4	3.2	4.3	2.8	6.6	3	8	5	
sitio 8	7.6	7.9	5.3	4.5	4.4	3.5	3.2	4.3	2.8	6.6	3	8	5	

Tabla 3.17. Comparación de la temperatura mínima promedio, considerando el modelado regional y los valores de los ocho sitios de registro local.

Los sitios 4, 5 y 6 resultaron exactamente igual en ambos modelados, con una temperatura mínima promedio anual de 4°C. Finalmente en los últimos dos sitios (7 y 8), la diferencia entre los modelados fue apenas de 1°C (tabla 3.17).

3.3.1.4 Comparación del modelado regional y la estación Cerro Pelón

Los valores de temperatura obtenidos en el modelado regional también fueron comparados con datos obtenidos de la estación semiautomática ubicada en Cerro Pelón. Ésta se encuentra a los 2420m de altitud en la misma vertiente sur del Cerro. El periodo de registro de esta estación incluye poco más de tres años, desde diciembre 2004 hasta abril 2008, motivo por el cual se hace esta comparación de manera independiente de la de los apartados anteriores.

En esta comparación podemos observar valores todavía más cercanos entre los datos del modelado regional y los promedios reales de la estación meteorológica de Cerro Pelón. En el caso de la temperatura media mensual, encontramos para la estación valores entre 11.3 y 16.2°C, mientras el valor para ese mismo punto obtenido a partir del modelado regional es de entre 11.7 y 16.5. Lo cual representa ligeras diferencias mensuales menores a dos grados, más o menos (tabla 3.18).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura Media												
CP	11.3	12.4	13.6	16.0	16.2	15.2	14.3	14.0	13.9	13.6	12.7	11.3
MR	10.8	11.8	13.5	14.9	16.3	16.5	15.9	15.8	15.7	14.6	13.0	11.7
□	0.4	0.7	0.2	1.2	-0.2	-1.3	-1.6	-1.8	-1.9	-1.0	-0.3	-0.4
Temperatura máxima promedio												
CP	17.9	19.4	20.9	23.1	23.0	20.7	19.2	19.0	19.0	19.2	19.0	18.2
MR	19.5	20.7	23.0	24.3	25.1	23.8	22.5	22.3	22.1	21.7	21.0	20.1
□	-1.5	-1.2	-2.1	-1.2	-2.1	-3.1	-3.4	-3.4	-3.1	-2.5	-2.0	-1.9
Temperatura mínima promedio												
CP	6.2	6.8	7.3	9.5	10.1	10.8	10.9	10.7	10.2	9.3	7.7	6.2
MR	2.2	2.7	3.9	5.5	7.6	9.2	9.3	9.3	9.3	7.6	5.1	3.3
□	3.9	4.0	3.4	3.9	2.4	1.6	1.6	1.3	0.9	1.7	2.6	2.9

Tabla 3.18. Comparación del modelado. Modelo regional (MR) y los datos de la estación meteorológica de Cerro Pelón (CP). □ Diferencias.

En el caso de las temperaturas máximas y mínimas promedio, esa diferencia es ligeramente mayor. En las primeras, los valores van de 18.2 a 23.1°C en la estación meteorológica y de 19.5 a 25.1 °C en el modelado regional. Mientras que en el promedio de las temperaturas mínimas los valores fueron de 6.2 a 10.9°C en la estación y de 2.2 a 9.3°C en el modelado.

CAPITULO 4: DISCUSIÓN

4.1. La red de estaciones meteorológicas en la región País de la Monarca

En nuestro país son varios los trabajos que han utilizado datos provenientes de la red de estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), algunos de ellos reportan diversos problemas relacionados con la calidad de la información y la distribución de las estaciones (Mendoza et al., 2004; Salinas et al., 2002). En este sentido, Fernández (1997) comenta que la validez de los resultados dependerá de la calidad de las series de observación empleadas, refiriéndose sobre todo al tamaño de la muestra (30 años como mínimo para análisis regionales); así como a la homogeneidad de los datos, en términos de los periodos de observación, la ubicación y los instrumentos de medida, lo cual en la mayoría de los casos no se consigue.

Un caso que ejemplifica lo anterior es el de Mendoza et al. (2004), en donde los autores mencionan deficiencias en la distribución de las estaciones climáticas, así como en la cantidad y calidad de los datos que utilizaron para su trabajo en la cuenca de Cuitzeo y sus alrededores; en él señalan esta problemática como la principal dificultad para la construcción de modelos climáticos e hidrológicos.

En lo que respecta a este trabajo de tesis, la escasa cobertura de años en las estaciones que fueron elegidas, así como la calidad de los registros de las variables empleadas provocó, en un principio, reducir de 48 a 21 el número de estaciones que serían utilizadas. Debido a la presencia de numerosos huecos en las series y la poca coincidencia de los periodos de registro de las estaciones consideradas, impidió llevar a cabo un análisis estadístico a nivel regional que permitiera identificar plenamente el efecto de la pérdida forestal sobre la temperatura.

4.2. El cambio en las cubiertas del suelo

La caracterización de la cubierta de suelo desde hace varias décadas ha involucrado el empleo conjunto de herramientas como los sistemas de información geográfica, así como de técnicas de percepción remota. Autores

como Chuvieco (2007) y Lillesand et al. (2004) mencionan los beneficios que trae consigo el uso de imágenes de satélite para caracterizar la cubierta vegetal y el uso del suelo mediante estas herramientas y técnicas. En el caso de las evaluaciones multifecha con imágenes de satélite, recientemente los procedimientos mencionados se han complementado con la interpretación visual; lo que ocasiona que se aproveche aún más el potencial tecnológico, el cual además ha arrojado que se mejore notablemente la exactitud de los resultados (Paniagua, 2008).

La realización de este trabajo involucró el empleo conjunto de sistemas de información geográfica y técnicas de percepción remota para el procesamiento de imágenes de satélite en cinco diferentes fechas. Esto permitió caracterizar la cubierta forestal y determinar la tasa de cambio en las áreas de influencia de las 21 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional.

Los resultados observados muestran una pérdida constante de la cubierta forestal en el total de estaciones, aunque no en todas se presentó con la misma magnitud, además que en varias de ellas se encontró la presencia de vegetación secundaria. Estos resultados se encuentran respaldados por Ramírez (2001 y 2003); y Ramírez y Zubieta (2005) quienes durante los últimos años han demostrado el aumento en la pérdida de masa forestal en la región de la Mariposa Monarca.

4.3 Relación deforestación y clima

El impacto que la deforestación pudiera tener sobre los registros de alguna variable climática ha tomado cierta importancia, sobre todo porque este proceso además, tiene un impacto importante en la pérdida y degradación de los suelos, en la pérdida de la biodiversidad, en el funcionamiento de las cuencas hidrológicas, entre otros. Un ejemplo de lo anterior lo encontramos en el trabajo realizado por Salinas et al. (2002), en donde evalúan los posibles impactos ocasionados por los cambios acelerados en los usos del suelo y la cubierta vegetal, los cuales afectan a la radiación solar incidente en calor sensible y calor latente. En él dan a conocer el impacto del manejo integral de la cuenca del río Texcoco, sobre la producción de sedimentos a nivel anual, con una reducción de éstos de 81.4%.

En nuestro trabajo, los resultados estuvieron limitados tanto por la calidad de los datos registrados, como por la cantidad de datos disponibles para ambas aproximaciones (regional y local); además de una mala distribución de las estaciones con registro, pues estas se encontraron ubicadas en zonas con características agrícolas.

En el caso de la aproximación local, los sitios en donde se ubicaron los instrumentos de medición (higrotermómetros), fueron seleccionados considerando como características la densidad de arbolado y sitios con perturbación, lo que ayudó a caracterizar estos ambientes; aunque el periodo de registro fue menor al de la aproximación regional; estos datos sí ayudaron a determinar una correlación significativa pero no da a conocer si existían diferencias entre sitios con densidad forestal alta respecto de las áreas perturbadas.

4.4 Pruebas y análisis estadísticos

Existen trabajos que han implementado análisis estadísticos de diversos tipos, para conocer la calidad de la información que se emplea. Tal es el caso de los trabajos hechos por Salinas et al. (2002) y Adame et al. (2005); en los cuales los autores en un principio llevaron a cabo una exploración de los datos de algunas variables climáticas para conocer la calidad de los mismos, además de proponer técnicas de relleno de registros; ellos hacen uso de pruebas de hipótesis, e incluso de modelos de series de tiempo, aplicados a datos de diversa índole.

Para cubrir el objetivo de este trabajo se realizaron pruebas de regresión, de hipótesis y de análisis del coeficiente de variación. En el caso del análisis de regresión, este se usó para tratar de explicar si existía relación entre las variables de temperatura y la tasa de cambio, obteniendo resultados diferentes en ambas aproximaciones.

Asimismo se utilizó una prueba de hipótesis con el fin de conocer si existía diferencia significativa en los valores medios de sitios con una evidente diferencia en el grado de conservación forestal, en este caso en la mayoría de los casos fue aceptada la hipótesis nula, este tipo de pruebas de acuerdo con Adame (op cit), son válidas solamente cuando existen observaciones antes y

después de un evento y las series de tiempo son observaciones sucesivas además serialmente dependientes; lo cual no ocurrió con los datos que se utilizaron en la prueba.

4.5 Modelado

El resultado del cálculo de gradiente térmico mostró una disminución promedio de 0.8°C por cada 100 metros de elevación. Esta cifra es muy elevada, considerando el gradiente promedio 0.6°C por cada 100 metros (Ayllón, 1996). No obstante el gradiente térmico puede variar con la ubicación del lugar y las condiciones atmosféricas. Así, por ejemplo, encontramos valores 0.4°C por cada 100 metros de altitud en montañas semiáridas de clima mediterráneo (Contreras, 2006). Asimismo nuestros resultados contrastan con el resultado de Ramírez (2001) para la Sierra de Angangueo, en donde el valor obtenido fue de 0.5 para los meses de verano y, de 0.8 en los meses que corresponden al invierno.

La generación de los modelos permitió observar la existencia de diferencias entre los valores reportados en el modelado regional y local. La temperatura media calculada con los registros nacionales y con los datos reales de los higrotermómetros, mostraron diferencias entre los sitios comparados, aunque éstas diferencias únicamente fueron representativas en tres sitios ya que al momento de categorizar el clima de éstos, en el modelado regional estos sitios fueron ubicados en la categoría de templado, mientras que en el modelado local, se ubicaron en la transición de los climas semifríos y templados de acuerdo con la clasificación de García (2004).

Por su parte las temperaturas máximas tuvieron diferencias de 2 a 4°C para todos los sitios, siendo los sitios 7 y 8, los que mayores diferencias mostraron con 4°C. Asimismo, la temperatura mínima tuvo diferencias mayores en los sitios 1, 2 y 3, las cuales llegaron a ser de 2 a 4°C; los demás sitios tuvieron diferencias apenas de 1°C.

CONCLUSIONES

Las actividades y análisis que se llevaron a cabo durante la realización de este trabajo no permitieron demostrar influencia de la deforestación y la perturbación forestal respecto de los registros oficiales de temperatura de la red del Servicio Meteorológico Nacional. Sin embargo, a partir de los datos registrados por los higrómetros, se pudo observar una fuerte correlación entre los registros de la temperatura media y los sitios con un arbolado denso y deforestados, aunque entre estos no se logró evidenciar diferencia alguna.

Se logró el acopio de los registros oficiales de varias estaciones dentro del área de estudio, además de su organización, análisis y evaluación, mientras que con los datos registrados por los higrómetros con su organización y análisis se consiguió comenzar con el registro sistemático de datos climáticos para el área de la RBMM; lo que permitirá reconocer el comportamiento del clima específico para esta zona.

Se realizó el análisis del comportamiento de los datos históricos de temperatura y la evaluación de su posible relación con la cubierta del suelo a partir de un análisis de correlación y prueba de hipótesis, para dos aproximaciones, una regional y otra local.

Asimismo se consiguió modelar el comportamiento de las variables de temperatura con base en los registros de los instrumentos instalados en la ladera sur del Cerro Pelón, resultando de esto 10 mapas por variable de temperatura. El modelado anterior permitió su comparación con los resultados del modelado regional, en el cual se observó que aunque existen diferencias en las 3 variables de temperatura (media, máxima promedio y mínima promedio) en ambos modelos, éstas solamente fueron representativas en el momento de llevar a cabo su clasificación, en tres sitios para el caso de la temperatura media.

Los resultados obtenidos en este trabajo son importantes, porque se dio inicio en la conformación de una base de datos para la región de la Mariposa Monarca con registros de estaciones oficiales, con instrumentos como los higrómetros y finalmente a partir de estaciones semiautomáticas

propios. Para el caso de los instrumentos y las estaciones automáticas, además de obtenerse datos con registros cada hora, éstos tendrán una mejor calidad en términos de su ubicación y la cantidad de registros obtenidos. Por otra parte, los resultados aportarán información valiosa en trabajos futuros que sean propuestos dentro de la región. Finalmente, se debe mencionar que el análisis de datos de diferentes fuentes, así como las pruebas estadísticas que se realizaron permitieron reconocer los beneficios que los datos adquiridos mediante procedimientos automáticos presentan.

BIBLIOGRAFÍA

- Adame S. y E. Ramírez M.; 2005. Análisis de intervención de series de tiempo y su aplicación a la producción de sedimentos en la Cuenca del Río Texcoco, México. Quivera, Revista de estudios urbanos, regionales, territoriales, ambientales y sociales. Año/vol 7, Número 001. Universidad Nacional Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Alonso Mejía A.; 1996. Biology and conservation of overwintering monarch butterflies in México, PhD., University of Florida, Gainesville.
- Alvarado Flores, M. I.; 2008. Deforestación y tiempo climático: Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México, 2007-2008. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- Arriaga, L., L. Gómez; 2004. Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México. En: J. Martínez y A. Fernández, (eds) Cambio Climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología.
- Ayllón T.; 1996. Elementos de Meteorología y Climatología. México, Trillas. 197pp.
- Betts, A. R., P. D. Falloon, K. K. Goldewijk y N. Ramankutty.; 2007. Biogeophysical effects of land use on climate: Model simulations of radiative forcing and large-scale temperature change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142, pp. 216-233.
- Bounoua, L., R.S. DeFries, M.L. Imhoff, M.K. Steininger; 2004. Land use and local climate: A case study near Santa Cruz, Bolivia. *Meteorology and Atmosphere*
- Brower, L. P.; 1999. Biological necessities of monarch butterfly overwintering in relation to the Oyamel forest ecosystem in México. In: J. Hoth, L. Merino, K. Obenhauser, I. Pisanty, S. Rice, T. Wilkinson (eds). Paper presentatios: 1997 North American Conference on the Monarch Butterfly (Morelia, México). The Comission for Environmental Cooperation, Montreal, Canada. Pp. 11-28.
- Brower, L., G. Castilleja, A. Peralta, J. López-García, L. Bojorquez-Tapia, S. Díaz, D. Melgarejo y M. Missrie; 2002. Quantitative Change in forest quality in a principal overwintering area of the Monarca butterfly in Mexico. 1971-1999. *Conservation Biology*, 16 (2), 346-359.

- Caldentey, J.; Promis, A., Schmidt, H. e Ibarra, M.; 2000. Variación microclimática causada por una corta de protección en un bosque de lenga. Departamento de Silvicultura. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- Carlón, A. T.; 2006. Actualización y Manejo de las Bases de Datos de Precipitación y Temperatura par el Estado de Michoacán.
- Calvert, W. H., W. Zuchowski, L. P. Brower; 1982. The impact of forest thinning on microclimate in monarch butterfly (*Danaus plexippus* L.) overwintering areas of Mexico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 42, 11-18.
- Calvert, W. H., L. P. Brower; 1986. The location of monarch butterfly (*Danaus plexippus* L.) overwintering colonies in Mexico in relation to topography and climate. *Journal of the Lepidopterist Society*, 40, 164-187.
- Contreras S., Alcalá F. J., Domingo F., García M., Puigdefábregas J., Pulido-Bosch A.; 2006. Desarrollo de un Método para la Evaluación del Balance Hídrico Anual en Regiones Montañosas Semiáridas. Aplicación a Sierra de Gádor (Almería). V Congreso Ibérico sobre Planificación y Gestión de Águas. Área temática 5.1 Métodos y Modelos de Evaluación. Faro (Portugal).
- COFOM, 2007. Foro Monarca. Comisión Forestal del Estado de Michoacán.
- CONANP, 2001. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Comisión Nacional de áreas Naturales Protegidas, México.
- CONANP, 2003. Estimación de la tasa de transformación del hábitat en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, periodo 1976-2000. Comisión Nacional de áreas Naturales Protegidas y Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. Septiembre 2003.
- Chuvieco, E. 2007. Teledetección ambiental. Ariel Ciencia. Barcelona, España.
- De la Cruz Gallego Ma., García García J. A. y Vaquero José Ma.; 2004. Distribución espacial de índices de frecuencia de precipitación diaria en la península ibérica. *Física de la Tierra*, 16, pp. 161-174.
- ArclInfo Workstation, 2004. Environmental Systems Research Institute, Inc. 1992-2000.
- ERDAS Imagine, 2006. Leica Geosystems Geospatial Imaging. LLC. 1991-2006.
- ERICIII, 2005. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

-
- Fernández García F.; 1996. Manual de Climatología Aplicada. Clima, Medio Ambiente y Planificación. Serie Mayor, Espacios y Sociedades. Editorial Síntesis. Madrid, España.
- Figueras, S., Gargallo, P.; 2003. Análisis Exploratorio de Datos (A.E.D). 5campus.com, Estadística. <http://www.5campus.com/leccion/aed>.
- García, E.; 1997. Climatología de la zona de hibernación de la Mariposa Monarca en la Sierra Transvolcánica de México, Invierno 1991-1992. Serie Varia, núm. 16. Primera Edición. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- García, E.; 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Serie Libros, núm 6. Quinta Edición. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Helsel, D. R. and Hirsch, R. M.; 1992. Statistical Methods in Water Resources. Studies in Environmental Science 49. Elsevier Science Publishers. Amsterdam, The Netherlands. Pp. 12-13.
- Hernández S., Fernández-Collado y Baptista Lucio; 2006. Método de la Investigación. Mc Graw Hill, cuarta edición, México.
- Hoth, J.; 1995. Mariposa monarca, mitos y otras realidades aladas. Ciencias, 37, 19-28. INEGI. 2000. Diccionario de datos de uso de suelo y vegetación.
- INEGI, 1983. Conjuntos de datos vectoriales, cartas topográficas escala 1:50,000 versión 3. Instituto Nacional Estadística, Geografía e Informática, México.
- Johannes J. Feddema, Keith W. Oleson, Gordon B. Bonan, Linda O. Mearns, Lawrence E. Buja, Gerald A. Meehl, Warren M. Washington; 2005. The Importance of Land-Cover Change in Simulating Future Climates. Science, Vol. 310. Pp. 1674-1678.
- Lillesand M. T., Kiefer W. R. and Chipman W. J.; 2004. Remote Sensing and Image Interpretation. Wiley International Edition. Fifth Edition.
- Masera, O., M. J. Ordoñez, R. Dirzo; 1997. Carbon emisión from Mexican forest: current situation and logn-term scenarios. Climate Change, 24, 256-295.
- Mendoza E. M., Bocco G., Bravo M. Y López G. E; 2004. Evaluación de la Calidad espacial y Temporal de estaciones Meteorológicas: El caso de la Cuenca del Lago de Cuitzeo. Ciencia Nicolaita No. 39.
- Mirón P. I., Montero R. J. C., Criado-Álvarez J. J., Gutiérrez A. G., Paredes B. D., Mayoral A. S. y Linares G. C.; 2006. Tratamiento y Estudio de Series de

-
- Temperatura para su Aplicación en Salud Pública. Revista Española de Salud Pública, mar-abr. Vol. 80, no. 2, p.113-124.
- Oberhauser, K., A. T. Peterson; 2003. Modeling current and future potential wintering distribution of eastern North American monarch butterflies. PNAS, 100, 14063-14068.
- Orellana, L. R, y M. E. Hernández; 2004. Clima. En: Bautista, Z. F, H. Delfin y J. L. Palacio (Eds). Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. SEMARNAT-INE-UNAM-UADY-CONACYT. México. pp 145-181.
- Paniagua Ruiz, Ignacio; 2008. Análisis híbrido para la identificación anual de cambios en la cubierta del suelo: La Chinantla, Oaxaca, 2004-2005. Tesis de Licenciatura. Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, U.N.A.M.
- Pérez A. Carlos, Germán Poveda, Oscar J. Mesa, Luis F. Carvajal y Andrés Ochoa; 1994. Evidencias de cambio climático en Colombia: Tendencias y cambios de fase y amplitud de los ciclos anual y semianual. Bulletin American Meteorological Society. Volume 75, Issue 4 April 1994.
- Ramírez, M. I., J. Azcárate y L. Luna; 2003. Effects of human activities on monarch butterfly habitat in protected mountain forest, México. The Forestry Chronicle, 79 (2), 242-246.
- Ramírez, M. I.; 2001. Los Espacios Forestales de la Sierra de Angangueo (Estados de Michoacán y México), México: Una Revisión Geográfica. Tesis doctoral. Servicio de Publicaciones. Universidad Complutense de Madrid. España.
- Ramírez, M. I. y R. Zubieta; 2005. Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Reporte Técnico preparado para el Fondo Monarca (Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza - FMCN y el Fondo Mundial para la Naturaleza - WWF). México D.F. Septiembre 2005.
- Ramírez Ramírez, M. Isabel, Ruth Miranda Guerrero, Raúl Zubieta Hernández.; 2008. Vegetación y Cubiertas del Suelo 2006 (1:75000). Serie Cartográfica Monarca. Volumen I. Segunda Edición. MBSF-CIGA-UNAM-INE-SEMARNAT-UNESCO
- Ruiz, L. R.; 2006. Evaluación multitemporal de los cambios en la cubierta vegetal y el uso del suelo en el sur de Quintana Roo, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, UNAM. México.
- Roger A. Pielke S.; 2005. Land Use and Climate Change, Science, Vol. 310. Pp. 1674-1678.

Salinas, M. V., 1998. Actualización y Manejo de las bases de datos de precipitación y temperatura para el estado de Michoacán. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. División de Ciencias y Humanidades, Facultad de Biología.

Salinas Castillo, W. E.; Treviño Garza, E. J. 2002. Impacto de la deforestación en el microclima de la subcuenca río Corona, Tamaulipas, México. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 47, pp. 59-76.

SEMARNAP, 1997. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Primera edición. Noviembre de 1997. SEMARNAP, México.

SEMARNAT-INE, 2001. Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Primera edición. Julio de 2001. SEMARNAT-INE, México.

SYSTAT 11, 2004. SYSTAT Software Inc.

Téllez Váldez O. and Dávila-Aranda P.; 2002. Protected areas and climate change, a case study of the cacti in the Tehuacan-Cuicatlan Biosphere Reserve, Mexico. Conservation Biology, pages 846-853.

Velázquez, A., J. Mas, Mayorga, J. Palacio, G. Bocco, G. Gómez, L. Luna, I. Trejo, J. López, M. Palma, A. Peralta, J. Prado y F. González (2001) El Inventario Forestal Nacional 2000. Ciencias, 64, 13-19.

Villers, L. e I. Trejo; 1998. El impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. Interciencia, 23, 10-19.

WMO, 2008. Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO-No. 8. 7th edition. World Meteorological Organization. Switzerland. CD-ROM.

Zubieta Hernández, R. R.; 2008. Dinámica de la cubierta vegetal en el área natural protegida de la mariposa Monarca en el periodo 1983-2003. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Younis M.T., Gilabert M.A. y Meliá J.; 1999. La dinámica de la vegetación como indicador de la desertificación en la cuenca del Guadalentín. Revista de Teledetección.

Páginas WEB:

http://www.wwf.org.mx/foromonarca/foro_regionalizacion.html

Foro Regional Mariposa Monarca. Junio de 2007

<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

Global Land Cover Facility. Earth Science Data Interface. Marzo de 2008.