



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**“ANÁLISIS DE LA TENDENCIA DE NEVADAS EN  
LA SIERRA NEVADA, MÉXICO”.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**LICENCIADA EN GEOGRAFÍA**

**P R E S E N T A**

**HERMELINDA ISLAS CURIEL**

**ASESORA DE TESIS:**

**DRA. LETICIA GÓMEZ MENDOZA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA MÉXICO D.F. 2011.**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## DEDICATORIA

A lo más importante de mi vida.

Mis hijos: Alma y Héctor

Mi esposo: José Hilario

Gracias a la vida que me ha dado tanto  
Violeta Parra.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme concluir la carrera.

A mi asesora de tesis Dra. Leticia Gómez Mendoza

Con mi más profundo agradecimiento por compartir sus amplios conocimientos y enseñarme el maravilloso camino de la investigación, además de actualizarme en la climatología y por su dedicación, paciencia y motivación para concluir el trabajo, gracias.

A los sinodales:

Dra. Rosalía Vidal por motivarme a terminar la carrera y revisar la tesis.

Dr. Lorenzo Vázquez Selem, por sugerirme el tema de tesis y por la revisión, observaciones y comentarios que me ayudaron a mejorar el trabajo.

Al maestro, amigo y compañero de generación José Manuel Espinoza gracias por su apoyo en la revisión y comentarios en la presente tesis.

A la maestra María de la Paz Medina, por su amistad y apoyo en la revisión del trabajo.

Al maestro Raúl Vera Alejandro del CIEMAD\_IPN.

A los maestros del colegio de geografía que con sus grandes conocimientos me motivaron y enseñaron a amar la geografía; Tobyane Berenberg, Francisco Hernández, Martha Cervantes, Carmen Sámano,

A la familia Ortiz Hernández, Carmen, Celina, Leticia, gracias por recibirme en su familia.

A mis hermanos, familiares y amigos:

Yola, Malena, Lucia, Cata, Silvia, Tere, Juan y Alfonso, Blanca, Delia, Enrique, y Ricardo, Jorge Vázquez, Luisa Torres, Maricela Ruiz, Rosita Villanueva y familia Martínez Vázquez.

A mis amigos y ex compañeros del INEGI.

Humberto Ramos Ramos, por motivarme a concluir la carrera, ayudarme a elegir el tema de tesis y enseñarme que nunca es tarde para aprender, Julián Domínguez, gran compañero y amigo de trabajo, Rosi Luna compañera de generación y de trabajo, Laura García, Jennifer Aguilar, Noemí López, Rebeca Reyes, Mariano Villalobos, Susana, Anita, Lulú, Nicolás y Carlos.

Al grupo del Seminario de Eventos Extremos por el agradable ambiente tanto en las reuniones de clase como en las prácticas realizadas: Carmen Yadira, Norma Angélica, Raquel y Edgar.

Asunción Avendaño y Adriana Arizmendi.

A todo el personal del SMN en especial a la Mtra. Carmen Hoechst, gracias por animarme a concluir la carrera, Carmen Canul y Oliva Parada que me ayudó a conseguir información de la NOAA.

A los ejidatarios y las personas entrevistadas de todas las comunidades visitadas en especial las de Río Frío, Amecameca, Santiago Xalixintla y Colonia Manuel Ávila Camacho, gracias por compartir sus conocimientos y experiencias.

Este trabajo formó parte del proyecto CNA-CONACYT —Análisis Estadístico de Eventos Hidrometeorológicos Extremos en el Sur y Sureste de México” del CIEMAD IPN-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras y proyecto PIFFyL 2007-2010.



“¡Qué hermosas montañas las de México!  
Aquellos conos de nieve perpetua  
es lo más hermoso del mundo;  
esas cabezas de nieve majestuosa  
que se elevan en medio  
de la brillante vegetación de los trópicos”.

Alejandro de Humboldt

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b>	Pág	11
<b>INTRODUCCIÓN</b>		12
<b>OBJETIVOS</b>		13
<b>HIPÓTESIS</b>		13
<b>METODOLOGÍA</b>		13
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>		15
<b>CAPÍTULO 1</b>		
<b>NEVADA SU ORIGEN E IMPORTANCIA</b>		17
1.1 Definición		17
1.1.1 Formas de registro		17
1.1.2 Efecto e importancia de las nevadas		20
1.1.3 Origen de las nevadas		22
1.2 Elementos meteorológicos que intervienen en la manifestación de este fenómeno		26
1.2.1 Sistemas de tiempo atmosférico que originan nevadas		26
1.3 La nevada, principal aporte en la recarga de los glaciares		32
1.3.1 Efectos del calentamiento global en los glaciares		35
1.4 La Sierra Nevada: características biofísicas e importancia de los glaciares		37
1.4.1 Fisiografía, vegetación, suelo y clima		38
1.4.2 Importancia de los glaciares de la Sierra Nevada		48
<b>CAPÍTULO 2</b>		
<b>INVESTIGACIÓN HISTÓRICA Y HEMEROGRÁFICA DE LAS NEVADAS EN EL CENTRO DEL PAÍS</b>		54
2.1 Época prehispánica		55
2.2 Época colonial		58
2.3 Siglo XX		59
2.3.1 Nevadas en la Ciudad de México en el Siglo XX		63
2.3.2 Caracterización de la nevada de 1967		64
<b>CAPÍTULO 3</b>		
<b>TENDENCIA, FRECUENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LAS NEVADAS EN EL CENTRO DE MÉXICO</b>		73
3.1 Información de nevadas a partir de datos instrumentales (1935-1989)		73
3.1.1 Base de datos		74
3.1.2 Criterios para la selección de la información		75
3.1.3 Distribución espacial de los eventos de nevada en los estados del centro del país		77
3.1.4 Distribución temporal de las nevadas		88
3.1.5 Tendencia de temperatura mínima extrema y precipitación invernal alrededor de la Sierra Nevada		93
3.2 Tendencia de nevadas en la estación Nevado de Toluca. Estudio de caso		103

3.3 Análisis de eventos (revisión hemerográfica)	115
3.3.1 Nevadas recientes (2008-2010)	118
3.4 Relación entre eventos El Niño y las nevadas en el centro del país	138
3.5 Resultados del trabajo de campo	144
<b>CONCLUSIONES</b>	160
<b>REFERENCIAS</b>	164
<b>ANEXOS</b>	168



## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

### ÍNDICE DE CUADROS

		Página	
Cuadro	1.1	Clasificación de Nortes	28
Cuadro	1.2	Sistemas de captación de agua	49
Cuadro	2.1	Nevadas. Época Prehispánica	58
Cuadro	2.2	Nevadas en la época colonial	59
Cuadro	2.3	Nevadas que se observaban desde el observatorio de Tacubaya	60
Cuadro	2.4	Nevadas en el siglo XIX	63
Cuadro	3.1	Número total de estaciones con nevada por estado	78
Cuadro	3.2	Distribución altitudinal de nevadas en el centro del país	86
Cuadro	3.3	Temperatura mínima extrema, estación Ixta-Popo	99
Cuadro	3.4	Relación de eventos de nevada y precipitación invernal	115
Cuadro	3.5	Información hemerográfica de eventos de nevada 1990-2010	116
Cuadro	3.6	Información meteorológicos en los observatorios del centro del país 2 de enero	120
Cuadro	3.7	Relación de años con sucesos de El Niño y eventos de nevada	139
Cuadro	3.8	Distancias de los puntos recorridos desde Amecameca a La Joya	151
Cuadro	3.9	Datos de puntos con coordenadas y temperatura	151

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	1.1	Esquema metodológico	14
Figura	1.2	Localización geográfica de la Sierra Nevada y el área de estudio	15
Figura	1.3	Registro de nevadas. Forma 212-50	18
Figura	1.4	Tarjeta de Resumen mensual y anual. Forma T-9	19
Figura	1.5	Simbología de nevada en los boletines meteorológicos y en la carta de superficie	20
Figura	1.6	Nevada en el Iztaccíhuatl 22 de diciembre de 2009	21
Figura	1.7	Formas de cristalización de los copos de nieve	24
Figura	1.8	Nieve en Iztaccíhuatl 22 de diciembre de 2009 y 20 de enero 2010	25
Figura	1.9	Imagen de satélite con la simbología de los diferentes sistemas de tiempo	29
Figura	1.10	Proceso de formación de la Gota fría o DANA	31
Figura	1.11	Partes de un glaciar	33
Figura	1.12	Proceso de transformación de la nieve en hielo	34
Figura	1.13	Sierra Nevada	38
Figura	1.14	Provincias fisiográficas de los estados del centro de México y la Sierra Nevada	39
Figura	1.15	Perfil de las comunidades vegetales de la Sierra Nevada	40
Figura	1.16	Vegetación alpina y Cardo santo o Rosa de las Nieves en el Iztaccíhuatl	41
Figura	1.17	Suelos de la zona central de México y Sierra Nevada	43
Figura	1.18	Climas de la zona centro de México y Sierra Nevada	44
Figura	1.19	Temperatura mínima extrema	46
Figura	1.20	Temperatura mínima promedio	46
Figura	1.21	Precipitación total anual de los estados del centro del país	47
Figura	1.22	Ubicación de los glaciares del Iztaccíhuatl	51
Figura	1.23	Grietas y rimayas en los glaciares del Iztaccíhuatl	52
Figura	1.24	Comunidades de algas que viven en zonas con hielos permanentes	53

Figura 2.1	Símbolo y representación de nevada en época prehispánica	57
Figura 2.2	Número de eventos de nevada por década	62
Figura 2.3	Carta de superficie del día 10 de enero de 1967	65
Figura 2.4	Carta de superficie del día 11 de enero de 1967	66
Figura 2.5	Condiciones de temperatura y humedad registradas en el observatorio de Tacubaya	67
Figura 2.6	Nevada del día miércoles 11 de enero de 1967	68
Figura 2.7	Nevada en la Ciudad de México	69
Figura 2.8	Nevada en Paseo de la Reforma, Ciudad de México	70
Figura 2.9	Metro en construcción con nieve en la ciudad de México	70
Figura 2.10	El día que nevó en la Ciudad de México	71
Figura 2.11	Nevada en la Capital 11 de enero de 1967	72
Figura 3.1	Ubicación de estaciones con nevada en el Distrito Federal	79
Figura 3.2	Ubicación de estaciones con nevada en el estado de Hidalgo	79
Figura 3.3	Ubicación de estaciones con nevada en el Estado de México	80
Figura 3.4	Ubicación de estaciones con nevada en el estado de Puebla	81
Figura 3.5	Ubicación de estaciones con nevada en el estado de Tlaxcala	82
Figura 3.6	Distribución de estaciones con nevada en los estados del centro del país	83
Figura 3.7	Distribución espacial de años con nevada en estaciones del centro del país	84
Figura 3.8	Distribución espacial de días con nevada en estaciones del centro del país	85
Figura 3.9	Frecuencia de número de días con nevada por altitud 1935-1989	87
Figura 3.10	Diagrama de dispersión con línea de tendencia exponencial	87
Figura 3.11	Estaciones con evento de nevada por año periodo 1935-1989	88
Figura 3.12	Distribución de nevadas por mes	89
Figura 3.13	Distribución de estaciones con nevada entre el 17-21 de enero de 1958	90
Figura 3.14	Distribución de estaciones con nevada entre el 10-11 de enero de 1967	90
Figura 3.15	Distribución de estaciones con nevada entre el 15-19 de marzo de 1978	91
Figura 3.16	Distribución de estaciones con nevada entre el 19-24 de enero de 1981	91
Figura 3.17	Distribución de estaciones con nevada entre el 12-15 de febrero de 1983	92
Figura 3.18	Distribución de estaciones con nevada entre el 4-6 de marzo de 1987	92
Figura 3.19	Estaciones alrededor de la Sierra Nevada	93
Figura 3.20	Temperatura mínima extrema de la estación 15007 Amecameca	94
Figura 3.21	Temperatura mínima extrema de la estación 15018 Colonia Ávila Camacho	94
Figura 3.22	Temperatura mínima extrema de la estación 15106 San Rafael	95
Figura 3.23	Temperatura mínima extrema de la estación 15252 Atlautla	95
Figura 3.24	Temperatura mínima extrema de la estación 15288 Ecatzingo	96
Figura 3.25	Temperatura mínima extrema de la estación 15103 San Pedro Nexapa	96
Figura 3.26	Temperatura mínima extrema de la estación 21046 Huejotzingo	97
Figura 3.27	Temperatura mínima extrema de la estación 29015 Mazapa	97
Figura 3.28	Temperatura mínima extrema de la estación 15082 Río Frío	98
Figura 3.29	Temperatura mínima extrema de la estación Hueyatlaco	98
Figura 3.30	Precipitación invernal. Estación Amecameca	100
Figura 3.31	Anomalías de la precipitación invernal en la estación Amecameca	100
Figura 3.32	Precipitación invernal. Estación Colonia Ávila Camacho	101
Figura 3.33	Anomalías de la precipitación invernal en la estación Colonia Ávila Camacho	101
Figura 3.34	Precipitación invernal. Estación Huejotzingo	102
Figura 3.35	Anomalías de la precipitación invernal en la estación Huejotzingo	102
Figura 3.36	Imagen de satélite del Nevado de Toluca	103
Figura 3.37	Estación climatológica 15062 Nevado de Toluca	104
Figura 3.38	Tendencia de días con nevada en la estación Nevado de Toluca	106
Figura 3.39	Número de días con nevada por quinquenio en la estación Nevado de Toluca	106

Figura 3.40	Media móvil de nevadas por quinquenio en la estación Nevado de Toluca	107
Figura 3.41	Promedio mensual de días con nevada en el Nevado de Toluca	107
Figura 3.42	Temperatura media en la estación Nevado de Toluca	108
Figura 3.43	Temperatura máxima promedio en la estación Nevado de Toluca	109
Figura 3.44	Temperatura máxima extrema de la estación Nevado de Toluca	109
Figura 3.45	Temperatura mínima promedio en la estación Nevado de Toluca	110
Figura 3.46	Temperatura mínima extrema en la estación Nevado de Toluca	110
Figura 3.47	Temperatura en días con nevada en la estación Nevado de Toluca	111
Figura 3.48	Precipitación total anual en la estación Nevado de Toluca	112
Figura 3.49	Tendencia de la precipitación invernal en la estación Nevado de Toluca	113
Figura 3.50	Anomalías de precipitación invernal y su tendencia en Nevado de Toluca	113
Figura 3.51	Tendencia de nevadas de la temporada invernal en la estación Nevado de Toluca	114
Figura 3.52	Imagen de satélite del Boletín meteorológico del 2 de enero de 2008	119
Figura 3.53	Mapa de pronóstico 1 de enero de 2008	119
Figura 3.54	Temperatura en el aeropuerto de la Ciudad de México del 2 de enero de 2008	120
Figura 3.55	Imagen de satélite del 16 de enero de 2009	122
Figura 3.56	Imagen de satélite del 22 de febrero de 2009	123
Figura 3.57	Pronóstico del día 22 de febrero de 2009	124
Figura 3.58	Boletín meteorológico del día 27 de octubre de 2009	125
Figura 3.59	Boletín meteorológico del día 27 de noviembre de 2009	126
Figura 3.60	Imagen de satélite del 20 de diciembre de 2009	127
Figura 3.61	Pronóstico del SMN donde se anuncia potencial de nevadas solo en el norte	127
Figura 3.62	Boletín meteorológico del 20 de diciembre de 2009	128
Figura 3.63	Imagen de satélite del día 3 de enero de 2010	129
Figura 3.64	Imagen de satélite del día 8 de enero de 2010	130
Figura 3.65	Pronóstico de nevadas para el norte y centro del país día 8 de enero de 2010	131
Figura 3.66	Imagen de satélite del 11 de enero de 2010	132
Figura 3.67	Imagen de satélite del 15 de enero de 2010	133
Figura 3.68	Pronóstico de nevadas en el norte del país, día 30 de enero 2010	134
Figura 3.69	Nevada en Iztaccíhuatl 19 de febrero 2010	134
Figura 3.70	Imagen de satélite del 22 de abril de 2010	135
Figura 3.71	Anomalías de temperatura máxima y mínima SMN	137
Figura 3.72	Nevada en Acaxochitlán Hgo. 3 de enero de 2008	145
Figura 3.73	Volcán Iztaccíhuatl desde el lado oriente 5 de febrero de 2008	146
Figura 3.74	Paso de Cortés 24 de julio de 2008	147
Figura 3.75	Paraje de La Joya al occidente del Iztaccíhuatl 4 de octubre de 2008	149
Figura 3.76	Itinerario recorrido y puntos más destacados de la práctica de noviembre 2008	152
Figura 3.77	Iztaccíhuatl desde San Pedro Nexapa	152
Figura 3.78	Ruta de ascenso al Iztaccíhuatl	153
Figura 3.79	Vista del Iztaccíhuatl desde el punto más alto alcanzado	153
Figura 3.80	Vista del Iztaccíhuatl al atardecer 16 de noviembre de 2008	154
Figura 3.81	Iztaccíhuatl vista desde Los Arbolitos 17 de diciembre de 2008	154
Figura 3.82	Pastos cubiertos de hielo y algunos manchones de nieve, 25 de enero 2009	155
Figura 3.83	Iztaccíhuatl y Popocatepetl marzo de 2009	156
Figura 3.84	Nevada en el Iztaccíhuatl 21 de diciembre de 2009	157
Figura 3.85	Iztaccíhuatl y Popocatepetl nevados 20 de enero de 2010	158
Figura 3.86	Vista de la Sierra Nevada desde el Cerro Gordo, Santa Clara, Ecatepec, Mex	158
Figura 3.87	Nevado de Toluca 2 de abril 2010	159



—Sin duda alguna, Sancho,  
que ya debemos de llegar a la segunda región del aire,  
adonde se engendra el granizo, las nieves;  
los truenos, los relámpagos y los rayos  
se engendran en la tercera región,  
y si es que desta manera vamos subiendo,  
presto daremos en la región del fuego,  
y no sé yo cómo templar esta clavija  
para que no subamos donde nos abrasemos.

Cervantes. El Quijote, 2ª parte, Cap.XLI

## RESUMEN

Los glaciares de la Sierra Nevada han ido retrocediendo aceleradamente en los últimos años, a tal grado que en el año 2000 los del Popocatepetl se han extinguido por completo, mientras que el Iztaccíhuatl ha perdido más de la mitad de su masa glaciar. Siendo la nevada el aporte principal en la recarga de los glaciares, es de gran importancia realizar un análisis de este fenómeno meteorológico y su tendencia, que es el tema de que se ocupa la presente tesis.

El trabajo se divide en tres capítulos. En el primero se hace un análisis sobre el evento de la nevada, su origen e importancia y los sistemas de tiempo atmosférico que la generan, así como las características propias de la Sierra Nevada y la importancia de los glaciares. El segundo capítulo comprende una reseña histórica y hemerográfica de las nevadas en el centro de México, para lo cual se ha dividido en tres épocas, prehispánica, colonial y siglo XX; así mismo, se han investigado las nevadas ocurridas en la ciudad de México en el siglo pasado, caracterizando la más intensa y última que tuvo lugar el 10 y 11 de enero de 1967. En el tercer capítulo se ha determinado la frecuencia y distribución de nevadas en el centro del país a partir de la información de las nevadas registradas en el periodo 1935-1989 en las estaciones climatológicas ubicadas en la zona de estudio a través de técnicas estadísticas y Sistemas de Información Geográfica (SIG). La estación Nevado de Toluca se trabajó por separado, como un estudio de caso, pues se determinó su tendencia tanto del número de nevadas como de la temperatura y precipitación invernal.

Mediante investigación hemerográfica se completó la información de nevadas de los últimos años; por último se dan los resultados del trabajo de campo que se efectuó durante la investigación y las conclusiones generales.

## INTRODUCCIÓN

La tarde era triste, la nieve caía;  
cual blanco sudario los campos cubría,  
si un ave volaba oíase el rumor.

Manuel María Flores

La nevada es una de las formas en que se presenta la precipitación, consiste en la caída de agua en estado sólido en forma de pequeños cristales de hielo ramificados que se desprenden de las nubes y caen como copos blancos y ligeros. Para que se presente este fenómeno es indispensable que en el ambiente se combinen dos elementos necesarios tanto para su formación como para que la nieve llegue al suelo; éstos son alta concentración de humedad en la atmósfera para que haya nubosidad y temperatura suficientemente baja, cercana o inferior a 0°C.

En el centro del país, las nevadas ocurren por lo general en las partes altas de las montañas y en algunas ocasiones llegan hasta los valles altos, donde la caída de nieve puede ocasionar grandes daños dependiendo de la intensidad y los sitios donde se presente. Sin embargo, la nevada también es un elemento importante e indispensable principalmente en la recarga de los glaciares, los cuales son de gran utilidad, ya que reflejan mayor cantidad de radiación solar que cualquier otra superficie natural ayudando a mantener el equilibrio ecológico y, desde el punto de vista hidrológico, sirven como depósitos de agua.

En los últimos años los glaciares de la Sierra Nevada han ido disminuyendo considerablemente hasta casi desaparecer por completo; algunas personas aseguran que esto es debido a la disminución de la caída de nieve y se dice que en estas montañas el promedio anual era de ocho nevadas que se presentaban en la temporada invernal, llegando en ocasiones hasta catorce, mientras que en la actualidad sólo se registran dos nevadas y de menor intensidad (La Crónica, diciembre de 2005). Los efectos del calentamiento global y la variabilidad climática local pueden ser los causantes de esta disminución; sin embargo, no hay estudios precisos en cuanto a la climatología de alta montaña debido a la falta de información, pues las estaciones meteorológicas más cercanas con registros para poder realizar estudios sobre este tema, se encuentran en altitud muy por debajo de las nieves perpetuas.

El presente trabajo pretende estudiar los fenómenos atmosféricos asociados que dan origen a las nevadas y presentar una recopilación de los registros históricos de la ocurrencia de este fenómeno en la parte central del país. Por otro lado, a través de la consulta, recopilación y análisis de información de las estaciones

climatológicas de los estados localizados alrededor de la Sierra Nevada se evalúa la frecuencia para estimar la tendencia del número de días con nevada. Así mismo, se espera hacer una evaluación de la temperatura y la precipitación, elementos meteorológicos que están más directamente relacionados con las nevadas, tanto para que ocurran como para que la nieve caída permanezca sobre la superficie de glaciares.

### **OBJETIVOS**

Generales:

- Investigar los sistemas de tiempo asociados y las condiciones meteorológicas que originan las nevadas en el centro de México.
- Estimar la tendencia de las nevadas en los estados que rodean a la Sierra Nevada.

Particulares:

- Localizar y describir las nevadas históricas más importantes en el centro del país.
- Determinar la tendencia del número de días con nevada, de la temperatura y la precipitación en la estación Nevado de Toluca.
- Investigación hemerográfica de las últimas nevadas en los estados del centro de México.
- Evaluación de la temperatura y precipitación en estaciones que rodean a la Sierra Nevada.

### **HIPÓTESIS**

Una de las causas principales del retroceso de los glaciares de la Sierra Nevada puede estar asociada a la disminución del número de días con nevadas de la temporada invernal; es probable que en este lugar se esté presentando un incremento en la temperatura o disminución en la humedad que altere las condiciones climáticas necesarias tanto para que se presente este tipo de precipitación como para la permanencia de la nieve en los glaciares. Bajo este contexto y mediante el análisis de las nevadas ocurridas alrededor de la Sierra Nevada se pretende identificar la frecuencia con que se está presentando el fenómeno para estimar su tendencia, esperando con los resultados, responder a las interrogantes del motivo de desaparición de los glaciares.

### **METODOLOGÍA**

Para la realización del presente estudio se emplearon diferentes técnicas metodológicas que están de acuerdo con el tipo de investigación realizado en cada etapa. De esta manera, se utilizaron metodologías tales como la consulta de información bibliográfica y hemerográfica, la recopilación y depuración de bases de datos climatológicos de diferentes fuentes, aplicación de técnicas estadísticas, elaboración y análisis de mapas

mediante sistemas de información geográfica (SIG), así como investigación de campo que se realizó por medio de entrevistas y encuestas, tanto a personal que está en contacto con los glaciares y lugares donde es frecuente el fenómeno de nevada, como a especialistas en meteorología que ayudaron a visualizar las condiciones atmosféricas que se requieren para que se presente este fenómeno y los sistemas de tiempo asociados que intervienen en su formación (Figura 1.1).

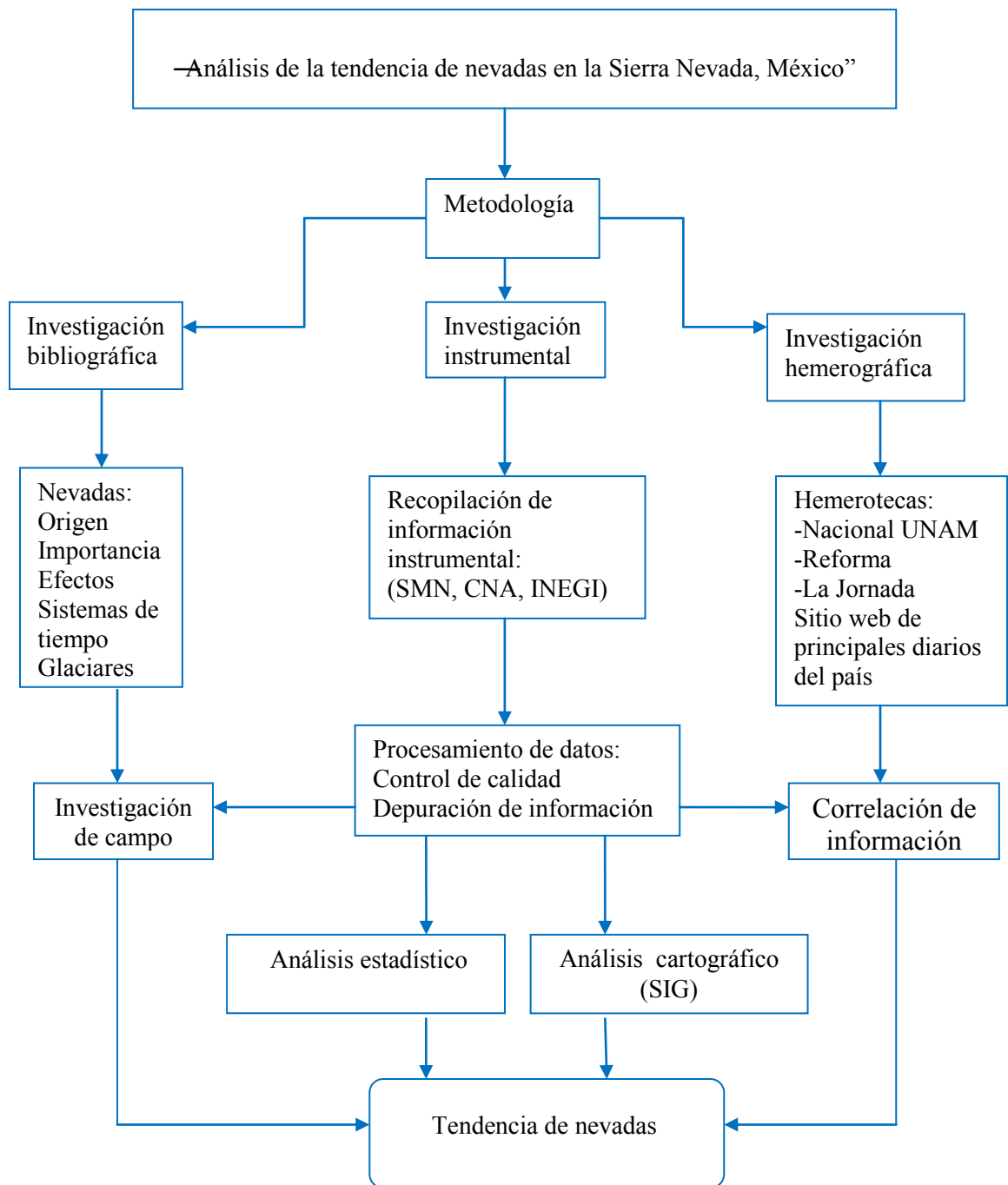


Figura 1.1 Esquema metodológico utilizado en la presente investigación.



### ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio del presente trabajo es la Sierra Nevada, localizada sobre el Eje Volcánico Transversal, al sureste del Estado de México; sin embargo, las estaciones climatológicas ubicadas en esta zona son muy pocas y cuentan con escasa información de nevadas, por lo cual fue necesario ampliar el área de estudio con las estaciones de los estados que rodean a esta sierra y que cuentan con registros de este elemento, considerando que por su altitud y proximidad el día que se haya presentado el evento en alguna de las estaciones de estos estados, también haya ocurrido el fenómeno en la Sierra Nevada (Figura 1.2).

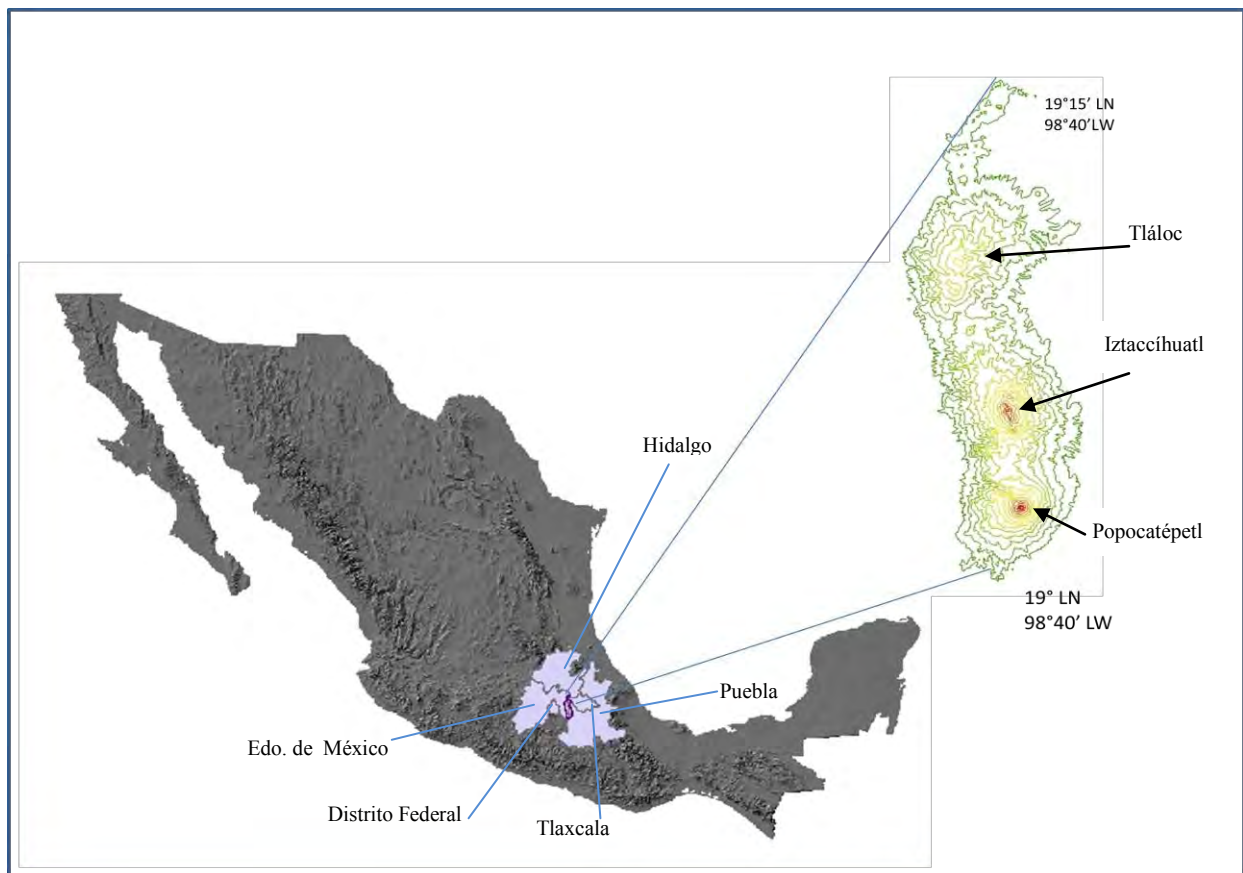


Figura 1.2 Localización geográfica de la Sierra Nevada y el área de estudio. Fuente: ESRI (2006).

De esta manera, fueron elegidos los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Estado de México y el Distrito Federal, que se ha definido como “estados del centro del país”. El estado de Morelos no se incluyó a pesar de que una parte de la Sierra Nevada se encuentra en este estado porque en las estaciones climatológicas consultadas no se encontró ningún registro de nevadas.

Así mismo, la investigación realizada tanto para las nevadas históricas como para la información hemerográfica y las nevadas de los años más recientes se hizo considerando los estados definidos como del centro del país.

## CAPÍTULO 1

### NEVADA, SU ORIGEN E IMPORTANCIA

Si yo viera sólo un instante  
las siempre nevadas cimas  
del alto Popocatepetl  
y del gigante Iztaccíhuatl,  
¡Ay, cómo gozara mi alma!  
¡Ay, cuánta fuera mi dicha!  
¡Montañas americanas!  
¡Hermosas montañas mías!

Joaquín Gómez Vergara

#### 1.1 Definición.

La palabra nevada tiene su origen en el latín *nivatus*, *nivare*, que significa cubierto de nieve, en tanto que la palabra nieve, tiene su origen también en el latín *nivis*, que significa suma blancura (Real Academia de la Lengua, 2001). Desde el punto de vista meteorológico, la nevada es el efecto de nevar; asimismo, es la precipitación en forma de nieve que cae en un lugar durante un periodo de tiempo. Este fenómeno, que es una de las formas en las que se presenta la precipitación, consiste en la caída de agua en estado sólido, en forma de pequeños cristales de hielo ramificados que se desprenden de las nubes, los cuales se agrupan al caer en el seno de la nube y llegan al suelo como copos blancos y ligeros (Upadhyay, 1995). Es un fenómeno difícil de cuantificar por la facilidad con que es desplazada por el viento; sólo cuando la cantidad alcanza cierto grado de acumulación es posible estimarla; en este caso se mide en pulgadas o centímetros de espesor. De acuerdo con sus medidas se establece el grado de intensidad y así se habla de nevada débil cuando el espesor es menor a 25 cm; nevada media cuando alcanza entre 25 y 50 cm; fuerte cuando la capa está entre 50 y 70 cm; muy fuerte si alcanza de 70 cm a un metro y a partir de esa altura se considera nevada excepcional (Griffiths, 1985).

En nuestro país las nevadas son escasas, sobre todo en la parte central; sólo ocurren alrededor de una o dos nevadas por año de mayor o menor intensidad, pero sin que lleguen a considerarse excepcionales, motivo por el cual el fenómeno de la nevada, sus características, comportamiento, mediciones efectos y consecuencias, han sido poco estudiados en México (Cenapred, 2010).

##### 1.1.1 Formas de registro.

La nevada es un fenómeno de apreciación subjetiva, cuyo registro queda sujeto a criterio del observador

(González, 2006), pues aun cuando en la actualidad hay instrumentos que identifican las diferentes formas de precipitación, en todos los observatorios y las estaciones climatológicas convencionales del país se sigue registrando este meteoro en acuerdo con su apariencia, a juicio del observador, por lo que en algunas ocasiones es confundida una nevada con la caída de aguanieve, granizo blando o escarcha, mientras que en las estaciones automáticas no se registra el fenómeno y sólo pasa a formar parte de la lluvia acumulada cuando se fusiona la nieve.

Los símbolos que se utilizan para registrar este evento son los siguientes:



Para el caso en que esté nevando en el momento de la observación (Figura 1.3).



Para el suelo cubierto de nieve (Figura 1.3).

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS															212-50	
SUBDIRECCION DE HIDROLOGIA - DEPARTAMENTO DE HIDROMETRIA																
OBSERVACIONES CLIMATOLÓGICAS HECHAS A LAS 8 HORAS																
LATITUD: 19° 06' LONGITUD: 99° 45' ALTITUD: 4 146 M. MES: JULIO AÑO: 1985.																
DIVISION: ORIG. RIO LERMA MUNICIPIO: ZINACANTPEC ESTADO: MEXICO ESTACION: NEVADO DE TOLUCA																
DÍAS	TERMOMETRO AL ABRIGO			PLUVIO- METRO LECTURAS EN MM.	MICROMETRO		EVAPORA- CION EN 24 HS EN MM.	VEL. DIAS	ESTADO DEL TIEMPO			EN LAS 24 HS ANTERIO- RES A LA OBSERVACION		EN 30 DIAS.		
	AMBIENTE	MÁXIMA	MÍNIMA		LECTURAS EN MM.	LECTURAS EN MM.			A LA HORA DE LA OBSERVACION	VIENTO	VISIBILIDAD	FENOMENOS VARIOS	RESUMEN MENSUAL	TEMPERATURAS EN GRADOS CENTIGRADOS	LLUVIA EN mm.	EVAPORACION EN mm.
1	1.0		0.0	64.30	10.70	4.80	SI SE //	2-S	● Fresco	● Fres. Vent.	● Frio Vent.	27.0	30	2	2	
2	2.5	6.0	0.0	13.5	19.40	1.35	SI SE //	2-S	● Fresco	● Frio Vent.	● Frio Vent.	10.0	14	3	3	
3	2.0	5.0	0.0	8.0	26.05	4.95	SI SE //	2-S	● Fresco	● Frio Vent.	● Frio Vent.	7.2	10	4	4	
4	5.0	9.0	-0.5	Inap.	21.10	1.15	SI NW //	2-S	● Fresco	● Frio Vent.	● Frio Vent.	217.4	10	5	5	
5	3.0	6.5	1.0	4.0	23.95	3.15	SI NW //	2-S	● Fresco	● Frio Vent.	● Frio Vent.	6.6	30	6	6	
6	2.0	6.5	0.5	21.0	41.80	3.07	SI NW //	2-S	● Fresco	● Frio Vent.	● Frio Vent.	27.0	14	7	7	
7	2.0	7.5	0.0	2.0	40.73	2.89	SI E //	2-S	● Fresco	● Frio Vent.	● Frio Vent.	7.2	10	8	8	
8	0.0	7.5	0.0	11.0	48.84	3.31	SI SE //	2-S	● Fresco	● Frio Vent.	● Frio Vent.	217.4	10	9	9	
9	0.0	4.0	-1.0	6.7	52.23	2.23	SI SE //	2-S	○ Fresco	● Frio Vent.	● Frio Vent.	6.05	14	10	10	
10	2.5	6.0	-2.5	0.0	50.00	1.07	SI N //	2-S	○ Fresco	● Frio Vent.	● Frio Vent.	1.07	10	11	11	
11	3.0	8.0	-1.0	0.0	48.93	2.72	SI NE //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	12	12	
12	4.0	8.5	1.0	0.0	46.21	2.11	SI N //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	13	13	
13	3.5	9.5	1.0	Inap.	44.10	3.10	SI N //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	77.09	10	14	14	
14	4.0	9.0	0.5	5.5	46.50	6.05	SI N //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	15	15	
15	6.0	9.0	1.0	7.0	47.45	1.01	SI N //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	16	16	
16	2.5	10.0	1.0	7.5	53.94	2.14	SI SE //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	17	17	
17	4.0	7.5	0.5	2.0	53.80	2.60	SI SE //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	18	18	
18	3.5	10.0	0.0	5.0	56.20	2.26	SI N //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	19	19	
19	4.0	9.0	0.5	Inap.	53.94		SI NE //	2-8	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	20	20	
20																
21	3.5	9.0	0.0	2.8	50.20	1.89	SI SE //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	21	21	
22	1.0	10.0	0.0	4.5	52.81	2.71	SI SE //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	22	22	
23	2.5	9.0	1.0	0.0	50.10	1.37	SI SE //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	23	23	
24	3.5	8.0	2.0	0.0	48.73	1.83	SI S //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	24	24	
25	5.5	10.0	1.0	4.5	51.40	1.50	SI SE //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	25	25	
26	2.5	9.0	1.0	3.0	52.90	3.60	SI SE //	2-S	○ Fresco	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	26	26	
27	2.0	9.0	0.0	5.9	55.20	3.80	SI SW //	2-W	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	27	27	
28	3.0	8.5	1.0	15.5	66.90	1.90	SI S //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	28	28	
29	4.0	9.0	0.0	25.0	90.00	2.60	SI SW //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	29	29	
30	4.5	9.0	1.5	26.0	93.40	4.00	SI NE //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	30	30	
31	3.0	6.5	1.0	27.0	38.13	1.93	SI N //	2-S	○ Frio	● Frio Vent.	● Frio Vent.	2.66	10	31	31	
DIA TOTAL DEL MES SIGUIENTE		9.0		9.5	45.70											
SUMA	87.5	879.5	10.5	217.4		77.09										
MEDIA	3.1	12.7	0.4	7.2		2.66										

Figura 1.3. Registro de nevadas. Forma 212-50. Fuente : SMN 1985.

En el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se utiliza la forma 212-50 de las estaciones climatológicas convencionales para asentar los registros meteorológicos diarios según las observaciones realizadas; en ésta se debe colocar el símbolo de la nevada el día en que ocurre el evento en la parte correspondiente al “Estado del tiempo”, ya sea en la columna de fenómenos varios —A la hora de la observación” o —En las 24 horas anteriores a la observación”, según sea el caso, y se cuenta como número de días con nevada en el Resumen Mensual (Figura 1.3); sólo en algunos casos se llega a tomar la medida del espesor de la nieve en cm.

Así mismo, estas formas, con los registros meteorológicos de todos los elementos diarios y mensuales, el SMN las organiza en un expediente por año y década, lo que constituye la historia climatológica de la estación. De aquí se pasaban los datos a la forma T-9, que consistía en tarjetas con resúmenes mensuales y anuales por cada elemento meteorológico (Figura 1.4); al número de días con nevada le correspondía la clave 36. A finales de la década de los ochenta se dejó de realizar este paso y la mayoría de las estaciones sólo tienen su información en tarjetas hasta 1989 y en la captura del CLICOM (CLImat COMputing proyect) de marzo 2010, aún no se incluía el elemento de nevada (Serratos, *com pers.*, 2010).

TARJETA DE RESUMEN MENSUAL Y ANUAL SMN													
D.G.G.y M. _____ N° 36													
NOMBRE DE EST. <u>TOLUCA, MEX.</u>													
ELEMENTO MET. <u>NEVADA</u>													
UNIDADES <u>NUM. DE DIAS</u>													
AÑOS	Enero	Febro	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Seppure	Oebre	Nobre	Dibre	ANUAL
1951	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
58	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 1.4 Tarjeta de Resumen Mensual y Anual, Forma T-9. Fuente: SMN.

En las cartas sinópticas se utiliza el mismo símbolo, tanto en las cartas de superficie como en los boletines meteorológicos, en los que se ubica el símbolo sobre el lugar donde ocurre el fenómeno (Figura 1.5).

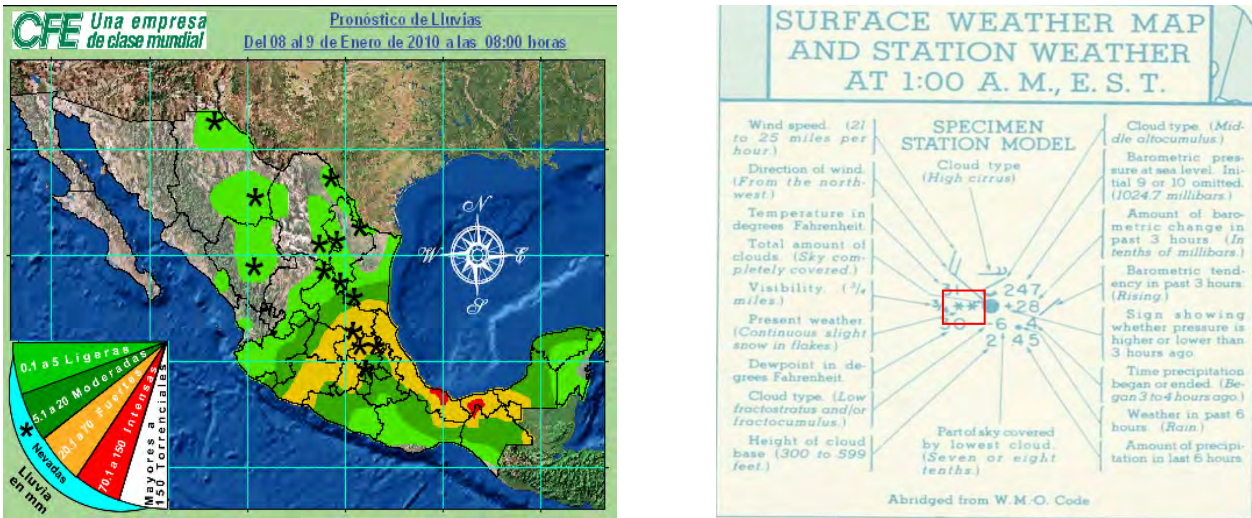


Figura 1.5 Símbología de nevada en los boletines meteorológicos y en la carta de superficie. Fuente: CFE, NOAA.

En el reporte sinóptico (FM-XI-SYNOP) proveniente de observatorios meteorológicos de superficie se registra el número de días con nevada en el grupo 6S<sub>00</sub> S<sub>01</sub> y 7S<sub>10</sub>, según el espesor alcanzado. Los rangos están dados de acuerdo con las cantidades: mayor que 0 cm y menor que 1 cm, mayor que 1 cm y menor de 10 cm, mayor de 10 cm y menor de 50 cm y para mayores de 50 cm (SMN, 2007).

El informe METAR (Meteorological Terminal Air Report), de uso en la aviación, proporciona información meteorológica de las estaciones ubicadas en los aeropuertos a través de un mensaje codificado de intercambio internacional; reporta SN para suelo cubierto de nieve y SG para nieve en copos (SENEAM Clave\_METAR, sitio WEB).

### 1.1.2 Efecto e importancia de las nevadas.

De acuerdo con la intensidad con que se presenten las nevadas, pueden producir efectos negativos, sobre todo en la población más vulnerable, que vive en condiciones muy adversas y que en ocasiones llega a morir por hipotermia o por envenenamiento con monóxido de carbono por el material que utilizan para protegerse del frío. En zonas urbanas es posible que causen daños como derrumbes en edificaciones frágiles, ya que al acumularse la nieve sobre techos inconsistentes el peso que ésta ejerce sobre ellos provoca el colapso; también se dan apagones por el daño que sufren las estructuras distribuidoras de electricidad; desquiciamiento del tráfico o interrupción del mismo; por el estado resbaladizo de los caminos, que pueden producir accidentes; taponamiento de drenajes; congelamiento de la red de agua potable; cierre de carreteras

y aeropuertos que en ocasiones lleva a la suspensión de las actividades escolares y de servicios. En la zona rural, si la nevada es intensa, provoca daño a la agricultura hasta la pérdida total de los cultivos, dependiendo de la etapa en que se encuentren y el tipo de cultivo de que se trate, ya que algunos de ellos son favorecidos por el frío y la nevada les sirve para erradicar plagas y humedecer el suelo (Cenapred, 2001). Si la nevada se presenta con fuertes vientos en el bosque, destruye ramas y cortezas de árboles, por lo cual hay necesidad de limpiar la zona porque el material muerto es muy susceptible de provocar incendios.

Sin embargo, las nevadas también producen grandes beneficios; la nieve, al caer, arrastra el polvo atmosférico y los compuestos nitrogenados suspendidos y mezclados en el aire, de los cuales se beneficia el suelo, proporcionando a éste la humedad necesaria para las plantas, penetrando el agua lentamente en el terreno sin provocar el arrastre de la tierra y materias fertilizantes que a veces provocan las lluvias y protege a las plantas contra enfriamientos intensos atenuando los efectos de los vientos muy fríos. Pero su beneficio principal es que actúa como depósito estacional y reserva de agua que, acumulada en el invierno, queda disponible en época de estiaje, cuando se derrite la nieve y forma corrientes de agua que fluyen o se infiltran para recargar mantos acuíferos (Upadhyay, 1995).



Figura 1.6. Nevada en el Iztaccihuatl, 22 de diciembre 2009. Fuente: Islas (2009).

Otro aspecto muy importante de las nevadas es que a pesar de los daños que puedan causar y del frío que tiene lugar cuando ocurren, no dejan de ser un atractivo visual y emocional para las personas (Figura 1.6) y en las montañas de nieves perpetuas con glaciares, el paisaje níveo simboliza la máxima interacción del hombre con la naturaleza (Montero, 2004).

### 1.1.3 Origen de las nevadas.

La nevada y su intensidad dependen de la temporalidad y la localización geográfica. Están determinadas por la incidencia de rayos solares que recibe la Tierra de acuerdo con su movimiento de traslación; así, en la temporada invernal, cuando la noche es más larga que el día, se registran las temperaturas más bajas del año y, si existe suficiente humedad en el ambiente, es posible que se dé este fenómeno (Griffiths, 1985).

Un factor determinante en la presencia de nevadas es la latitud, pues éstas se presentan con mayor frecuencia en latitudes medias. El segundo factor es la elevación o altura sobre el nivel del mar, ya que la temperatura disminuye con la altitud, por lo que es posible encontrar montañas nevadas aún cerca del Ecuador; es el caso del Kilimanjaro en Tanzania y los Andes en Sudamérica. Por el contrario, algunas regiones del Ártico y el Antártico reciben muy pocas precipitaciones en forma de nieve a pesar del intenso frío, debido a que por debajo de cierta temperatura el aire pierde su capacidad de transportar vapor de agua (Knight, 2007).

La disminución de la temperatura con la altitud define el llamado límite de las nieves perpetuas, por encima del cual el manto de nieve se conserva todo el año. Este límite, aparte de la latitud, también es influenciado en gran medida, por la orientación y exposición de la pendiente. En el ecuador, el límite de nieves perpetuas se encuentra a una altitud de 4,700 msnm aproximadamente; esta altitud aumenta a 5,200 msnm en las regiones de aire seco alrededor de los trópicos y disminuye a 3,000 msnm a 45° de latitud norte y a 1,400 msnm a 60° de latitud norte. En el hemisferio sur estos valores son más bajos (Griffiths, 1985). En México, el límite de nieves perpetuas se encuentra en altitudes mayores a los 4, 500 msnm (Delgado, 1996).

Para que ocurra una precipitación en forma de nieve es necesario que la temperatura en la superficie se encuentre próxima a 0°C y, al mismo tiempo, que haya nubosidad que origine la precipitación. La mayoría de las nevadas ocurren desde las nubes del género Nimbostratos (Ns) cuya apariencia es de un tono gris oscuro con aspecto velado por el alto contenido de agua o nieve; suelen presentar un gran desarrollo horizontal para cubrir todo el cielo y su espesor puede ser suficiente para ocultar completamente al sol (Martín y Olcina, 1996). La formación de su base se produce a alturas muy diversas, desde los 2 km a los 7



km, por este motivo en ocasiones se les puede considerar tanto en las nubes bajas como en las medias (Llorente, 2004). Estas nubes se pueden originar a partir del engrosamiento de Altostratus (As) o de Altocúmulos (Ac) y también pueden resultar de una extensión de un Cumulonimbus (Cb), que es una nube de desarrollo vertical en cuyo interior se desarrollan copos de gran tamaño que facilitan su caída, dando lugar a nevada aún cuando la superficie se encuentre a una temperatura mayor a 0°C; con este tipo de nubes se han observado nevadas hasta con 5°C. En cualquier caso, existe una gran relación entre el tipo de nube, la temperatura del aire, el tipo de precipitación y el grado de cobertura de la nieve en el suelo (González, 2006).

El proceso de formación de la nieve dentro de la nube es similar al de la lluvia líquida, que puede formarse a partir de cristales de hielo. Sin embargo, el verdadero origen de la nevada se encuentra en la formación de los copos de nieve que son resultado de una serie de procesos que se inician en el interior de una nube y que tienen que ver con la termodinámica y la física, según las condiciones atmosféricas en que se desarrolle (Roger, 1989). La formación y precipitación de la nieve se realiza en tres etapas: la nucleación, el crecimiento y la precipitación.

La nucleación es el proceso donde se origina la condensación o congelación y va a depender de la energía libre superficial que haya en la interfase. El cristal de hielo no es una gota de lluvia congelada y para que se forme es necesario que en la nube existan núcleos de condensación, es decir, partículas de polvo en suspensión como arcilla, arena, ceniza, microorganismos o aerosoles contenidos en la atmósfera, los cuales actúan como centros de condensación; a este tipo de nucleación se le denomina heterogénea y es de gran importancia conocer las propiedades físico-químicas de los núcleos de condensación, ya que éstos determinarán los valores de sobresaturación o subsaturación a los cuales se podrá producir el cambio de fase. Los núcleos pueden ser higroscópicos y se caracterizan porque pueden producir condensación aún en condiciones de subsaturación y no-higroscópicos, que sí requieren sobresaturación (Castro, 1979).

Cuando la nube cruza la isoterma de 0°C existe la posibilidad de que se formen cristales de hielo, pero para que pueda comenzar a formarse la nieve, la nube debe estar entre -10°C y -20°C y únicamente se desarrollarán copos de nieve; si el aire está sobresaturado, con gotas súper enfriadas, éstas permanecen en estado líquido aunque su temperatura sea inferior al punto de congelación (Roger, 1989). En estas condiciones las gotitas súper enfriadas se congelan espontáneamente sobre los núcleos de condensación formando pequeños cristales de hielo mediante el proceso de sublimación, al pasar directamente del vapor de agua al estado sólido, en un aire sobresaturado que puede llegar hasta -40°C. Si el proceso se lleva a cabo lenta y progresivamente, habrá condiciones favorables para que los cristales vayan formando los copos de nieve (Upadhyay, 1995).

La etapa de crecimiento puede darse cuando intervienen las gotas de agua que se adhieren a los cristales de hielo ya formados debido a la diferente presión de vapor entre un líquido y un sólido; éste es el crecimiento por **difusión**. Otro proceso por el cual puede crecer el cristal de hielo es el de **acrección**, que se debe a la interacción que sufre en su caída con las gotitas de agua súper enfriadas; este crecimiento es lo que forma la cencellada o escarcha, la nieve granulada o granizo blando, pero los verdaderos copos de nieve se forman por el crecimiento de **agregación**, que se da cuando la interacción es con otros cristales de hielo en vez de gotitas (Pruppacher, 1980).

Entre los mecanismos físicos que influyen en el desarrollo de los cristales están la temperatura y las cargas eléctricas; ambas afectan la dinámica molecular del agua, dispuestas de tal manera que forman un hexágono y la simetría entre los lados de éste y la unión de varios hexágonos en una sola estructura es lo que determina la forma final del copo de nieve (Upadhyay, 1995).

Cada cristal de hielo posee una estructura única y una configuración particular. Se dice que no hay dos cristales iguales debido a la gran variedad de condiciones ambientales que determinan no tan sólo la velocidad de crecimiento sino también la forma y aspecto que tomará el cristal, o sea, que éste dependerá de muchas variables como la temperatura, la presión, el polvo en suspensión, la velocidad del viento, la altitud y la saturación de la nube, además del tiempo que tarde el proceso, dando como resultado final los distintos tipos hexagonales. Sin embargo, en 1988 se demostró que sí puede haber dos copos de nieve idénticos pero es muy difícil que se conjuguen todas las variables que permitan su formación idéntica. Entre estas formas con seis caras simétricas están los tipos cristalinos en columna, en placas y dendríticos o de estrella, cuyas puntas están constituidas por tubos huecos (Figura 1.7).

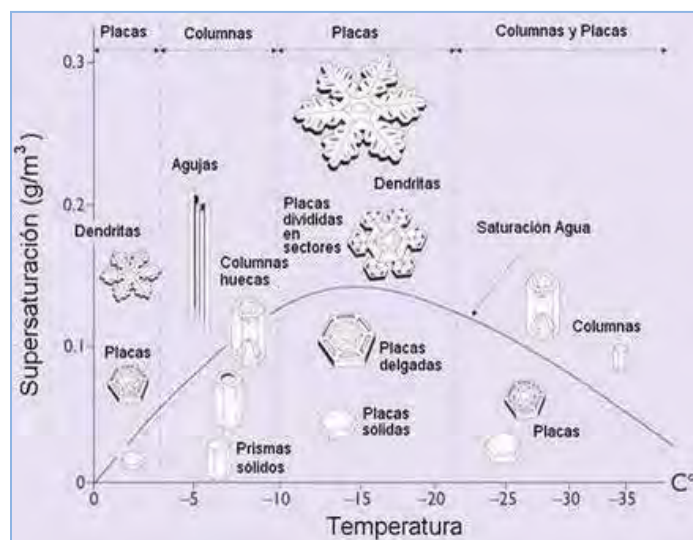


Figura 1.7 Formas de cristalización de los copos de nieve. Fuente: modificado de Roger (1989)

La temperatura es determinante en la forma final que tomarán los copos de nieve. Las placas se forman aproximadamente a  $-2^{\circ}\text{C}$ , en tanto que entre  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $-10^{\circ}\text{C}$  se forman columnas y agujas. Entre  $-15^{\circ}\text{C}$  y  $-20^{\circ}\text{C}$  se forman grandes estrellas y, por último, de  $-25$  a  $-35^{\circ}\text{C}$  se forman combinaciones de columnas y agujas. El número de superficies reflectantes del cristal hacen que éste aparezca blanco (Pruppacher, 1980).

La etapa de precipitación tiene lugar cuando el tamaño de los copos de nieve es suficientemente grande y caen al suelo atraídos por la gravedad terrestre. Sin embargo, para que ocurra este tipo de precipitación es necesario que en el recorrido desde la nube hasta el suelo la temperatura esté alrededor de los  $0^{\circ}\text{C}$ , pues si en su descenso encuentra que la capa de aire cercana al suelo tiene temperatura entre  $1.5^{\circ}\text{C}$  y  $4^{\circ}\text{C}$  se convierte en aguanieve y por encima de esas temperaturas se transforma en lluvia helada. El tamaño de los copos de nieve dependerá también de la humedad y la temperatura del aire próximos a la superficie (Figura 1.8). Debido a su estructura cristalina, la mayoría de ellos se compone de 90% de aire; esta circunstancia los hace óptimos aislantes y amortiguadores del sonido, pero también significa que el agua que contienen 10 centímetros de nieve sea apenas un centímetro de lluvia (Lloyd, 2007).



Figura 1.8 Nieve en Iztaccíhuatl 22 de diciembre de 2009 y 20 de enero 2010. Fuente: Islas

La nieve al caer al suelo puede clasificarse en dos grupos que están relacionados con los estados finales que adquieren los copos de nieve, así como a las condiciones atmosféricas que existan en el momento de precipitar. La nieve seca o polvo, de cristales más o menos perfectos que no están agrupados entre sí, contienen gran cantidad de aire en su masa y son ligeros de peso; se presenta con frío intenso, cuando la temperatura ambiente en superficie se encuentra varios grados bajo cero; recibe este nombre porque no moja

los vestidos, aunque con este tipo de nieve no se pueden hacer bolas. La nieve húmeda se presenta cuando la temperatura ambiental no es tan fría, sino que se encuentra cercana a los 0°C, contiene poco aire y cierta cantidad de agua, lo que la hace sentirse pegajosa; cae en copos de aspecto algodonoso que alcanzan tamaños de cierta magnitud y se comprime rápidamente por la acción de su propio peso. Cuando nieva en el rango de -1°C y +1°C es común ver grandes copos de nieve que sí permiten hacer bolas por su alto contenido de agua (González, 2006).

## **1.2 Elementos meteorológicos que intervienen en la manifestación de este fenómeno.**

Dentro de los elementos necesarios para la formación de la nieve se encuentran la humedad, la temperatura, la evaporación, la insolación, la radiación solar, la presión atmosférica, la nubosidad y la dirección e intensidad del viento. La interacción de estos elementos con ciertos factores como la altitud, la cercanía al mar, la latitud, los sistemas montañosos y otros, dan como resultado la presencia de las nevadas. Pero para que pueda ocurrir este fenómeno es indispensable que se reúnan dos condiciones: alta humedad en la atmósfera y temperatura suficientemente baja que permita que la nieve formada en la nube llegue al suelo (Griffiths, 1985).

### **1.2.1 Sistemas de tiempo atmosférico que originan nevadas**

En todo fenómeno meteorológico interviene la dinámica de la atmósfera global, aún los relacionados con eventos propios de climas más regionales o locales, como son las nevadas. Esta dinámica atmosférica está determinada por dos grandes procesos meteorológicos: la circulación general de la atmósfera, que rige el movimiento advectivo, y los intercambios turbulentos y de radiación en la vertical, que rigen el equilibrio de temperatura y humedad (Jáuregui, 2003). Las masas de aire relativamente homogéneas en cuanto a la temperatura y humedad adquieren las características de la región sobre la que se forman y desplazan y pueden ser marítimas o continentales, según se hayan originado en la parte del océano o en el continente y polares o tropicales, según la latitud de su origen (Martín y Olcina, 1996).

Las masas de aire que penetran en el país en la temporada invernal pueden favorecer la precipitación en forma de nieve, sobre todo en el norte y en algunas ocasiones en el centro. En esta época, la alta subtropical del Pacífico da lugar a los vientos del oeste, dentro de cuya corriente comúnmente viajan sistemas transitorios de altas latitudes, como los centros de vorticidad y vaguadas; esto da lugar a marcados descensos de temperatura que afectan el NW de la República, hasta los 20° N, originando lluvias y nevadas en las partes altas de la Sierra Madre Occidental (Cortez, 1998). Las masas de aire más comunes que llegan al país en la

época invernal son la polar continental y la marítima. La primera, que proviene de Alaska y el norte de Canadá, atraviesa todo Norteamérica hasta que se introduce al país; al moverse en tierra esta masa de aire adquiere características más secas y por tanto más frías. La polar marítima, que procede del Polo Norte, cruza el Océano Pacífico Norte para entrar por el oeste de Norteamérica y llegar a la República Mexicana. Estas masas de aire no son tan frías como las continentales, ya que al desplazarse por el mar absorben calor de la evaporación marítima, pero vienen cargadas de humedad (Jáuregui, 2003). La combinación de estas masas de aire frío con los sistemas atmosféricos húmedos procedentes del Océano Pacífico y su interacción en altura con la corriente de chorro subtropical pueden dar origen al fenómeno de la nevada (Vidal, 2001).

La estación fría o temporada invernal (1° de noviembre -31 de marzo) se caracteriza por presentar bajos índices de humedad; es la temporada seca del año (noviembre-abril), por lo que predomina un ambiente seco y frío, cielo despejado y vientos débiles; sin embargo, la entrada de los frentes fríos que acompañan a las masas de aire frío pueden provocar lluvias. Estas masas son las que favorecen bajas temperaturas, heladas, efecto de “norte” y, en algunos casos, cuando están asociadas a sistemas de baja presión (gota fría, tormenta invernal o bajas presiones dinámicas) ocasionan nevadas (CFE, 2008).

Los sistemas de tiempo más comunes que dan origen a nevadas son: los Frentes Fríos, los Nortes, las Vaguadas, la Corriente de Chorro y la Gota fría o DANA.

El origen de la formación del Frente frío está en las ondas del oeste que a través de la circulación general de la atmósfera hace que el aire frío se mueva hacia latitudes más bajas mientras que el aire cálido se desplaza a latitudes más altas. Estas masas no tienen tendencia a mezclarse sino que una se eleva sobre la otra; sin embargo, presentan entre ellas una superficie de discontinuidad que tiene como consecuencia un rápido y brusco cambio de temperatura y humedad (Martín y Olcina, 1996). En la temporada invernal es común que lleguen a nuestro país masas de aire frío originadas en ciclones extratropicales que se intensifican en las costas de Estados Unidos en el Océano Pacífico; éstos se desplazan hacia el sur, recorren Texas y penetran al país. Al cruzar sobre el Golfo de México los frentes adquieren humedad; en contraste, las masas de aire frío continental, al atravesar sobre la Altiplanicie Mexicana, son secas aunque pueden ocasionar heladas y nevadas si a su paso entra aire húmedo del Pacífico que introducen los vientos del oeste. Esta masa de aire frío que llega al país durante el invierno es importante por su influencia en la variabilidad de la temperatura y son algunos de estos Frentes los que pueden producir nevadas aun en las montañas del centro del país, al registrarse muy bajas temperaturas con presencia de humedad (Vidal, 2001).

El número correspondiente del Frente es asignado por el Servicio Meteorológico Nacional, con la finalidad de tener una estadística anual de los frentes fríos que llegan a afectar a la República Mexicana (Figura 1.9). La numeración se inició a partir de los años noventas. La presencia de frentes fríos de la temporada invernal (noviembre-marzo) en el territorio nacional es, en promedio, de 40-50 (SMN, 2007). De acuerdo con estudios que ha realizado Magaña (2004) sobre El Niño, durante los inviernos en que se presenta este fenómeno, el país es afectado por la presencia continua y anómala de frentes fríos que provocan temperaturas más bajas de lo normal y llegan a producir nevadas, incluso en la parte central; esto ocurrió en 1997 con la nevada, considerada como un evento extraordinario, que tuvo lugar en Jalisco, Guanajuato y el Distrito Federal.

El Norte es una masa de aire polar que sufre modificaciones a su paso por el territorio de los Estados Unidos y al entrar al Golfo de México recibe tal nombre. Estas masas de aire están asociadas a un anticiclón en superficie y vienen acompañadas de fuertes vientos del norte; el aire polar continental transportado por estas masas de aire se transforman a su paso por las cálidas aguas del Golfo de México, en donde recogen humedad que da lugar a lluvias orográficas sobre la parte este de la Sierra Madre Oriental (Mosiño y García, 1974). La definición que da Schneider, citado por Cortez (1998), del “Norte” es de un fuerte frente frío y húmedo que sopla durante el invierno a lo largo de la costa del Golfo acompañado de bajas temperaturas y precipitaciones (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1 Clasificación de nortes.

<b>Clasificación</b>	<b>I. Débil</b>	<b>II. Moderado</b>	<b>III. Fuerte</b>	<b>IV. Intenso</b>	<b>V. Severo</b>
Escala Beaufort	4-5	6-7	8-9	10-11	12
Rango de viento	20-38km/h	39-61km/h	62-88km/h	89-117km/h	>118km/h
Altura-oleaje	0.5 a 2.5 m	2.5 a 4 m	4 a 9 m	9 a 14 m	>14 m

Fuente: SMN.

Su presencia en el país es principalmente en la época invernal, aunque pueden extenderse de octubre a mayo. Para determinar la ocurrencia de un Norte se deben tomar en cuenta principalmente el descenso de temperatura superficial de 2°C en 24 horas, los cambios en la dirección del viento de norte o noreste y las precipitaciones. En los años El Niño, el número de Nortes tiende a aumentar, lo que concuerda con el desplazamiento hacia el sur de la corriente de chorro; sin embargo, esto no necesariamente repercute en un aumento de precipitación, pero sí en inviernos más crudos que favorecen la presencia de nevadas (Magaña, 2004).

La vaguada es una prolongación alargada, en forma de —∇, de un centro de baja presión (Figura 1.9). El flujo de aire frío en la altura proviene de latitudes medias y altas; su configuración isobárica a partir del centro de la baja presión se deforma alejándose más de su lado derecho que en cualquier otra dirección. Una vaguada está constituida por isobaras no cerradas como una prolongación de una depresión. El aire frío que baja de las capas superiores de la atmósfera, al entrar en contacto con el aire cálido que se encuentra cerca de la superficie terrestre, provoca inestabilidad en la atmósfera, lo que ocasiona mucha nubosidad y precipitaciones prolongadas. Este aire se enfría si no está saturado siguiendo el gradiente adiabático seco a razón de 1°C/100 m, pudiendo alcanzar la saturación, lo que produce nubosidad por condensación o sublimación en los pisos medio y alto de la tropósfera. Cuanto mayor sea la humedad de partida del aire ascendente, menor será la altura requerida para alcanzar la saturación y con ello contribuir a la formación de nevadas, sobre todo en su asociación con el frente polar que puede propiciar el desarrollo de ondas del este (Jáuregui, 2003 ).



Figura 1.9 Imagen de satélite con la simbología de los diferentes sistemas de tiempo como las altas y bajas presiones representadas por la letra **A** y **B**, el frente frío **FF**, la Vaguada **VG** línea amarilla y la **Corriente de Chorro**, con línea verde. Fuente: SMN.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) define a la Corriente de Chorro o Jet Stream (Figura 1.9) como una corriente fuerte y estrecha, concentrada a lo largo de un eje casi horizontal en la parte alta de la

tropósfera, o en la estratósfera, aproximadamente a 13 km de altura, caracterizada por fuertes gradientes verticales y laterales en la velocidad del viento y uno o más máximos de velocidad, la cual debe ser mayor a 108 km/h. La corriente de chorro polar se localiza alrededor de los 60° de latitud en ambos hemisferios, por encima de los 300 hPa<sup>1</sup>, en las proximidades de la tropopausa, mientras que la corriente de chorro subtropical se encuentra a 30° de latitud en cada hemisferio, por el nivel de unos 200 hPa (Martín y Olcina, 1996).

La corriente de chorro subtropical presenta en el invierno una gran influencia sobre el territorio mexicano, época en la cual se localiza su posición media cruzando por la mitad norte del país, tocando la punta de la península de Baja California y cortando en diagonal desde Mazatlán hacia la desembocadura del río Bravo con vientos de intensidades aproximadas de 80 km/h (Jáuregui, 2003).

Gota fría o DANA. El término que en principio se utilizó como —*Kaltlufttropfen*”, que en alemán significa gota de aire frío, ha despertado controversias entre los meteorólogos, por la confusión que presenta con las borrascas frías y se ha propuesto en español el término de DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos), mientras que en inglés se utiliza como —*cut off low*”, que se traduce como baja cortada o depresión aislada. Esta perturbación de altura en su fase inicial sólo se aprecia en los mapas de tiempo de 250, 300 y 500 hPa (Martín y Olcina, 1996). El desarrollo de la Gota Fría se presenta cuando la corriente de chorro se intensifica y cambia su forma de desplazamiento, originalmente rectilínea, por una forma ondulada de componente norte-sur muy marcada, parecida a los meandros de los ríos; en este caso, puede llegar hasta las regiones tropicales alargando su cauce hasta lograr que se estrangule y quede aislada de la corriente general, formando un centro de baja presión en altura, como un gran embolsamiento de aire frío polar que gira de forma ciclónica en las capas altas de la tropósfera, con un radio entre los 200 y los 600 kilómetros (Figura 1.10) (Martin, 2003).

<sup>1</sup>hPa. Abreviatura de hectopascales, unidad de presión utilizada en el sistema internacional, equivale a 100 pascales.



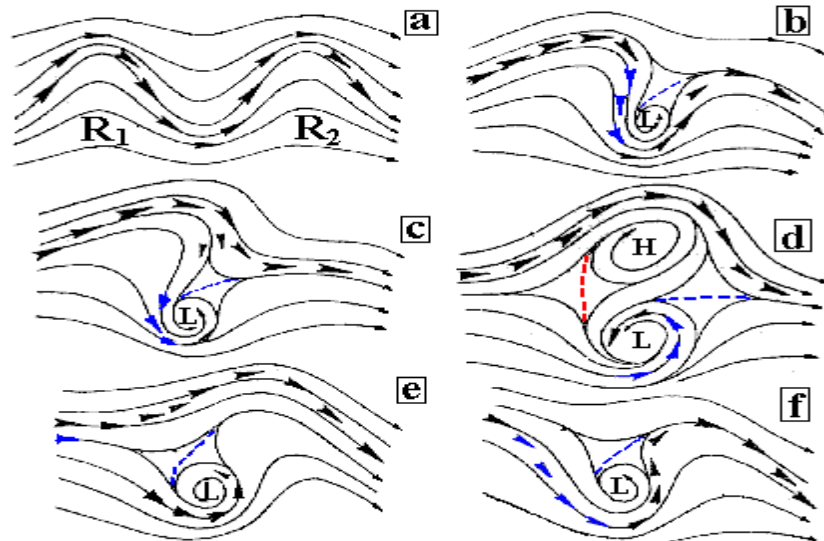


Figura 1.10 Proceso de formación de la Gota fría o DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos) a) Ondulación de la circulación en Chorro (flechas negras). R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub>, dorsales. b) Estiramiento meridional norte-sur. L indica la DANA. Crecimiento e inclinación de la dorsal R<sub>1</sub> (flecha azul). c) Aislamiento inicial. d) Aislamiento total. e) Inicio de absorción. f) Estiramiento sur-norte y absorción completa. Fuente: Martín (2003).

La depresión, ya aislada de la circulación general, se aleja de la corriente de origen y llega a cerrarse sobre sí misma en un giro ciclónico; este movimiento de rotación se va transmitiendo lentamente a las capas de aire que se encuentran por debajo hasta alcanzar el suelo, formando una chimenea que lanza hacia arriba el aire caliente que hay en las capas bajas de la atmósfera, alrededor de la que descende lentamente el aire frío. Como consecuencia de esta violenta convección que sufre la masa de aire cálido, que suele también estar cargada de humedad, y la interacción con el embolsamiento de aire frío, se produce una situación de baja en superficie que puede dar como resultado precipitaciones en forma de nieve (Martin, 2003).

En México algunas de las tormentas invernales más intensas se han originado por la asociación de las masas de aire frío polar con los sistemas de baja presión, como la comúnmente llamada “gota fría”, que han ocasionado grandes nevadas como la de 1967 (Hernández, *com pers.*, 2009). En febrero del presente año (2011) la interacción del Frente Frío número 26 con la masa de aire continental ártica provocó la tercera tormenta invernal, asociada a la gota fría, que dio origen a las grandes nevadas ocurridas en el norte del país (SMN, Comunicado de Prensa 020-11).

### 1.3 La nevada, principal aporte en la recarga de los glaciares.

Se estima que las nevadas anuales en el planeta son de alrededor de  $1.7 \times 10^{13}$  toneladas y cubren una superficie que varía cada año entre los 100 y 125 millones de  $\text{km}^2$ , mientras que los glaciares continentales y las nieves y hielos permanentes cubren unos 680 000  $\text{km}^2$  (UNESCO-sitio internet).

Los glaciares son masas de hielo en movimiento formados por la acumulación permanente de nieve y su transformación en hielo glacial; poseen una dinámica propia que consiste en el depósito, el transporte y el metamorfismo que sufre la nieve, proceso por el cual cambia su estructura y se transforma en hielo (Menzies, citado por Luna, 2002). Si el depósito de nieve acumulada no posee este dinamismo es que no ha alcanzado la madurez necesaria para convertirse en hielo glacial y, aun cuando permanezca todo el año, se tratará sólo de un ventisquero o nevero (Rivera, 1998). Así que un glaciar formal necesitará, además de la permanencia de la masa de nieve, el movimiento que debe tener ésta para transformarse en hielo; sin estas características no se puede considerar de manera estricta como un glaciar (Delgado, 1986).

Los glaciares de montaña de latitudes tropicales cubren un área muy pequeña; estas dimensiones representan un elemento desfavorable que los hace muy sensibles a las variaciones y cambios climáticos. A estos glaciares se les denomina también “glaciares templados”, porque son producto más de las precipitaciones en forma de nieve que de las bajas temperaturas (Delgado, 1996). Están formados por una zona superior, donde tiene lugar la acumulación de nieve, y una inferior donde el clima es menos frío y predomina la ablación o pérdida de masa (Figura 1.11). A estos sectores los separa una franja delgada llamada línea de equilibrio, la cual corresponde aproximadamente con una temperatura media de verano de  $0^\circ\text{C}$ . Cuando la línea de equilibrio desciende en altitud, alcanzando niveles más bajos, significa que ha habido un aumento en la recarga del glaciar o que el clima se ha vuelto más frío; bajo estas condiciones es cuando se da un avance del glaciar. Por el contrario, si esta línea asciende a niveles más altos significa que la fuente principal de la recarga del glaciar ha disminuido o que la temperatura ha aumentado; en estas circunstancias tiene lugar un retroceso del glaciar (Vázquez, 2004).

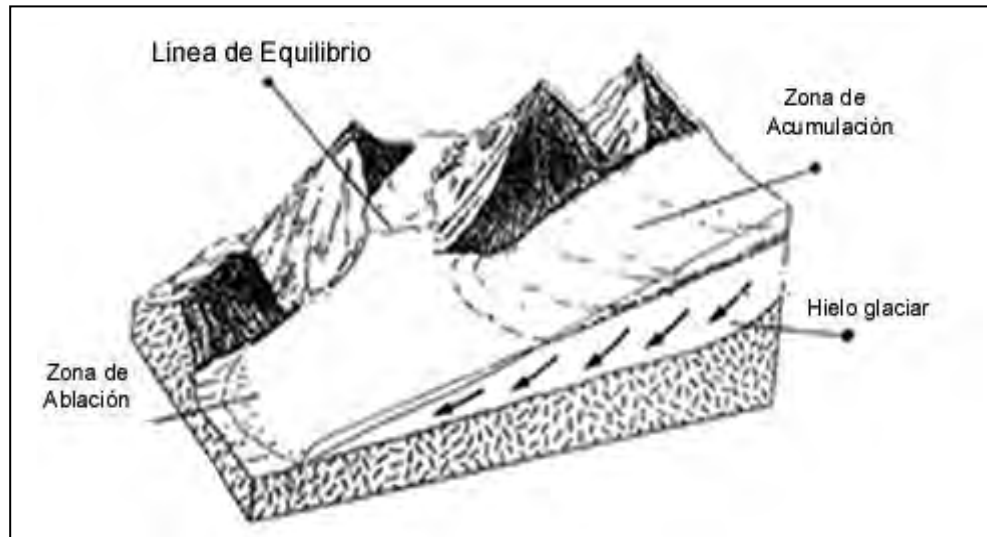


Figura 1.11 Partes de un glaciar. Fuente: Luna (2002).

Nevadas consecutivas al caer forman diferentes capas, de manera que las primeras quedan sepultadas mientras que las superiores ejercen sobre éstas una gran presión que hace cambiar la estructura de la nieve, con lo que se inicia el proceso de recrystalización (Delgado, 1986). En principio, la nieve caída sobre la capa glaciada está formada por cristales de hielo de forma hexagonal agrupados en copos, de textura suave y esponjosa, de porosidad muy alta, con densidad que varía entre 50 y 200 kg/m<sup>3</sup> (Luna, 2002). El peso a que es sometida la nieve de las capas inferiores obliga a que el copo cambie su estructura cristalina por la pérdida de las puntas, que se fusionan por evaporación y recondensación del agua que contiene, modificando el cristal a través del acomodo de sus partículas y formando granos de hielo más pequeños, espesos y de figura esférica. Este proceso de recrystalización, es conocido también como de nevización o firnificación y a la nieve recrystalizada se le conoce como neviza o firn y para llegar a este proceso la nieve tuvo que sobrevivir al periodo de verano. Cuando las capas de hielo y nieve adquieren un espesor considerable el peso es tal que la neviza empieza desarrollar cristales de hielo más grandes a través de la conexión entre los granos de hielo, liberando el espacio vacío entre ellos, con una densidad mayor de 830 kg/m<sup>3</sup>; es en este momento cuando la nieve se ha convertido en hielo glaciar (Figura 1.12).

Este comportamiento hace que los glaciares se muevan lentamente hacia abajo por acción de la pendiente y la fuerza de gravedad. La alimentación del glaciar tiene lugar en la zona de acumulación. La zona de ablación se encuentra bajo la línea de equilibrio. La temperatura del hielo aumenta en profundidad hasta llegar a licuarse

en el contacto con el lecho rocoso, formando una escorrentía intraglaciar, que es el órgano difusor o de flujo, llamado también lengua del glaciar (Luna, 2002).

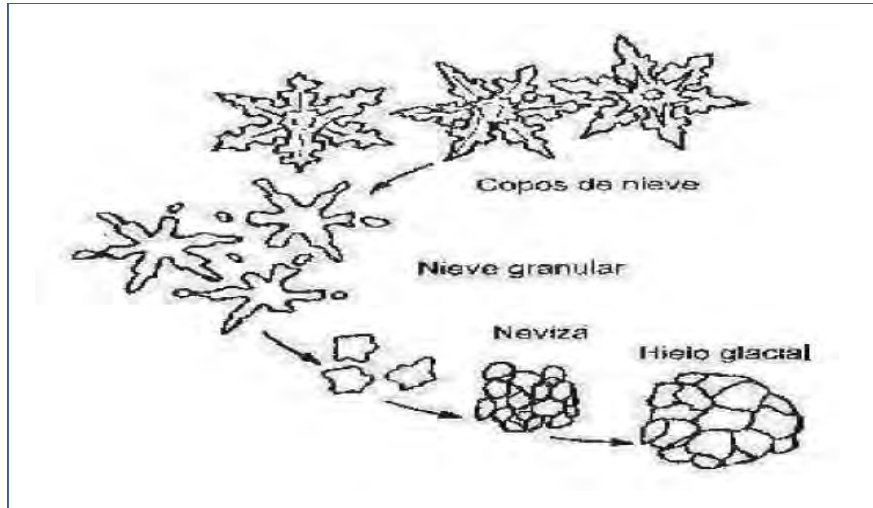


Figura 1.12 Proceso de transformación de la nieve en hielo glacial. Fuente: Luna (2002).

Los glaciares de México, al igual que los de todo el mundo, son remanentes de la última glaciación que terminó hace diez mil años. Durante ese periodo hubo glaciares en los picos más elevados del territorio mexicano, algunos de los cuales sobrevivieron a la era actual y aún llevan implícito en su nombre la nieve perpetua que los caracterizaba como el Nevado de Colima, el Nevado de Toluca, la Sierra Nevada o metafóricamente, como la Iztaccíhuatl o “mujer blanca”. Sin embargo, la mayoría de los glaciares fue desapareciendo de manera natural y en el último siglo los únicos glaciares de México se encontraban en las tres cumbres más altas, pero el retroceso que de manera normal se venía dando se ha acelerado, lo que ha provocado la pérdida total de ellos en la mayor parte de las cumbres; los últimos glaciares que han desaparecido han sido los del volcán Popocatepetl (2000-2001). En la actualidad los únicos que quedan en México son los del Pico de Orizaba y los del Iztaccíhuatl; sin embargo, en este último la disminución del hielo es tan acelerada que en cálculos recientes se estima su probable desaparición en el año 2015 (Delgado, 2011).

El Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares de la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas de la UNESCO, cuyo representante en México es Hugo Delgado Granados, del Instituto de Geofísica de la UNAM, tiene a su cargo llevar un inventario de los glaciares de todo el mundo, su espesor y volumen, así como de realizar estudios sobre las causas y consecuencias de la desaparición de los glaciares. En México,

existen varias instituciones donde se realizan investigaciones sobre éstos como la Sociedad Geológica Mexicana, la Unión Geofísica Mexicana y la UNAM.

### **1.3.1 Efectos del calentamiento global en los glaciares.**

De acuerdo con el reporte del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) de febrero de 2007, el calentamiento global es un hecho innegable, ya que se ha podido observar cómo en las últimas décadas un gran número de sistemas naturales han sido afectados, sobre todo por la variabilidad climática, que ha causado gran impacto en eventos extremos, principalmente en el aumento de temperatura y la modificación en la ocurrencia de la precipitación; a su vez, éstos han afectado algunos ecosistemas, particularmente en los regionales y locales, prueba de lo cual son las sequías recurrentes, el avance de los desiertos, el aumento de los meteoros catastróficos, el deshielo en los polos, etc., pero, sin lugar a dudas, una de las evidencias más notables de este calentamiento se encuentra en el retroceso y desaparición de los glaciares.

La fusión de los hielos y el retroceso de los glaciares que se han observado en casi todo el mundo dan una prueba clara sobre el calentamiento general que se está dando en toda la Tierra y cambios en el nivel de congelamiento en las alturas, así como sus posibles efectos sobre el balance de masa glacial (Díaz, 2003). La variabilidad de los glaciares se estudia a través de la obtención de muestras de los núcleos de hielo, en cuyas capas se contienen evidencias detalladas de las fluctuaciones ambientales y, por otro lado, en evidencias geológicas y geomorfológicas, consistentes en mapeo y fechamiento de los sedimentos depositados por los hielos en sus márgenes, como las morrenas y el permafrost, cuya reconstrucción ha podido determinar las fases e historia de los glaciares. Así mismo, se ha encontrado una tendencia general hacia la fusión de estos hielos y un retroceso continuo relacionado directamente con el calentamiento global (Vázquez, 2008).

Las nevadas aportan el mayor porcentaje en la recarga del glaciar, lo que da lugar al aumento de su masa en la temporada fría del año, mientras que en la estación cálida predomina la ablación, que da lugar al retroceso del glaciar, aparte de disminuir el espesor de su masa (Luna, 2002). La variabilidad anual también puede estar relacionada con el fenómeno de El Niño. A través de la historia los glaciares han presentado periodos de avance y retroceso; en los últimos tiempos el mayor avance se dio en la Pequeña Edad de Hielo (1350-1850). Desde esta época los periodos de retroceso han prevalecido sobre periodos cortos de avance, como los dados en los periodos de 1900-1910, 1915-1930 y 1940-1980. Al final del último periodo se produjo un ligero enfriamiento global, por lo que muchos glaciares recuperaron parte de su volumen. Sin embargo, a partir de la década de los 80 se ha presentado un acelerado retroceso en todos los glaciares como resultado de un aumento de temperatura combinado con un aumento en la humedad atmosférica (Kaser, 1999).

Existen varios factores que están influyendo en la contracción de los glaciares aunque, al parecer, la mayoría derivan de un aumento global y regional en la temperatura que ha alterado a otros elementos climáticos. Algunos de estos factores son la latitud, el tamaño de los glaciares, las condiciones topográficas y el albedo. La latitud influye en mayor grado en los glaciares ubicados en la zona intertropical, donde las temperaturas son altas tanto en el verano como en el invierno, comparadas con las que presentan los glaciares continentales de latitudes medias y altas, de tal manera que en la zona intertropical los glaciares sólo se mantienen por la temperatura baja que se da por altitud (Delgado, 1986). Si la recarga, que se da principalmente en el invierno, no es suficiente, será difícil que se mantenga en la época de mayor ablación que tiene lugar en el verano, cuando la temperatura aumenta. Además, a medida que van disminuyendo de tamaño, la fusión se va haciendo más acelerada (Steiner *et al.*, 2008).

Otro factor en el retroceso de un glaciar lo constituye el albedo pues éste depende en gran medida del color, así que cuando cae la nieve, teóricamente es reflejada casi la totalidad de los rayos solares incidentes; esto ayuda a conservar la temperatura fría y mantener la nieve; sin embargo, una capa de polvo sobre la nieve favorecerá la fusión por su color oscuro, que absorbe más radiación y lleva a un aumento de su temperatura. Este elemento es de suma importancia, pues a nivel del planeta, una caída de tan sólo 0.01 en el albedo total de la Tierra doblaría la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera provocando que la Tierra aumentara 3.4 vatios más de energía por cada metro cuadrado de área superficial (NASA, sitio internet).

Existen otros factores que están influyendo en el retroceso de los glaciares como la sublimación y evaporación, el escurrimiento, la remoción de nieve o hielo por aludes y la erosión eólica, así como todos los cambios ambientales que se dan cerca de ellos, sobre todo los originados por las acciones antrópicas como la deforestación, urbanización y el aumento de niveles de contaminantes en la atmósfera, como los gases de efecto invernadero, entre otros (Delgado, 1986).

Según el reporte de Global Terrestrial Network for Glaciers, en los periodos de observación 2005-2007, los glaciares de todo el mundo han seguido perdiendo masa. El cálculo de esta pérdida es de aproximadamente 50 kilómetros cúbicos de hielo al año y un espesor promedio acumulado desde 1980 de 11.3 metros de agua (unidad de volumen utilizada para medir las masas de hielo); esto ha dado origen a que el nivel del mar suba aproximadamente 1.8 milímetros anualmente. Los cambios que en los últimos años han experimentado las zonas nevadas y los glaciares están directamente relacionados con el aumento de los gases de efecto invernadero; el primer aumento de estos gases ocurrió entre los años 1915 y 1945 y el segundo después de la década de 1980 y continúa en la actualidad.

#### 1.4 La Sierra Nevada: características biofísicas e importancia de los glaciares.

La Sierra Nevada es una cadena montañosa localizada en el centro de la República Mexicana, sobre el Sistema Volcánico Transversal, alrededor de los 19° de latitud norte y 98°30' de longitud oeste; tiene una superficie de más de 100 km<sup>2</sup>, está orientada de norte a sur y mide aproximadamente 70 kilómetros de largo, forma la barrera oriental de la cuenca de México que la separa de los valles de Puebla y Tlaxcala (Conanp, Sitio internet).

En su extremo norte se encuentra la Sierra de Río Frío, separada por una faja de flujos de lava que se derivaron de pequeños volcanes; en ésta se localizan los cerros Tláloc con 4,125 msnm, Telapón, de 4,065 msnm, Yoloxóchitl de 3,900 msnm y el Papayo con 3,640 msnm. Siguiendo hacia el sur se encuentran los volcanes Táyotl, de 4,660 msnm; Iztaccíhuatl (mujer blanca o mujer dormida, en náhuatl), que se extiende siete kilómetros y en el que se distinguen tres alturas principales: la Cabeza con 5,146 msnm; el Pecho con 5,286 msnm, que es la tercera cumbre de mayor altitud en el país, situada a los 19°11' de latitud norte y 98°39' de longitud oeste y a 60 kilómetros de la ciudad de México (Lorenzo, 1964); y los Pies, que se hallan a 4,740 msnm. En el extremo sur de la Sierra Nevada se localiza el Popocatepetl (cerro que humea) con 5,480 msnm y que representa la segunda altitud del país. Entre las dos últimas montañas se encuentra el Paso de Cortés, a 3,682 msnm, desde donde se dice que Hernán Cortés descubrió la cuenca de México (Figura 1.13) (Lorenzo, 1964).

Las montañas de la Sierra Nevada sirven de límite entre los estados de México, Morelos y Puebla. La vertiente occidental la ocupan los municipios de Texcoco, Ixtapaluca, Tlalmanalco, Amecameca, Atlautla y Ecatzingo, del Estado de México, mientras que en la vertiente oriental se encuentran Tlahuapan, Huejotzingo, San Salvador el Verde, Domingo Arenas, San Nicolás de los Ranchos y Tochimilco, de Puebla y al sur se ubica Tetela del Volcán, en el estado de Morelos. En la sierra se encuentra el Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan, que es un corredor biológico de 45,097 hectáreas. En diferentes épocas este parque ha tenido varios refugios que han servido para los alpinistas que suben a las cimas; en 1958 existía el refugio de la Cruz Roja a 5,120 m de altitud pero un temporal lo destruyó. El refugio de Tlamacas, quedó suspendido a partir de la erupción del Popocatepetl de 1994 y actualmente cuenta con otros refugios entre los que destaca Altzomoni, que utilizan los alpinistas (Hernández y Granados, 2006).

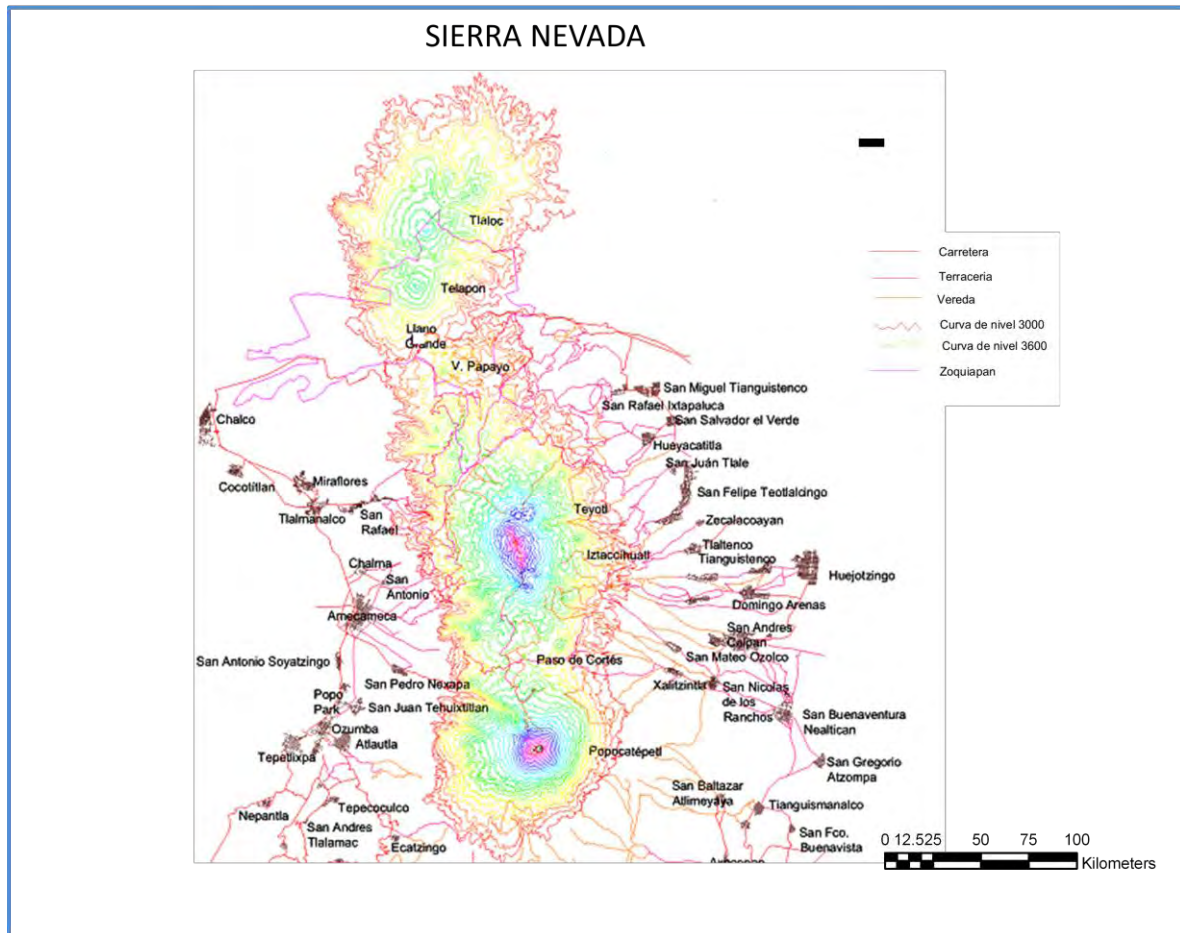


Figura 1.13. Sierra Nevada. Fuente: Conanp

#### 1.4.1. Fisiografía, vegetación, suelo y clima.

**Fisiografía.** La Sierra Nevada se encuentra en la subprovincia fisiográfica de Lagos y Volcanes de Anáhuac, dentro de la región fisiográfica del Eje Neovolcánico; el sistema de toposformas que la constituye es el de una sierra volcánica con estratovolcanes. La subprovincia se extiende de poniente a oriente, desde unos 35 km al occidente de Toluca, en el Estado de México, hasta Quimixtlán, Puebla. (Figura 1.14). La geología de esta unidad morfológica es en general de origen volcánico; la integran conos formados por materiales diversos, producto de una actividad volcánica de sucesivas erupciones y corrientes de lava pero en el Iztaccíhuatl la erosión no permite la posibilidad de reconocer los edificios volcánicos individuales (INEGI, 2006).



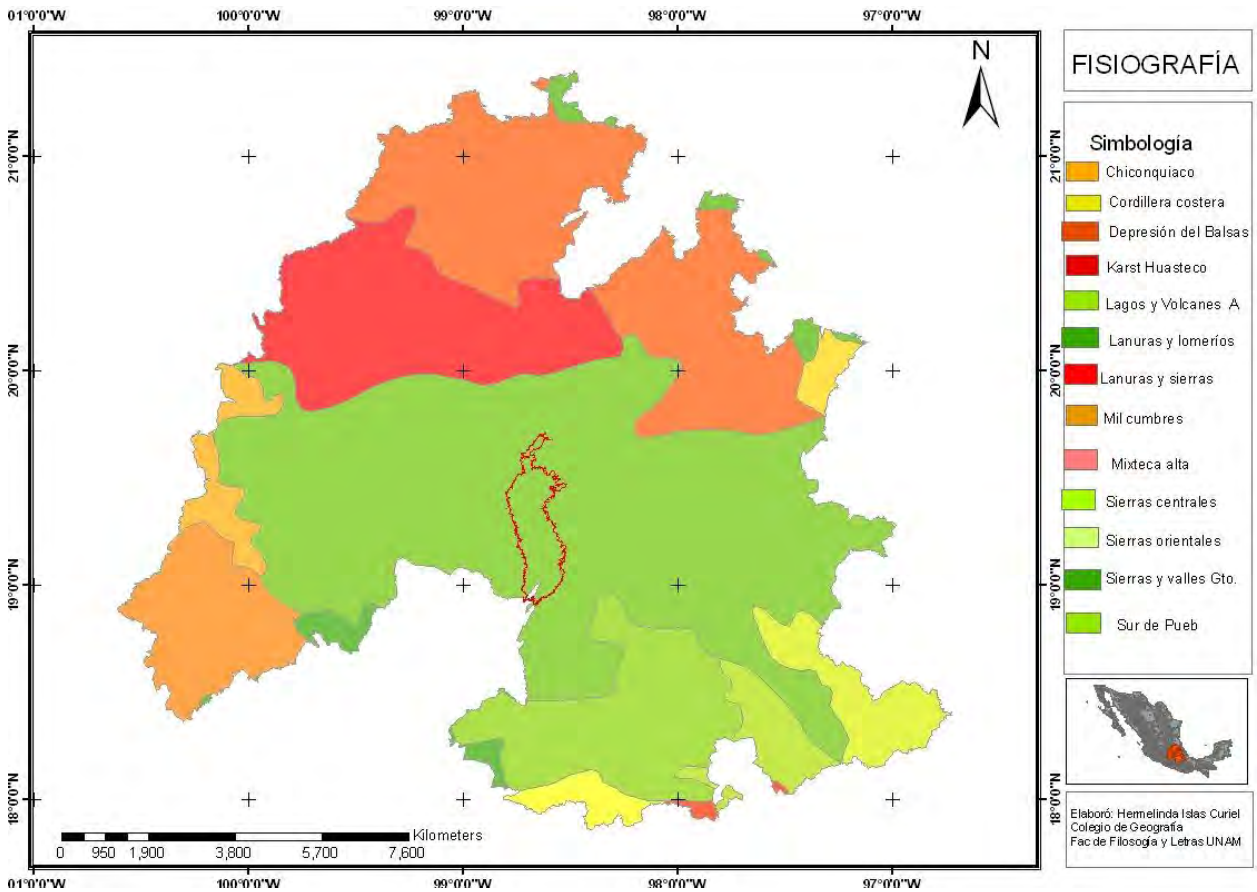


Figura 1.14 Provincias fisiográficas de los estados del centro de México y la Sierra Nevada. Fuente: INEGI (2006).

El Iztaccíhuatl tuvo su origen a fines del Mioceno. Está formado principalmente por capas de lava andesítica; la erosión y los glaciares han dado lugar a la formación de importantes accidentes topográficos como abruptas pendientes, restos de enormes ríos de hielo o ventisqueros, como el que se encuentra entre el pecho y los pies, que los indígenas llamaban Ayolocotl o Ayoloco, de donde, según se dice, los pobladores de Amecameca y Tlalmanalco transportaban nieve en mulas hacia los pueblos cercanos (Vázquez, 2004). El Popocatepetl es un volcán activo con un cono bien definido de forma ovalada por cuyo conducto tienen lugar las constantes fumarolas y solfataras que ha presentado a través del tiempo. Su cráter tiene una profundidad de 200 a 300 m en cuyo fondo existen abundantes depósitos de azufre y de ácido sulfhídrico, además de basaltos y escorias porosas cargadas de óxido de hierro. Sus frecuentes erupciones son de tipo explosivo; la más antigua que se tiene noticia ocurrió en 1354, a 31 años de la fundación de la ciudad de México, mientras que la más reciente fue entre los años 1994 y 1995 (Cenapred-UNAM, 1995).

Vegetación. La vegetación y la fauna de la Sierra Nevada representan una gran importancia desde el punto de vista biogeográfico porque en ella se han encontrado valores altos de riqueza y endemismo. Sin embargo, esta área natural, representada en la mayor parte por bosques, ha sido muy alterada, por lo que su conservación está severamente amenazada; el gradiente altitudinal presente en la zona es amplio, con distintos tipos de vegetación y microhábitats (Hernández y Granados, 2006).

Las comunidades vegetacionales de la Sierra Nevada están determinadas por los factores climáticos y las propiedades físicas del terreno, los tipos de suelos, los niveles de humedad y la precipitación.

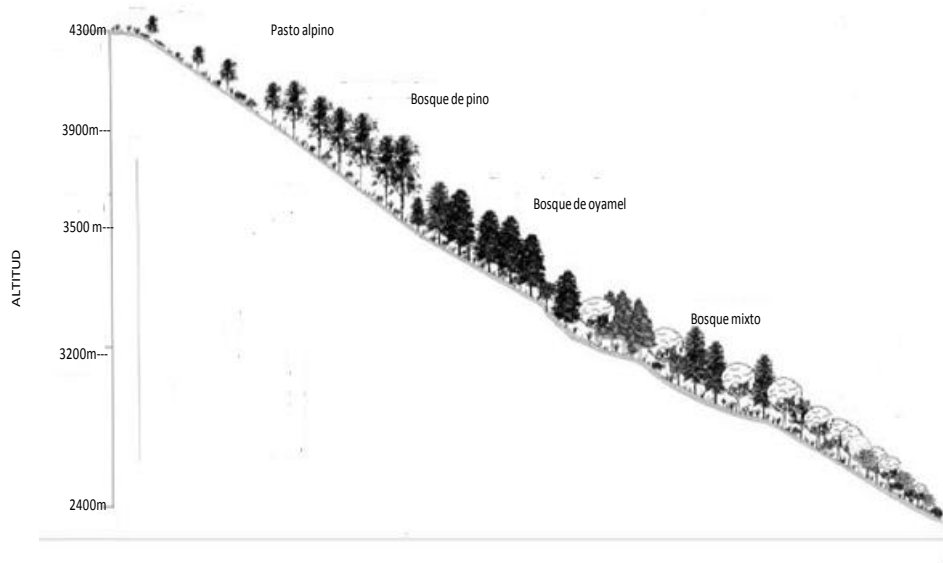


Figura 1.15. Perfil de las comunidades vegetales de la Sierra Nevada. Adaptado de Sánchez y López (2003).

En las partes más altas, de 3,900 msnm a 4,300 msnm, se encuentra un tipo de vegetación dominada por gramíneas acompañadas por algunas especies de líquenes y musgos al que se le denomina pradera alpina o pastizal alpino, que cuentan con la presencia ocasional de *Pinus hartwegii*. Los pastizales alpinos se extienden en forma casi continua desde los conos volcánicos del Iztaccíhuatl hasta los arenales del Popocatepetl (Figura 1.16).



Figura 1.16. Vegetación alpina (gramíneas y líquenes) y Cardo Santo o Rosa de las Nieves en el Iztaccíhuatl.

Fuente: Islas (2008).

De 3,500 a 3,900 msnm se encuentra el bosque de pino representado en su mayoría por el *Pinus hartwegii*, cuyo límite superior en el Iztaccíhuatl se halla a 4,020 metros de altitud mientras que en el Popocatepetl está a 3,910 msnm. Esta especie de pino es la más importante en el estrato arbóreo dentro de la Sierra Nevada; en este piso altitudinal también se encuentra *Juníperus monticola* y *Senecio angulifolius* (Sánchez y López, 2003).

Existen otras comunidades de coníferas entre 3,200 y 3,500 msnm que se desarrollan en forma pura o como transiciones entre bosque mixto y bosque de pino. Es el bosque de oyamel o abeto (*Abies religiosa*), que se encuentra al occidente del Iztaccíhuatl de manera predominante, pero en la parte norte de la sierra, en su límite altitudinal superior, se encuentra asociado con otros pinos como *Pinus montezumae*, *P. rudis*, *P. teocote* y *P. patula*. En su límite inferior se asocia principalmente con *Alnus acuminata* (Sánchez y López, 2003).

Entre 2,400 y 3,200 msnm está presente el bosque mixto, asociación entre coníferas y latifoliadas, con una gran diversidad de especies forestales y arbustos; entre las especies más representativas se encuentran los encinos *Quercus laurina* y *Quercus rugosa*, que compiten con un gran número de especies arbustivas y herbáceas como *Prunus*, *Arbutus* y *Buddleia*, así como con un rico sotobosque, el cual está representado por distintas especies de la familia de las compuestas, entre las que destacan los géneros *Senecio*, *Psacalium*, *Stevia* y *Cirsium* (Sánchez y López, 2003).

La vegetación epífita está limitada a líquenes, musgos y bromelias que, donde hay condiciones de alta humedad, crecen sobre las ramas de oyameles, mientras que los helechos y las orquídeas sólo se encuentran sobre los bosques de *Quercus*, *Alnus* u otras angiospermas arbóreas; entre las especies de orquídeas que se encuentran en la sierra están la *Corallorhiza macranta*, *Corallorhiza maculata*, *Govenia liliaceae*, *Malaxis ehrenbergii* y *Spiranthes hyemalis* (Conanp, 2009).

En las partes medias y bajas de la sierra, donde la deforestación se ha incrementado, la vegetación original ha sido sustituida por diversos cultivos como pera, manzana, ciruelo, maíz, haba, frijol y cebada. Se han reconocido once comunidades vegetacionales dentro de la Sierra Nevada, observándose que la vegetación de la vertiente oriental está muy perturbada, con áreas abiertas de plantas en floración. Por el contrario, la vertiente occidental está mejor conservada a pesar de la frecuente explotación forestal (Luna y Llorente, 2004).

En general, la vegetación de la Sierra Nevada ha sido de gran valor e importancia tanto para el aspecto de la población vegetal como para la fauna, ya que constituye el principal hábitat de diversos animales silvestres que aún se localizan en la zona pero que cada día sobreviven con mayor dificultad. Su fauna la constituye una gran variedad de aves, con 162 especies de las cuales 6 son endémicas del lugar (codorniz coluda, tecolote cornudo, gorrión serrano, mirlo pinta), reptiles, con 10 especies y 4 endémicas (cascabel pigmea, culebra listonada de montaña), anfibios con 6 especies y 4 endémicas (salamandra, ajolote, rana plegada), y mamíferos con 51 especies y 8 endémicas (teporingo o zacatuche, musaraña, tejón, ratón de los volcanes) (Conanp, 2009).

Suelo. Los tipos de suelo más comunes que afloran sobre la Sierra Nevada son los litosoles, regosoles, andosoles y cambisoles; en general se trata de suelos incipientes, de color oscuro, formados principalmente por las cenizas volcánicas, de textura gruesa, arenosos en las proximidades de los conos cineríticos de las altas montañas, frágiles y delgados por las fuertes pendientes; son muy vulnerables a las lluvias y al viento por la deforestación tan acelerada que afecta a la sierra (Figura 1.17). Con la pérdida de la cubierta vegetal, los suelos han quedado expuestos a todo tipo de erosión, lo que está originando su degradación y pérdida en muchos lugares de la Sierra Nevada (INEGI, 2003).

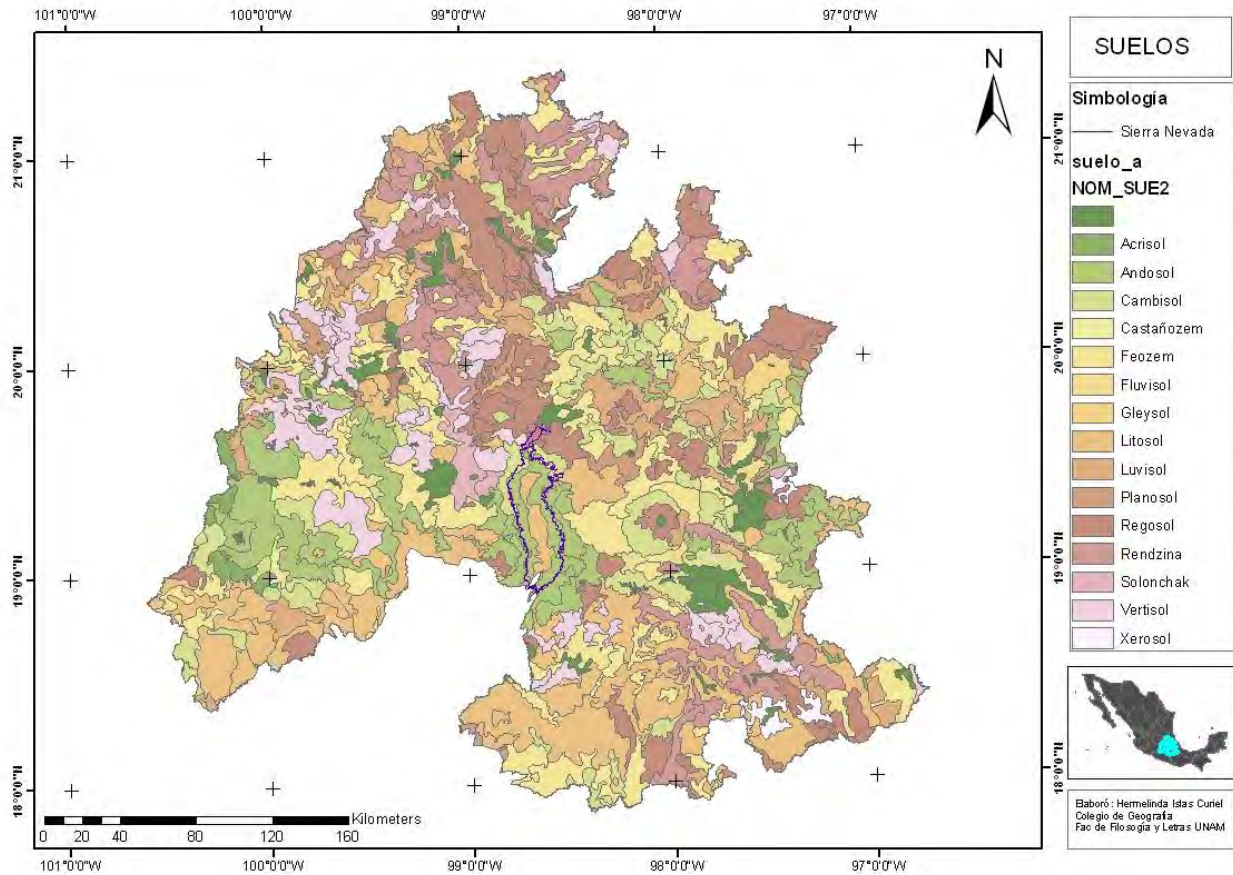


Figura 1.17. Suelos de la zona central de México y Sierra Nevada. Fuente: INEGI (2003).

Clima. La región climática en que se ubica la Sierra Nevada está influenciada por las condiciones de circulación general de la atmósfera, pues los vientos alisios actúan en verano sobre ésta, así como por los vientos del Pacífico que, en general, dan como resultado lluvias de verano y dos periodos máximos de temperatura. De manera más regional, el clima está determinado principalmente por la orografía, ya que varía de templado a muy frío de acuerdo con la altitud; a medida que se asciende por las laderas montañosas la temperatura disminuye en una proporción promedio de 0.59°C por cada 100 metros (INEGI, 2005) y esto hace que en las cimas se presenten frecuentemente la niebla y el rocío, así como la precipitación en forma de nieve que ha dado origen a los glaciares (Figura 1.18).

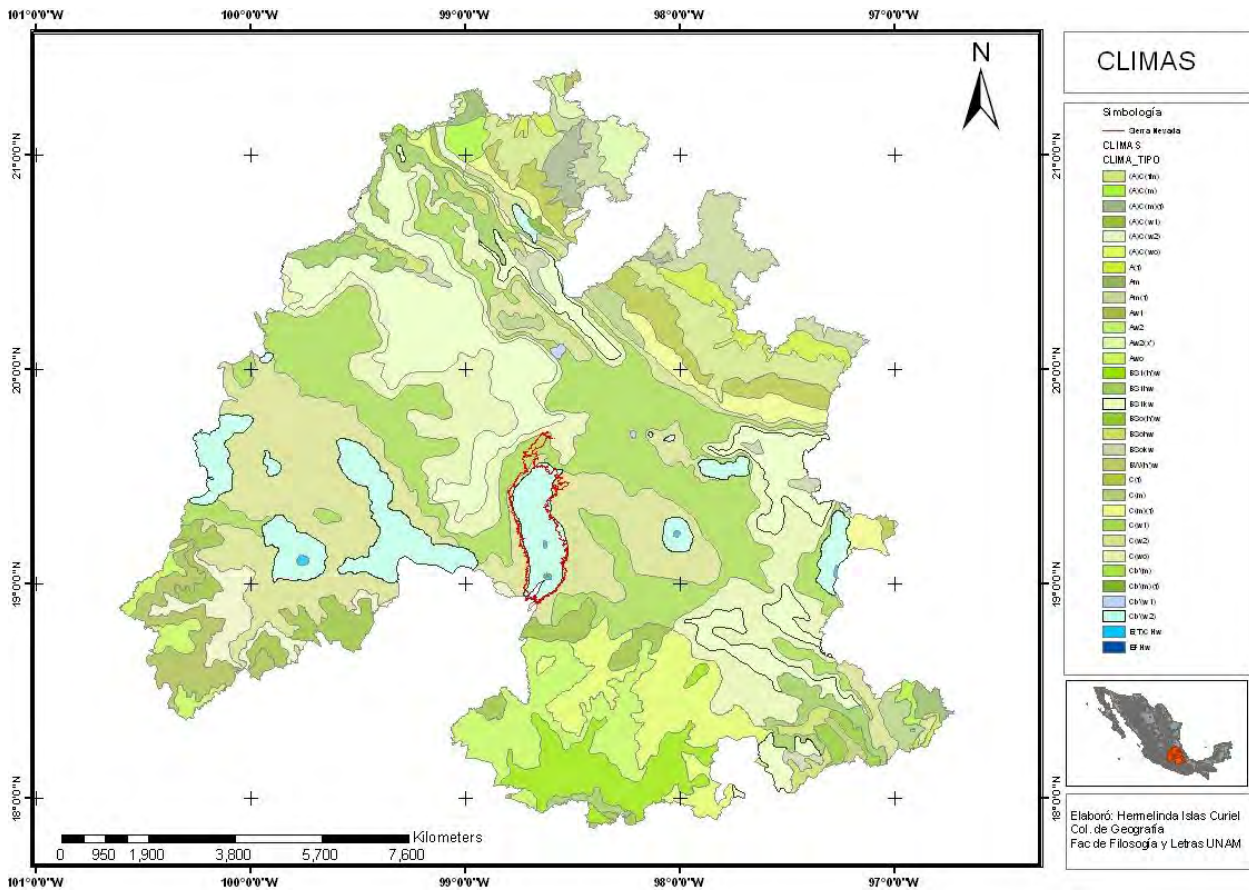


Figura 1.18. Climas de la zona centro de México y Sierra Nevada. Fuente: INEGI (2005).

En la parte más baja de la sierra y ocupando la mayor extensión se presenta el clima C(w2)(w), templado subhúmedo, con alto grado de humedad, con lluvias de verano. Siguiendo en altitud se encuentra el clima C(E)(w2)(w), semifrío subhúmedo, con alto grado de humedad, con lluvias de verano. El clima E(T)H, frío de altura con marcado invierno, con temperatura media anual entre -2 y 5°C, se presenta entre 4,000 y 5,157 metros de altitud promedio, que corresponde al límite inferior de las nieves perpetuas. En las cumbres más altas del Popocatepetl y el Iztaccíhuatl, en la zona de los glaciares y las nieves, está el clima EFH, muy frío de altura, cuya temperatura media anual es inferior a -2°C y tanto la temperatura del mes más frío como la del mes más cálido está por debajo de los 0°C (INEGI, 2005).

Tendencias del clima en la Sierra Nevada: temperatura mínima y precipitación. La tendencia es el patrón de comportamiento de los elementos de un entorno particular durante un periodo, el cual, derivado del análisis estadístico en una serie de datos, puede reflejar cambios graduales que se traducirán en anomalías positivas o negativas en el tiempo, de acuerdo con la variable en estudio. Mediante esta técnica es posible detectar la dirección o trayectoria que están presentando las diferentes variables climáticas, con las que se puede detectar

el cambio climático (Méndez *et al*, 2008).

Los diferentes grados e intensidad en que se presentan estos elementos favorecen la manifestación de otros fenómenos meteorológicos que caracterizan al clima y su tendencia, de manera tal que la presencia o ausencia de ciertos fenómenos, como las nevadas, pueden estar vinculadas directamente a la temperatura y la precipitación y éstas, a su vez, pueden ser consecuencia de la variabilidad dada en otros elementos y factores. Por consiguiente, es indispensable realizar diversos estudios de estos elementos y sus diferencias espacio-temporales que ayuden a determinar con mayor precisión el comportamiento y su tendencia frente al cambio climático (Méndez *et al.*, 2008).

El Servicio Meteorológico Nacional considera la temporada invernal del 1° de noviembre al 31 de marzo, dadas las condiciones meteorológicas que se presentan en esta época, debido a los diferentes sistemas meteorológicos que invaden nuestro país y que dan origen a un marcado descenso térmico, que se manifiesta en las temperaturas mínimas extremas que son las más bajas del año y que pueden dar lugar a fenómenos meteorológicos como heladas o nevadas (SMN, 2008). Sin embargo, tanto en el mes de octubre como en el de abril es posible encontrar alguna nevada.

Analizando la información de la temperatura media y la precipitación total anual de seis estaciones climatológicas localizadas en las faldas de las montañas Iztaccíhuatl y Popocatepetl, Ortega del Valle (2001) afirma que la temperatura media en esta región muestra una tendencia al incremento mientras que la precipitación tiende a disminuir; así mismo, observa que las variaciones en la temperatura tienen relación con los reportes del aumento de la misma a nivel global. Otro estudio que muestra a nivel general la tendencia de la temperatura en el centro de México es el que realizó Vidal (2001), quien analiza la temperatura del periodo invernal (considerado de noviembre a febrero) con el observatorio de Tacubaya; en él observa la tendencia de la temperatura media de este periodo hacia un ligero incremento a partir de la década de los 60, acentuándose en la década de los 90, sobre todo en el año 1994 que presentó una anomalía positiva de 2.5°C y el año 1997 con 2.8°C.

Para encontrar la distribución de este elemento meteorológico a través del tiempo se analizaron las isotermas de temperatura mínima extrema de la zona central del país, según el mapa de INEGI, con los estados de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y el Distrito Federal, que rodean a la Sierra Nevada. En el mapa de la Figura 1.19 se puede observar que las isotermas en la zona de los glaciares indican temperaturas mínimas extremas menores de -8°C en la parte más alta, temperatura que corresponde a la zona de las nieves perpetuas.

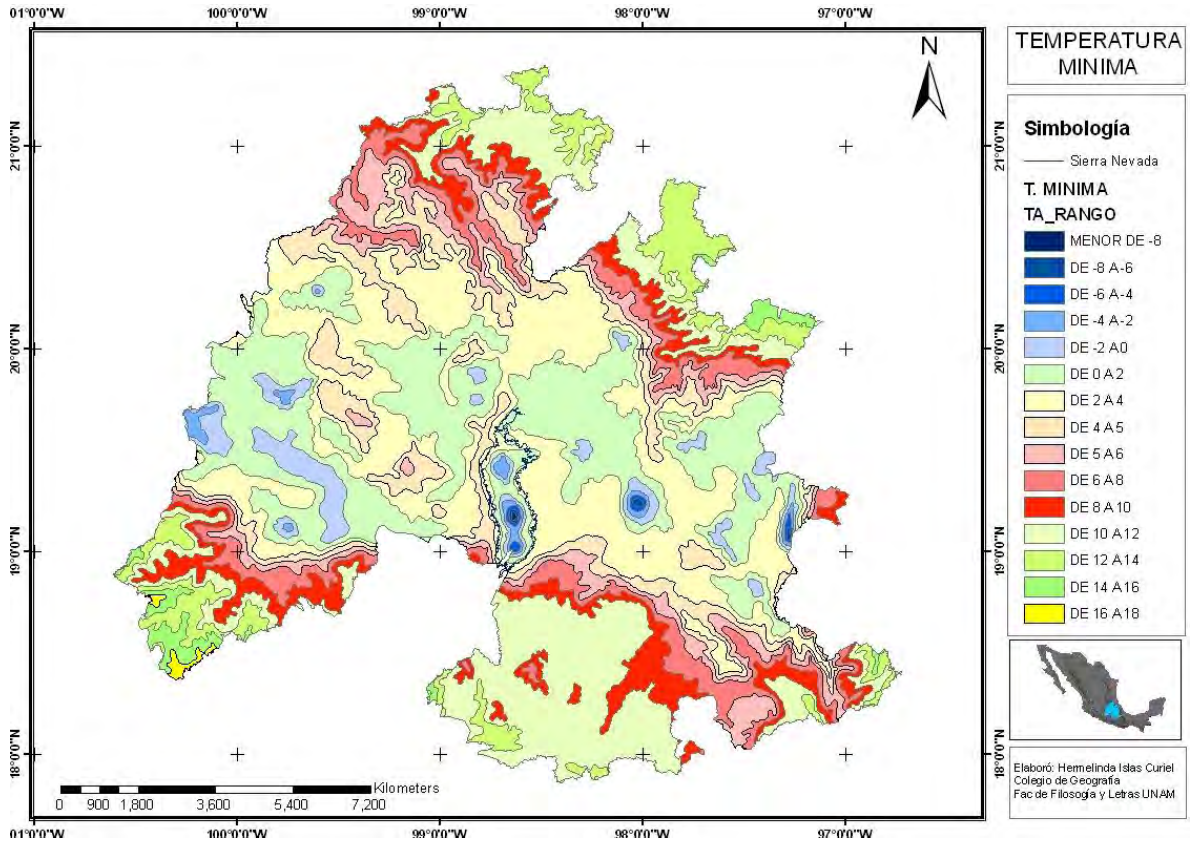


Figura 1.19. Temperatura Mínima Extrema. Fuente: INEGI (2005).

Así mismo, se elaboró una grafica con la información anual de la temperatura mínima promedio de los estados del centro del país; los datos se obtuvieron de las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional. El periodo utilizado esta comprendido entre los años 1971-2007. En esta gráfica se puede observar el comportamiento de la temperatura mínima promedio, la cual muestra un importante incremento a partir del presente siglo, misma que se agudiza en 2007 (Figura 1.20).

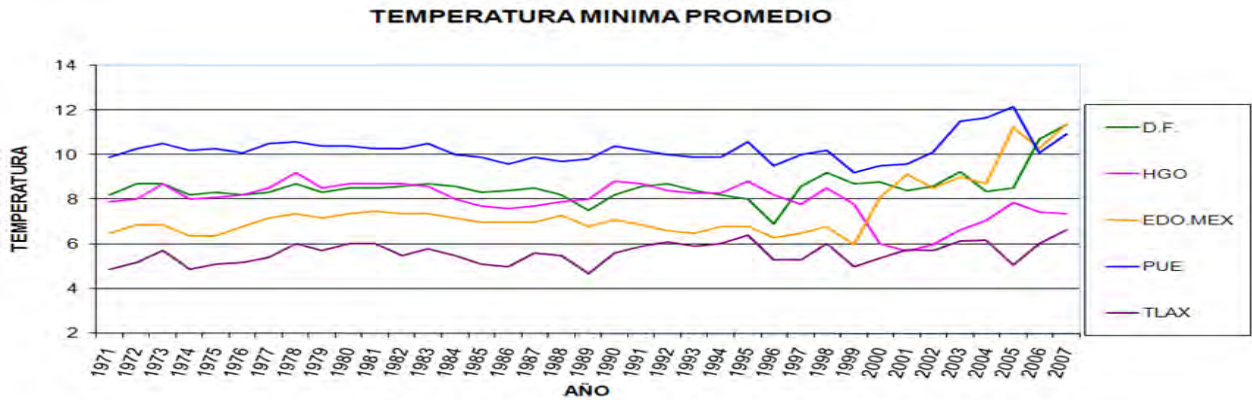


Figura 1.20 Temperatura mínima promedio. Elaboración propia con información anual del SMN.



Precipitación. Granizo, nevada, escarcha, aguanieve y nieve granulada son formas de precipitación que no entran, en principio, en el cálculo para determinar la cantidad de lluvia acumulada, pues son fenómenos que por sus características no pueden ser medidos de inmediato y sólo será a través de cierto tiempo en que se haya dado la fusión de éstos, que al pasar de su estado sólido inicial al líquido, podrán contabilizarse dentro de la lluvia como agua precipitada, de acuerdo con la intensidad con que haya ocurrido el evento.

El mapa de isoyetas del INEGI (Figura 1.21) muestra una precipitación para la zona de los glaciares con un rango entre 800 y 1 200 mm. Mientras que el estudio que realiza Ortega del Valle (2001) sobre la tendencia de la precipitación en la zona aledaña al Iztaccíhuatl encuentra una precipitación media de 937.09 mm y para la del Popocatepetl 883.72 mm; asimismo, la autora observa una variación en diferentes periodos, con aumento y disminución de este elemento, pero con la tendencia generalizada hacia la disminución.

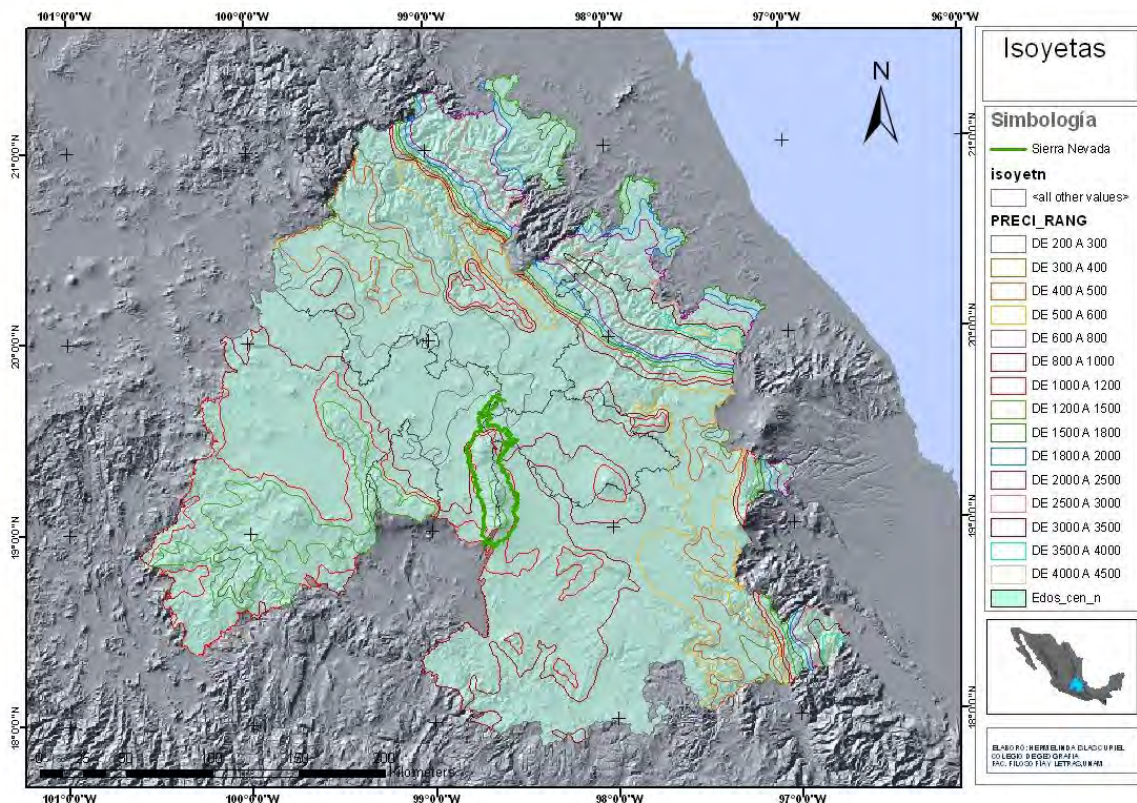


Figura 1.21 Precipitación total anual en los estados del centro del país. Fuente: INEGI (2005).

#### **1.4.2 Importancia de los glaciares de la Sierra Nevada.**

Los glaciares de México son de gran valor porque se encuentran en latitudes subtropicales, son los únicos que se localizan sobre el paralelo 19° de latitud norte, su presencia se debe a la altitud. Se encuentran alojados sobre las tres cimas más altas del país que sobrepasan los 5,000 msnm, como son el Pico de Orizaba, el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl, ya que son las únicas que pueden mantener temperaturas inferiores a los 0°C que se requiere para conservar el hielo todo el año; en estas cimas la línea de las nieves está a más de 4,600 msnm (Delgado, 1996).

Más allá de ser elementos que le brindan cierta belleza al paisaje, la importancia de los glaciares de la Sierra Nevada está en el papel que juegan en la regulación del clima y la biodiversidad, pero su máximo valor se manifiesta en el aspecto hidrológico, pues la nieve representa una reserva de agua, que acumulada en el invierno sobre la superficie del glaciar, en la medida que se derrite, queda disponible en primavera, en la época de estiaje.

Las montañas de la Sierra Nevada son de vital importancia en la distribución del agua de los glaciares ya que la absorben, la purifican, la guardan en el subsuelo o la distribuyen por sus laderas y permiten utilizarla. El deshielo glacial es la principal fuente de alimentación de las aguas corrientes superficiales y da origen a la red hidrológica que cubre los valles de Puebla y oriente del Estado de México, formando manantiales, arroyos y ríos de los que se abastecen 300,000 habitantes asentados en las faldas de la Sierra.

Entre las principales corrientes se encuentra el río Molinos, que nace al sureste del Iztaccíhuatl, atraviesa la región occidental de Cholula y penetra en Atlixco para unirse con el río Nexapa, que se une hacia el sur al Mexcala. El río Atila, que se origina en las faldas meridionales del Popocatepetl, se dirige al sur, luego se une al río Nexapa. En la zona norte se forma el río Chopanac, que confluye al río Tlalmanalco. En la parte central de la sierra se originan los arroyos Almoloya y Coronilla que, a su vez, dan origen al río Amecameca, proveedor de agua potable para la zona. Otros arroyos son el Amipulco, de la ciénega de Alcalicán, San Diego, Alseseca, Actiopa y Xopanac (Plan de Desarrollo Municipal de Amecameca, 2003). Al lado oeste del Iztaccíhuatl se encuentran varias cascadas, entre las que sobresalen las de San Rafael, El Negro, Diamantes, Milpulco y la cascada de Alcalicán, cuyas aguas se dirigen hacia la cuenca de México. Un ejemplo de la dependencia de los deshielos es la infraestructura hidráulica que tiene el gobierno municipal de Amecameca (Cuadro 1.2).

Cuadro 1.2 Sistemas de captación de agua de los deshielos.

SISTEMA	TIPO	NOMBRE	LOCALIDAD	ESTADO ACTUAL
Morelos	Captación de deshielo	Las Huertas	Santiago Cuautenco Santa Isabel Chalma San Antonio Tlaltehuacán San Francisco Zentlalpan Aldea de los Reyes	Requiere de mantenimiento correctivo por tener más de 50 años de vida.
Amecameca	Captación de deshielo	El Salto	Amecameca	Requiere de mantenimiento correctivo por tener más de 50 años de vida.
Alfredo del Mazo	Captación de deshielo	Amalaxco Curva del Negro Provincial Nexpayantla	San Pedro Nexapa San Diego Huehucalco San Antonio Zoyatzingo	Requiere de mantenimiento correctivo por tener más de 50 años de vida.

Fuente: Gobierno Municipal de Amecameca.

Por otra parte, los glaciares del Iztaccíhuatl pueden almacenar agua y alimentar los poblados y terrenos de sus faldas en época de sequía. Las rocas y suelos dejan infiltrar el agua hasta grandes profundidades, esto sirve para recargar los mantos acuíferos de donde se abastecen dos de las ciudades más grandes del país, Puebla y la Ciudad de México. El acuífero Chalco-Amecameca, que suministra 74 millones de m<sup>3</sup> de agua subterránea al año, en la actualidad presenta un gran problema pues su nivel de extracción de agua es 173% mayor que su ritmo de recarga. Al pie de los volcanes puede obtenerse agua de pozos durante todo el año, sin embargo, debido a la gran cantidad de pozos no registrados en la región, el nivel de agua en los pozos profundos está bajando entre uno y dos metros por año. Estos glaciares también ayudan en la recarga del acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y en el acuífero de Texcoco (Burns, 2006).

En las últimas décadas los glaciares de todo el mundo han presentado un importante retroceso a tal grado que muchos de ellos han desaparecido por completo. México no ha sido la excepción a este fenómeno, que representa una de las evidencias más notables del calentamiento global y las variaciones climáticas, tal como lo indican los glaciares de la Sierra Nevada (Vázquez, 2004).

Las causas de esta reducción aún no son muy claras, por lo que hay necesidad de implementar los estudios sobre ellos, principalmente en el aspecto de la variabilidad climática, por la influencia y relación que guardan los glaciares con el clima. Sin embargo, la falta de información meteorológica a estas altitudes dificultan los estudios en este tema, pues las estaciones climatológicas más cercanas a los glaciares (San Pedro Nexapa, Amecameca, Río Frío y en el último año la estación de Paso de Cortés) se encuentran a una altitud muy por abajo del nivel de congelamiento de los hielos, por lo que sus datos son difíciles de considerar y resultan sólo una aproximación de lo que en realidad está sucediendo en el límite de las nieves perpetuas (Delgado, 1996).

El primer inventario de los glaciares en la Sierra Nevada lo llevó a cabo José Luis Lorenzo quien, con motivo del Año Geofísico Internacional de 1957, se dedicó a investigar los glaciares de México. Su obra fue publicada en 1964 y en ella hace una descripción detallada de cada glaciar comprendido en las dos montañas de esta sierra (Vázquez, 2008). En esa época el Popocatepetl contaba con tres glaciares ubicados en la parte norte del volcán; el del Ventorrillo o Teopixcalco, el noroccidental y el glaciar norte, que en total cubrían un área de 720,000 m<sup>2</sup> (Lorenzo, 1964). Sin embargo, para 1982 se encontró que no eran tres glaciares como los describía Lorenzo sino que el glaciar norte era parte del glaciar del Ventorrillo, pero el área glaciada se había reducido a 559,000 m<sup>2</sup> que, comparada con la de 1964, resulta una pérdida de 161,000 m<sup>2</sup>, que representa cerca de 22% (Delgado, 1996).

Los glaciares del Iztaccíhuatl eran nueve en la descripción que de ellos hace José Luis Lorenzo (1964).

1. Glaciar del Cuello, situado en la ladera oriental, al SE de la cabeza; se ubica desde los 4,990 – 5,040 msnm y cubre un área de 20,000 m<sup>2</sup>.
2. Glaciar de Ayolotepito, en la ladera occidental; baja en dos ramales, uno por el cuello y otro que desciende en cascada para unirse ambos en la hondonada de Chalchoapan, donde forma una pequeña laguna. Se ubica a los 4,670 msnm.
3. Glaciar Nororiental, al ENE del pecho, a 4,980 msnm, cubre un área de 110,000 m<sup>2</sup>.
4. Glaciar del Pecho, que se extiende hacia el sur a 5,180 msnm, tiene un área de 75,000 m<sup>2</sup>.
5. Glaciar centro oriental, al E de la barriga, a 5,185 msnm, con un área de 140,000 m<sup>2</sup>
6. Glaciar de Ayoloco, al oeste de la barriga, a 5,100 msnm, posee un área de 285,000 m<sup>2</sup>.

7. Glaciar sudoriental, al SE de la barriga, a 5,100 msnm, cuenta con una superficie de 80,000 m<sup>2</sup>.
8. Glaciar Altzintli, en la ladera oeste al S de la barriga y al noroeste de las rodillas, a 5,010 msnm, cuenta con un área de 120,000 m<sup>2</sup>.
9. Glaciar San Agustín, en la ladera oriental al norte de las rodillas; está situado a 5,065 msnm y cuenta con un área de 30,000 m<sup>2</sup>.

En 1964 el área total de los glaciares del Iztaccíhuatl era de 1 210,000 m<sup>2</sup> (Lorenzo, 1964). De los nueve glaciares que existían sólo quedan cuatro, uno de ellos no bien definido; los glaciares del Cuello, Ayolotepito, Nororiental y San Agustín han desaparecido (Luna, 2002) (Figura 1.22).

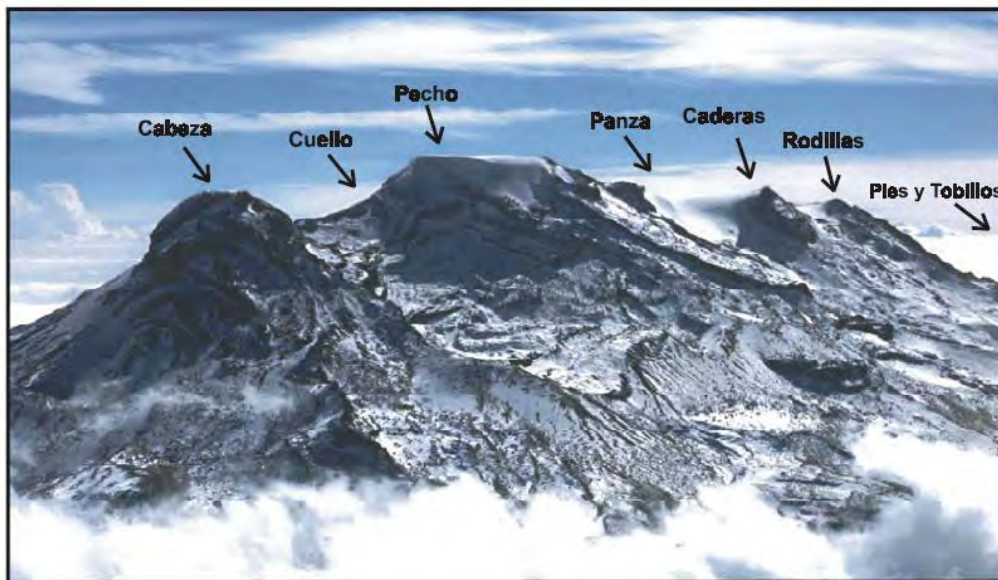


Figura 1.22 Ubicación de los glaciares del Iztaccíhuatl. Fuente: Luna (2002).

En el caso del Popocatépetl la actividad volcánica que ha presentado a partir de 1994 ocasiona calentamiento en su cono y además las constantes fumarolas y las emanaciones de cenizas pueden ser la causa de un aumento de temperatura, tanto en esta montaña como en el Iztaccíhuatl (Luna, 2002).

Para el análisis de la variabilidad climática y el aumento de temperatura en el Iztaccíhuatl es necesario estudiar el albedo, pues se requiere determinar en qué medida los contaminantes de la ciudad de México y Puebla o las cenizas del Popocatépetl están afectando el color de la capa exterior de la nieve, pues es posible

que un cambio en la dirección del viento esté desviando hacia el norte las columnas de fumarolas, propiciando la caída de cenizas sobre el glaciar, dando lugar a una disminución en el albedo y con ello un aumento de temperatura (Baumgardner, *com pers.*, 2009).

De acuerdo con el estudio realizado por Luna (2002), en el Iztaccíhuatl se encontró una modificación considerable del área glaciada con un notable adelgazamiento y reducción sustancial en los glaciares que se encuentran en las laderas, de tal manera que en algunos sitios han quedado al descubierto rasgos que anteriormente no se veían, como las grietas o rimayas, producto del desplazamiento y el contacto del hielo con la pared; éstas se han observado principalmente en la zona central y frontal en donde se observa un desplazamiento mayor (Figura 1.23). También se ve en algunas temporadas una grieta muy significativa al norte del glaciar Ayoloco. De igual forma, rasgos que en otras épocas se podían apreciar ya no se ven por las modificaciones que los glaciares han soportado y la desaparición por completo del glaciar del Cuello y el de San Agustín, así como la reducción de los glaciares Atzintli, Centro-Oriental y Nororiental que están en un claro proceso de extinción.



Figura 1.23 Grietas y rimayas en los glaciares del Iztaccíhuatl. Fuente: Luna (2002).

Otro aspecto muy importante de este estudio es el reporte de un fuerte olor a azufre detectado en la parte baja del glaciar Centro-oriental, cerca de La Panza, evidenciado por la presencia de un manchón amarillento y la ausencia de nieve en esa zona, lo que podría indicar un aumento de calor asociado a una manifestación de actividad volcánica.

En los últimos años se ha despertado un gran interés por la investigación de los glaciares de México, entre otras cosas porque se les considera como verdaderos glaciares tropicales, idóneos para el estudio de la evolución de la vida, ya que por sus condiciones extremas de temperatura, presión y composición del suelo presentan una deficiencia de nitrógeno en la superficie y amonio libre en su entorno.

Actualmente existe un equipo de investigadores integrado por especialistas tanto nacionales como de otros países, estudiando a los microorganismos extremófilos como bacterias y hongos, pues ante la reducción de estos glaciares se tiene la hipótesis de que algunas comunidades microbianas ya no podrán desarrollarse, o bien, que las que no eran capaces de subsistir, logren adaptarse dando lugar a un proceso de selección natural (Figura 1.24). Así mismo, existe la posibilidad de que algunos organismos comiencen a descender para competir por nutrientes o que ante la reducción de recursos, los microorganismos extremófilos podrían comenzar a extraer nutrientes de las rocas, eliminando algunos minerales que le dan cohesión al suelo (El Faro, 2009).



Figura 1.24 Comunidad de algas que viven en zonas con hielos permanentes. Fuente: El Faro (2009). Pastos congelados en el Iztaccíhuatl. Fuente: Islas (2009).

## CAPÍTULO 2

### INVESTIGACIÓN HISTÓRICA Y HEMEROGRÁFICA DE LAS NEVADAS EN EL CENTRO DEL PAÍS

En el paisaje siempre nevado  
acurrucadas sobre el volcán,  
hay millones de gotitas  
convertidas en cristal.

En el invierno la nieve crece,  
en el verano la funde el sol  
y en vapor se desvanece  
cuando se levanta el sol

Francisco Gabilondo Soler

La climatología histórica permite la exploración de fuentes documentales y archivos históricos; mediante estas herramientas es viable la reconstrucción climática temporal y espacial de un evento específico (Barriendos, 1999). Tal es el caso de las nevadas, que por ser un fenómeno meteorológico extremo de gran importancia por el impacto que presenta en la población y en su medio ambiente, sobre todo en la agricultura, es posible encontrar su registro en algunas fuentes documentales, ya que desde la época prehispánica se asentaban en los códices y posteriormente en los ayuntamientos y cabildos locales como un evento de desastre (García V. *et al*, 2003).

En México parte de este trabajo lo llevó a cabo el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS) con el —Catálogo de desastres agrícolas”, investigación que abarca desde la época prehispánica hasta el siglo XX, cuyas fuentes principales para las primeras épocas la constituyen los Códices y los Anales. Así mismo, existen otras organizaciones que están realizando estudios similares, como la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, con el catálogo de —DeInventar” (Sistema de Inventario de Desastres) y el Cenapred (Centro Nacional para Prevención de Desastres); tales trabajos están basados en la perspectiva multidisciplinaria y se han abocado a la tarea de la búsqueda documentada principalmente en información hemerográfica (García V. *et al*, 2003). Sin embargo, aún falta mucho por hacer, ya que estos estudios en general se han basado en fuentes nacionales, pero existen fuentes regionales y locales, con información específica de algunos eventos climáticos importantes; por tanto, es necesario localizar, además de los archivos históricos de la administración pública, los archivos de carácter religioso; también es posible encontrar registros de fenómenos atmosféricos en los diarios de viajeros, así como en la literatura de tipo narrativa y costumbrista e incluso en biografías.



En este apartado de la investigación se consideraron los trabajos realizados por dichos organismos, de los que se extrajeron los eventos de nevadas de los estados del centro del país y se complementaron con la información hemerográfica de algunos periódicos locales, además de encuestas y entrevistas que se realizaron a las personas que están en contacto con lugares de nieves perpetuas como vecinos, alpinistas, socorristas, cronistas, investigadores, turistas y personas que les ha tocado vivir en la nevada más intensa del siglo pasado, la de enero de 1967.

Para el análisis histórico de las nevadas se consideraron tres épocas: la prehispánica, la colonial y la del siglo XX. Las dos primeras coinciden con la Pequeña Edad de Hielo, ocurrida entre 1350 y 1850; este pequeño enfriamiento se ha estimado en 1°C a nivel mundial y ha sido identificado a través de diversos archivos naturales como los anillos de crecimiento de los árboles, los sedimentos que se acumulan en los fondos de los lagos y océanos, los hielos, además de los archivos históricos (Vázquez, 2008). Las nevadas del siglo XX corresponden a la época de observaciones instrumentales, cuando se estableció una red de estaciones y observatorios meteorológicos en gran parte del país.

## **2.1 Época prehispánica.**

En todas las civilizaciones del mundo las sociedades sintieron gran interés por los fenómenos atmosféricos; así nacieron los primeros meteorólogos que fueron los chamanes y sacerdotes de los pueblos antiguos, entre cuyas funciones se encontraba la de aplacar la cólera de los dioses. Estos personajes, según sus creencias, eran capaces de controlar y mediar para conseguir un buen tiempo, que permitiera buenas cosechas (Burroughs W. J. *et al*, 1998).

En la región central del país parte de estas costumbres aún persisten con las personas que se hacen llamar *tiemperos* y *graniceros* que, a través de un sincretismo religioso entre la tradición prehispánica y el culto católico, con rezos, alabanzas y ofrendas acuden a sus templos enclavados principalmente en las cuevas aledañas a las montañas más altas, como el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl (Montero, 2004).

Estas personas (según creen) tienen la facultad de “*tajar*” el granizo y las heladas, saber manejar la lluvia, el viento y la tormenta, para alejar el mal tiempo de los campos de cultivo. Sin embargo, en cuanto al fenómeno de la nevada, como constituye un elemento primordial en la recarga de los glaciares de los que se abastecen de agua, los manantiales y ríos de la región, no se hace ningún pedimento, ni para que se presente ni para alejarla pues si es de poca intensidad, como ocurre en general en las zonas cultivadas, no representa ningún

peligro para la agricultura, además, por la temporalidad y la altitud en que ocurre no se le considera un fenómeno catastrófico, sino más bien se le tiene por benéfico (Vega, *com. pers.*, 2008).

Uno de los puntos principales de estas ceremonias está en el Iztaccíhuatl en La Cueva de Alcalica o de Los Brujos, que se encuentra a 3,200 msnm, sobre la cañada de Alcalica; en este lugar se ofrenda con comida, flores de papel, algodón, canicas y galletas nevadas. El objetivo siempre es pedirle permiso a la tierra para sembrar, para darle la bienvenida al nuevo ciclo agrícola y para agradecer las buenas cosechas; las fechas de las ceremonias son el 2 de febrero en que se bendice la semilla, el 2 y 3 de mayo en que se asciende al Popocatepetl y al Iztacihuatl, para las ceremonia de petición de buen tiempo, así como el día 2 de noviembre en que se acude nuevamente a estos lugares para dar gracias por las cosechas recibidas; también se realiza una ceremonia en tiempo de canícula para ahuyentar el hambre y eliminar las plagas (Vega, *com. pers.*, 2008).

La cosmovisión social y local de estas personas (tiemperos y graniceros) especializadas en la regulación de las precipitaciones y los fenómenos meteorológicos, están relacionadas con el clima y el agua. Desde su perspectiva dicen que —ds volcanes son hacedores de agua pues arriba de los 4000 msnm se ve el proceso de formación de las nubes que ellos han sabido comprender y por ello hay que saber pedírsela con el objeto de obtenerla para los cultivos?; así, estos elementos climáticos son de vital importancia para las comunidades rurales y son un reflejo de la dependencia que aún tienen de las actividades agrícolas, aunque en la actualidad combinen estas actividades con otras como el comercio (Montero, 2004).

En la época prehispánica el símbolo de nevada está representado por un glifo de un círculo con un punto negro en el centro, desde el cual caen pequeños puntos sobre una planta de maíz madura sin mazorca. Los puntos representan la caída de la nieve; en algunos casos el glifo aparece como una barra que en su parte inferior presenta un círculo con otro más pequeño en el centro, desde donde caen puntos negros que simbolizan la caída de nieve (Figura 2.1), este glifo aparece sobre los lugares donde se registró el evento (García V. *et al*, 2003).

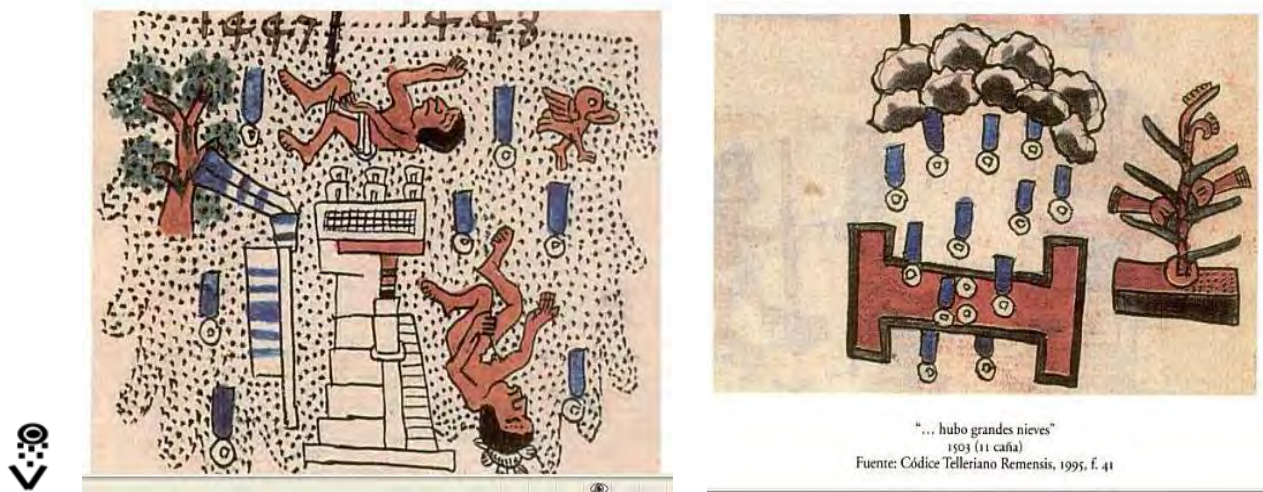


Figura 2.1. Símbolo y representación de nevada en época prehispánica. Fuente: García V. *et al.*, (2003).

Los registros de nevadas localizados para esta época se ubican en el valle de México, Hidalgo y el norte de Oaxaca. En ellos se puede ver la vulnerabilidad en que se encontraba la población, además de los daños y desastres que causaba este fenómeno. Por un lado, se puede analizar la intensidad con que ocurría la nevada, pues se dice que —ayó tanta nieve que llegaba justo a la altura de la rodilla”; así mismo, se aprecia la magnitud del evento al describir la duración, ya que se dice que en Tula cayó nieve durante 5 días y en México durante 6 días. Sin embargo, según se aprecia, esta magnitud no era común, pues se dice que fue un evento extraordinario.

Los daños causados se reflejan en la descripción que se hace de la destrucción de viviendas, de plantas y árboles así como en la pérdida de las cosechas; estos factores traían como consecuencia grandes problemas en los habitantes como las epidemias de catarro, la muerte y la desolación, el hambre y la miseria, que daban origen al hurto del maíz. Según Jáuregui (2000) las nevadas y heladas del invierno de 1453-1454 están relacionadas con una mayor frecuencia de invasiones de aire polar a la cuenca, que originó la presencia de aguas oceánicas del Pacífico más frías y que favoreció la abundancia de lluvias en el centro de México, generando un clima más húmedo y más frío. Del catálogo de desastres agrícolas se ha extraído la información correspondiente a las nevadas localizadas en la parte central del país (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1 Nevadas en la época prehispánica.

AÑO	LUGAR	DESCRIPCION
1447	Valle de México	Nevada; epidemia de catarro, pérdidas de cosecha <del>hubo</del> tantas nieves que morían los hombres”.
1451	Tula, Hidalgo	Anales de Tula (1979). Nevada; —Aqúcayó nieve justo a la altura de la rodilla porque durante 5 días cayó”.
1451	Valle de México	En México ocurrió una nevada excepcional, nevó seis días seguidos
1453	Valle de México	Nevada. Intensa nevada.
1454	Tenochtitlán, Valle de México	Nevada, helada, sequía. Daño a construcciones, hambre, miseria. — <del>En</del> último periodo de hambre, cayó tanta nieve que las casas se destruyeron y se helaron los lagos de la gran Tenochtitlán. Durante ese largo periodo debido principalmente a la sequía hubo hurto de maíz”.
1503	Tlaxiaco, Oaxaca	Nevada; <del>hubo</del> grandes nieves en Tachquiaco, en la provincia de la Mixteca”.
1511	Valle de México	Nevada. —En <del>de</del> año hubo grandes nieves y tembló la tierra tres veces”.
1512	Hidalgo, Tutotepec, Nopaltepec	Nevada. Aparece el glifo de nevada sobre estos lugares.
1514	Valle de México	Nevada y malas cosechas. —Últimamente en el año, fueron tan excesivas las nieves que hubo, que se destruyeron las plantas y los árboles haciéndose pedazos y desgajándose”.

Fuente: Catálogo de Desastres Agrícolas (2003).

## 2.2 Época colonial.

La localización de nevadas en la época colonial comprende los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca y Valle de México (Cuadro 2.2). En esta época, además de poder analizar la magnitud e intensidad del fenómeno, es posible apreciar cómo se cuantificaba la nevada y los sistemas empleados en su medida, como en la nevada de 1639 en Tlaxcala, donde se dice que la nieve alcanzó una ~~ara~~” y tardó una semana en derretirse (esta medida equivale a 84 cm. Cagliani, 2006). Otra medida que se da es en la nevada de 1688, también en Tlaxcala; en ésta se dice que en los llanos se tendió un ~~jeme~~” de grueso, medida que correspondía a la distancia desde la extremidad del dedo pulgar a la del índice y equivalía a 24 cm (Real Academia de la Lengua, 2001). En 1767 se dice que ocurrió una fuerte nevada que empezó a las 5 de la mañana y terminó a las 3 de la tarde; también se menciona que cubrió un ~~plmo~~”, medida que se tomaba con la mano extendida, desde la extremidad del dedo pulgar a la del meñique y su equivalencia es de 22.5 cm (Cagliani, 2006).

Cuadro 2.2. Nevadas en la época colonial.

AÑO	LUGAR	DESCRIPCION
1549	Valle de México	Nevada. Ocurrió una nevada en el Valle de México.
1589	Valle de México	Nevada.
1610	Puebla, Tlaxcala	Vientos fuertes, nevada, muerte de animales. —Siendo gobernador don Diego Muñoz Camargo, corrió tan fuerte viento y cayó tanta nieve que se cayeron tantos árboles y murieron infinitos animales”. Anales de Puebla y Tlaxcala.
1610	Pueblo de Quecholac	Lluvias excesivas, nevada —Hacia el día domingo comenzó la lluvia con mucha fuerza de día y de noche y después empezó a nevar y no cesó sino hasta el cabo de 6 días”. Anales de Quecholac.
1637	Tlaxcala	—Neó con muchísima fuerza”. Anales de Tlaxcala. Num.2.
1639	Puebla, Tlaxcala	Nevada, muerte de animales —yentonces cayó una grande nevada, comenzó desde las cuatro de la tarde del domingo y duró todo el día del lunes, esto fue el 1° de enero. Tal vez alcanzó una vara de alto de grueso”.
1688	Tlaxcala	Fríos, nevadas. —Aha jueves 8 de enero a 3 días de la fiesta de los reyes se produjo una nevada, todos los cerros se cubrieron, todos los solares y calles se cubrieron y en los llanos se tendió un jeme de grueso”.
1695	Ciudad de México	Fríos, lluvias excesivas, nevada. —Idvió todo el día 20 de noviembre y cayó tanta nieve espesa que parecían plumas con grande frío”.
1711	Ciudad de México	Nevada, fuerte terremoto. —Después de una fuerte nevada, no vista hasta entonces en México, hubo un terremoto que duró casi media hora y arruinó muchos edificios”. En el mes de octubre se sintió otro temblor, pero ya no fue tan fuerte.
1767	Ciudad de México	—Elía 2 de febrero de 1767 vino sobre esta ciudad de México y su territorio, una fuerte nevada. Empezó a las 5 de la mañana y cesó como a las 3 del día, cubrió el suelo hasta la altura de un palmo y se cubrieron las azoteas de las casas, las bóvedas y las torres de las iglesias, duró en deshacerse todo el día, pero no causó daño”.
1783	Oaxaca, Villa Alta, Ixtlán Mixteca, Cuautla, Pápalo, Juquila, Miahuatlán	—Neó con fuerza en las sierras y en el valle de Juquila. En este día el padre Gay señalaba que los campos de Teotitlán del Valle se cubrieron de nieve, siendo extraño este fenómeno en aquella latitud, fue acompañado, dice también, de ruidos subterráneos y seguido de copiosísimos aguaceros que no fueron menos dañosos a las sementeras, que tenaz la seca de los meses anteriores”.

Fuente: Catálogo de Desastres Agrícolas (2003).

### 2.3 Siglo XX.

Las nevadas en la parte central del país en el siglo XX pueden considerarse a partir de las observaciones instrumentales, pues aun cuando los primeros instrumentos meteorológicos se utilizaron en 1769 por el jesuita Antonio Alzate (Jáuregui, 1979), las observaciones con estos instrumentos sólo duraron nueve meses. Fue hasta 1877 cuando se instala en la azotea del Palacio Nacional el primer Observatorio Meteorológico y Astronómico de México, que se iniciaron las observaciones instrumentales aunque no había instrumento para

registrar nevadas; es a partir de esta fecha en que el personal encargado de hacer la observación, en las notas y observaciones de la hoja de registro, hace anotaciones cuando alcanza a ver alguna nevada ocurrida en los alrededores de la ciudad de México o dentro de ella. De esta manera fue posible extraer estas notas que son únicamente las que a criterio del observador registraba. La lista del Cuadro 2.3 muestra las fechas en que se anotó este evento desde 1879 hasta 2001; fue un reporte técnico recopilado de los libros anuales del Observatorio de Tacubaya del Servicio Meteorológico Nacional, realizado por Gómez, L. y complementado por Islas, H. (2010).

Cuadro 2.3. Nevadas que se alcanzaban a ver desde el Observatorio de Tacubaya y que se agregaban como notas en las hojas de registro diarios.

FECHA A/M/D	DESCRIPCION.
1878 – 02 - 05	Nevada en la cima del Ajusco y otros puntos del SE y SW
1879 – 01 – 25	6 am. Nevando montañas al SW, cimas con nieve.
1881 – 01 - 05	Nieve en la cima de las montañas del SW
1881 – 01 – 07	Nieve en el Ajusco. Bruma al E
1881 – 01 - 10	Del día 10 al 17 de enero nieve en Ajusco y montañas de E y S
1881 – 11 - 17	Nieve en las cimas montañosas
1890 – 12 - 18	7 a.m. Nieve en las cimas montañosas al SW
1892 – 03 - 02	Nieve en todas las cimas del SW y SE
1894 – 01 - 25	Nieve en las cimas de las montañas de todo el SW
1901 – 02 - 16	De 16-21 febrero nieve en las montañas de alrededor
1905 – 01 - 14	Nevada en las cimas que circundan al valle
1905 – 12 - 25	Película de nieve en el observatorio
1905 – 12 - 27	Nieve en las cimas de las cordilleras del SW
1906 – 01 - 24	Nublado y muy frío, nevando
1906 – 03 - 24	Nieve en las crestas de los cerros
1907 – 02 - 10	Nieve en las cimas del SW
1907 – 02 - 11	Nevando en ciudad —gotitas de llovizna a intervalos copitos”
1907 – 02 - 15	Nieve en la sierra del Ajusco
1912 – 02 - 05	En las serranías del E, S y W del Valle
1916 – 03 - 28	Nieve en el Ajusco y cordilleras del SSW

FECHA A/M/D	DESCRIPCION.
1918 – 01 - 01	Nieve en Ajusco
1920 – 12 - 28	Nevadas al sur de la ciudad
1925 – 12 - 17	Nieve en el Ajusco
1925 – 12 - 23	Nieve en la parte E
1927 – 02 - 07	Nieve en el Ajusco
1940 – 03 - 14	Nevada en la C. de México. T. media del día 14, 6.7°C. T. min del 15, -0.7°C.
1948 – 01 - 09	Nieve en el Ajusco
1958 – 01 - 20	Nieve en el Ajusco
1959 – 01 - 04	Nieve en el Ajusco
1966 – 03 - 10	Nieve en la parte NW y SW
1967 – 01 - 10	Nevando en la ciudad
1967 – 01 - 11	Nevando en la ciudad
1978 – 03 - 17	Nieve en los alrededores
1980 – 01 - 24	Nevando en la Sierra Nevada, Sierra Chichinautzin, Ajusco
1981 – 01 - 18	Nieve en el Ajusco y los alrededores
1983 – 01 - 19	Nieve en los alrededores
1983 – 02 - 11	Nevada en el Ajusco, Sierra Chichinautzin, La Marquesa
1984 – 01 - 11	Nevada en Sierra Nevada, Ajusco, Las Cruces, Chichinautzin
1987 – 02 - 03	Nieve en el Ajusco y los alrededores
1992 – 01 - 27	Del 27 de enero al 2 de febrero nevó en diferentes puntos
1995 – 12 - 26	Del 26 de diciembre al 31 nevando en el Ajusco, La Marquesa
1996 – 12 - 20	Nieve al SW, La Marquesa
1997 – 01 - 15	Nieve en el Ajusco
2001 – 03 - 03	Nieve en el Ajusco

Fuente: SMN, Recopilación: Gómez e Islas, 2010.

Sin embargo, esta información sirve sólo como indicativa de las nevadas que se apreciaban desde el observatorio de Tacubaya y debe considerarse que con tiempo nublado, la visibilidad no debió permitir registrar alguna de ellas; tal es el caso de un evento registrado en febrero de 1935 en las estaciones de Villa del Carbón y Desierto de los Leones que, en las notas no tiene registro alguno en esa década. Otro aspecto que hay que tomar en cuenta es la ubicación del observatorio, ya que éste se instaló el 6 de marzo de 1877 en

la azotea del Palacio Nacional, en 1878 se trasladó al Castillo de Chapultepec, para regresar al Palacio Nacional en 1883, en 1910 se traslada a las oficinas de Geofísica, junto al Observatorio Astronómico, en el edificio del Ex-Arzobispado en Tacubaya y en junio de 1913 reinicia sus labores en el lugar que ocupa actualmente (SMN).

Los registros de estos eventos de nevada se agruparon por década, tanto el número de eventos como el número de años en que se observó el fenómeno. Con ellos se construyó una gráfica (Figura 2.2) que da una idea muy generalizada de la presencia de nevadas en las serranías que rodean a la Ciudad de México; de acuerdo con estos valores, se puede observar que aunque hay una relación entre el número de años por década en que nevó y el número de eventos de nevada, hay algunas décadas que tienen más número de eventos que número de años debido a que en un año se registró más de una nevada; tal es el caso de la década de 1880, ya que en 1881 se registraron dos nevadas, una en enero y otra en noviembre. En 1905 se registraron dos eventos de nevada uno, en enero y otro en diciembre; en 1906 se presentó uno en enero y otro en marzo, lo que da un total de seis eventos y cuatro años en la década de 1900. En la década de 1920 se registran tres años con nevada y cuatro eventos porque en diciembre de 1925 se presentaron dos eventos. Finalmente, en la década de 1980 se reportaron cinco años con nevada y seis eventos, ya que en 1983 tuvo lugar uno en enero y uno en febrero. Así mismo, es posible distinguir en la gráfica que a partir de la década de 1940 tanto el número de años como el número de eventos de nevada ha predominado el de dos eventos por década mientras que a principios del siglo era de tres tanto años como eventos.

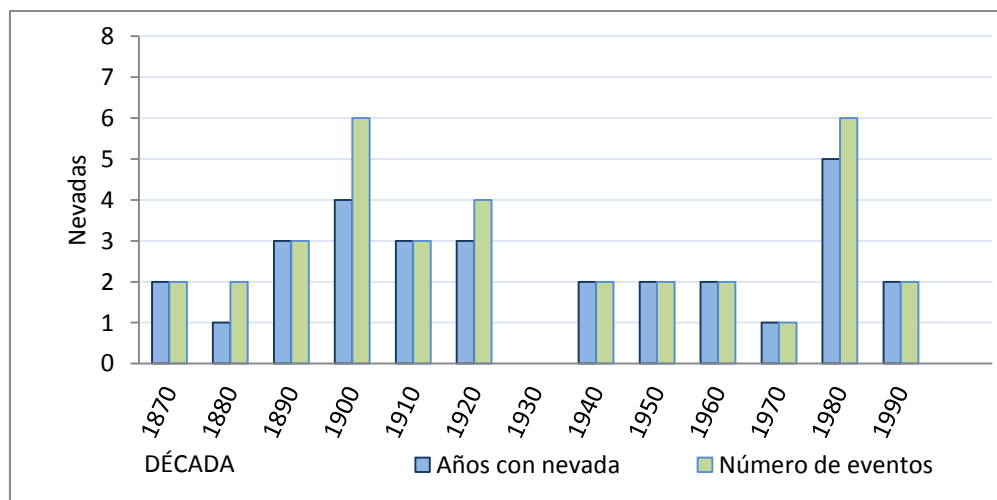


Figura 2.2 Número de eventos de nevadas por décadas y número de años en que se observó el fenómeno.

En el Cuadro 2.4 se presentan otras nevadas localizadas en el centro del país que ocurrieron en el siglo XIX. Estas notas fueron extraídas del Catálogo Histórico de Desastres Agrícolas, Tomo II, y son exclusivas de este



siglo, por lo que se presentan por separado.

Cuadro 2.4. Nevadas en el siglo XIX.

FECHA	LUGAR	DESCRIPCION
1834 -04-29	Edo. de México	Cayó una nevada en el poblado de Ozumba.
1881- 02-08	Hidalgo, Toluca, Edo. de México, Oaxaca.	Copiosas nevadas en los Llanos de Apan y Toluca, elevándose la nieve en las calles hasta 36 cm.
1883-02-28	Apizaco, Huatusco, Puebla, Perote	Cayó una nevada desde la parte norte del monte del volcán hasta el Cofre de Perote.
1883-03	Distrito Federal, Edo. de México, Toluca.	Al comenzar este mes, magníficas nevadas en diversas regiones del país, cosa que es muy raro de contemplar en el valle de México.
1886-02	Puebla, Jalacingo	Fue tan cruda, que la nieve quemó y destruyó completamente todos los vegetales de esas localidades
1888-12	Distrito Federal, Ajusco	Las nevadas han matado una gran cantidad de ganado recién nacido.
1889-03 día 8-11	Estado de México, Toluca	Por las nevadas las cosechas de trigo se han perdido en las haciendas inmediatas a Toluca.
1890-02-08	Hidalgo, Pachuca	Fuerte nevada en Pachuca cubre las calles como no se veía desde hace años. En San Luis Potosí también cae una nevada.

Fuente: Escobar (2004).

También es importante mencionar otras descripciones de este evento que se encontraron en algunos textos como **Tiempo de escarchas**, pasaje de la biografía que la crítica de arte Raquel Tibol hace de Hermenegildo Bustos, —EPintor del Pueblo”, donde, citando el diario del pintor (1894), hace referencia de los días en que cae nieve, escarcha o helada en su pueblo de Purísima del Rincón, Gto. (Tibol, 1981).

### 2.3.1 Nevadas en la Ciudad de México en el Siglo XX.

**1907, febrero 11:** nevando en el Valle y la Ciudad, gotitas a intervalos copitos, niebla y llovizna. Nota del día 12 de febrero, —La temperatura a la intemperie del día de ayer a las 6.23 pm fue de -4.2°C” (SMN, Observatorio de Tacubaya).

**1940, Marzo 14:** nevada en la Ciudad de México. Esta nevada se encuentra registrada en algunas estaciones del Distrito Federal como en la estación 9003 Aquiles Serdán, de la delegación Azcapotzalco, la 9019

Desierto de los Leones y el Observatorio de Tacubaya, además de otras estaciones del Estado de México. Según algunas fuentes hemerográficas también nevó en Toluca, Mex. y en Tulancingo, Hgo. Se dice que la nevada comenzó en la noche y cubrió la totalidad del Valle de México, el tráfico aéreo fue suspendido (Cenapred, 2001).

**1967, Enero 10:** se observa nevada de las 23 a 24 horas, temperatura mínima a la intemperie de 1.2°C, lluvia ligera total las 24 horas: 32.9 mm. Barómetro: 742 Mb (Observatorio Tacubaya, SMN).

**1967, Enero 11:** nevada de 2.30 a 6.15 horas; altura de la nieve: 8 cm; lluvia ligera total: 14.7 mm; temperatura mínima: 0.3°C; a la intemperie: -0.3°C; presión: 754 Mb (SMN).

Las precipitaciones en forma de nieve dentro de la Ciudad de México han sido muy escasas. En el transcurso del siglo XX sólo se presentaron tres, según explicó Hernández Unzón, Subgerente de Pronóstico del Servicio Meteorológico Nacional (Ovaciones, 2007), cuyo intervalo entre la primera y la segunda es de 33 años, mientras que entre la segunda y la tercera hubo un intervalo de 27 años. Sin embargo, hoy han pasado 44 años sin que se vuelva a presentar este fenómeno. Esto puede ser consecuencia del aumento general de la temperatura que se ha venido dando en esta ciudad en las últimas décadas y que, al igual que en todas las ciudades medianas y grandes del mundo, han originado las “islas de calor”, concepto dado para las burbujas o domos de aire tibio generado a partir del hecho de que gran parte del suelo natural es sustituido por edificaciones, banquetas y calles de asfalto, que actúan como una gran plancha de concreto. Sin fuentes de evaporación, el aire citadino se vuelve más seco a ciertas horas del día ocasionando el aumento de temperatura (Jáuregui, 2000).

Las islas de calor tienen una variación diurna, otra estacional y otra a lo largo de los años que, en general, traen modificaciones sobre los elementos climáticos como la humedad, los vientos y la radiación solar. En el Distrito Federal la máxima intensidad se presenta en el Centro Histórico al amanecer y disminuye hacia la periferia con el transcurso del día, cuando los rayos solares proporcionan más energía a la superficie urbana, generando corrientes convectivas que mezclan el aire dentro y fuera de la ciudad. Así mismo, en la época invernal, el aire tibio que se crea sobre el centro de la ciudad hace que suba levemente la temperatura (Jáuregui, 2000). Las condiciones de variabilidad invernal y diurnas propiciadas por la isla de calor, son las que probablemente están impidiendo que se vuelva a presentar otra nevada dentro de la ciudad de México pues, como se describió en el primer capítulo, una de las condiciones para que caiga la precipitación en forma de nieve es que el entorno de la superficie permanezca con temperaturas suficientemente bajas.

### **2.3.2 Caracterización de la nevada de 1967.**

El invierno de 1967 fue de los más fríos que se sintieron en todo el hemisferio norte, tanto así que es a partir de esta época cuando la Universidad de Rutgers, New Jersey, E.U., comienza a registrar la nieve que cae en el hemisferio norte (digital.com, sitio internet). México no fue la excepción a ese crudo invierno y entre el 9

y 11 de enero se presentó el evento de nevada como algo extraordinario, sobre todo para el centro del país, tomando en cuenta que este fenómeno sólo ocurre una o dos veces por año en las partes más altas de las montañas que rodean la Ciudad de México. Esa ocasión fue la última vez en que la nevada cubrió la ciudad entera (El Sol de Toluca, 2007).

Desde el punto de vista meteorológico, el fenómeno se presentó por la entrada de un frente frío asociado con un sistema de alta presión (mayor a los 1024 hPa) con una dorsal prolongada hasta el sur de México en el nivel de superficie conjuntamente con la corriente en chorro localizada a los 500 hPa que dio lugar a un sistema de baja presión en los niveles medios, denotando la vorticidad que desarrolló la gota fría (Hernández, *com. pers.*, 2009) (Figuras 2.3 y 2.4). En esta ocasión la corriente en chorro o jet bajó hasta cerca de Acapulco (Castillo, *com. pers.*, 2009). Las primeras nevadas ocurrieron en el norte del país, presentándose el día 9 de enero en Monterrey, Chihuahua y Saltillo, luego fueron descendiendo sobre la República Mexicana hasta alcanzar la parte central el día 10 y 11 del mes de enero. El día 12 del mismo mes la nevada llegó hasta el Volcán de Agua, en Guatemala (La Hora Guatemala, sitio Internet).

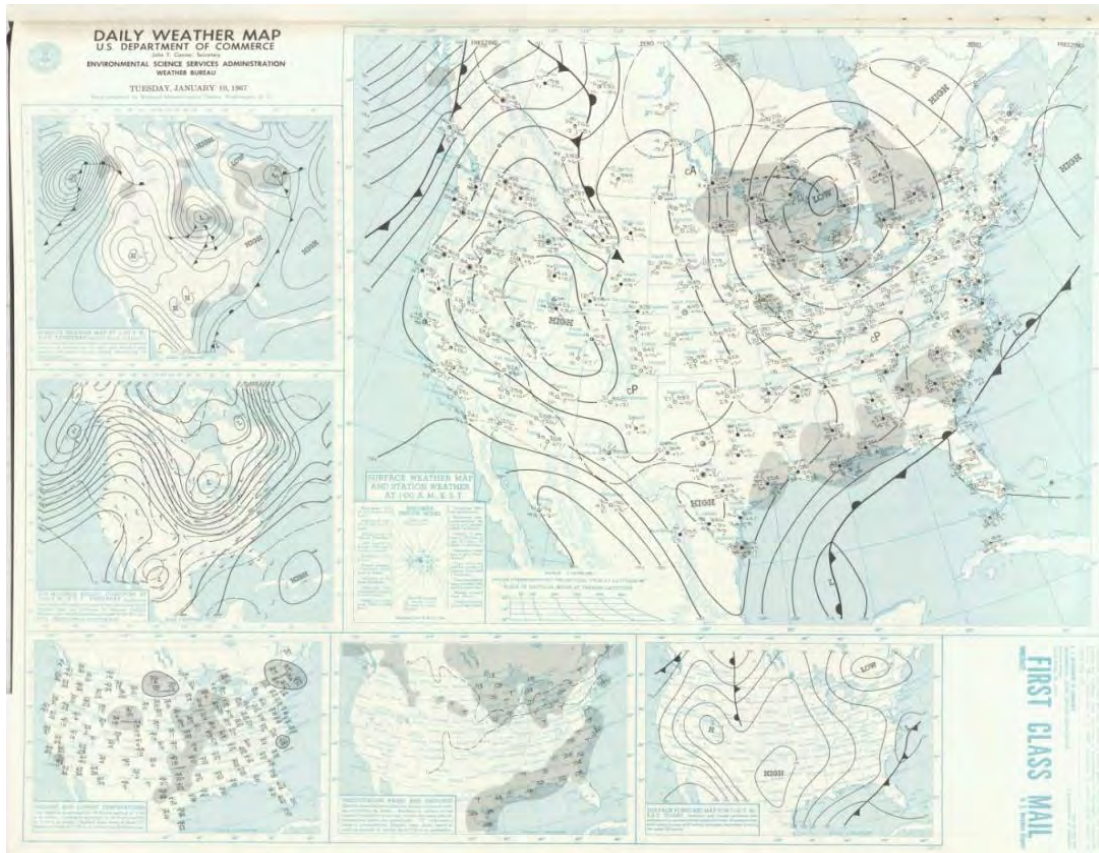


Figura 2.3. Carta de superficie del día 10 de enero de 1967 en la que se puede apreciar el desplazamiento de la masa de aire polar hacia el sur y los sistemas de tiempo que se generan, como las zonas de alta y baja presión, el frente frío, la dorsal y la corriente de chorro. Fuente: NOAA.

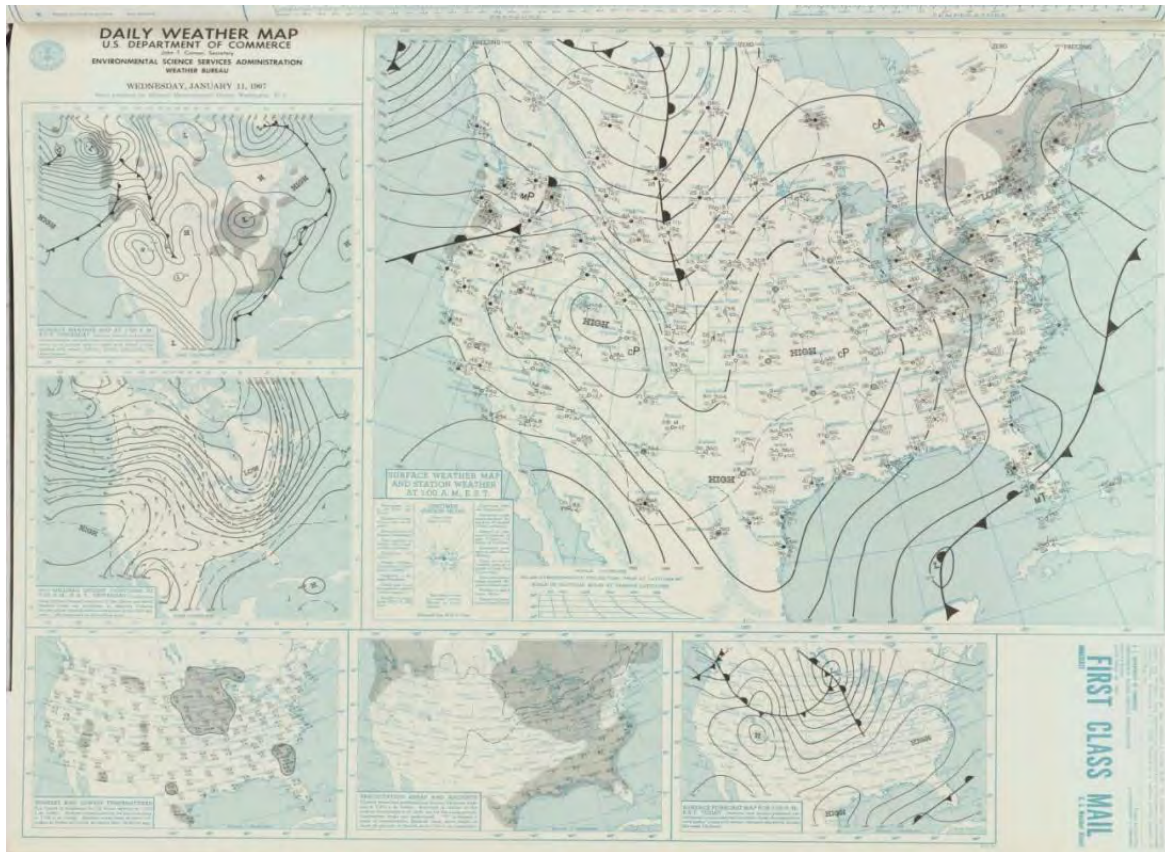


Figura 2.4. Carta de superficie del día 11 de enero de 1967. Fuente: NOAA.

La descripción que sobre este evento dio el SMN es la siguiente:

*A partir de las 14 horas del día 10 de enero, se tuvo cielo cerrado de nubes del género Cumulonimbus, Nimbostratos y Altoestratos, estuvo lloviendo todo el día, con temperatura máxima de 11.4 °C al medio día y la mínima de 2.3°C alrededor de las 24 horas. Empezó a nevar a partir de las 23 horas y continuó hasta las 8 horas del día 11 de enero, se acumularon 8 cm de nieve (registrada en el Observatorio de Tacubaya).*

De acuerdo con la gráfica (Figura 2.5), a la hora que empezó a nevar la temperatura se encontraba a 3°C con un rápido descenso, que llegó casi a los 0.5°C aproximadamente a las 2 de la mañana, mientras que la humedad iba en ascenso, encontrándose en 83% cuando se inició la nevada.

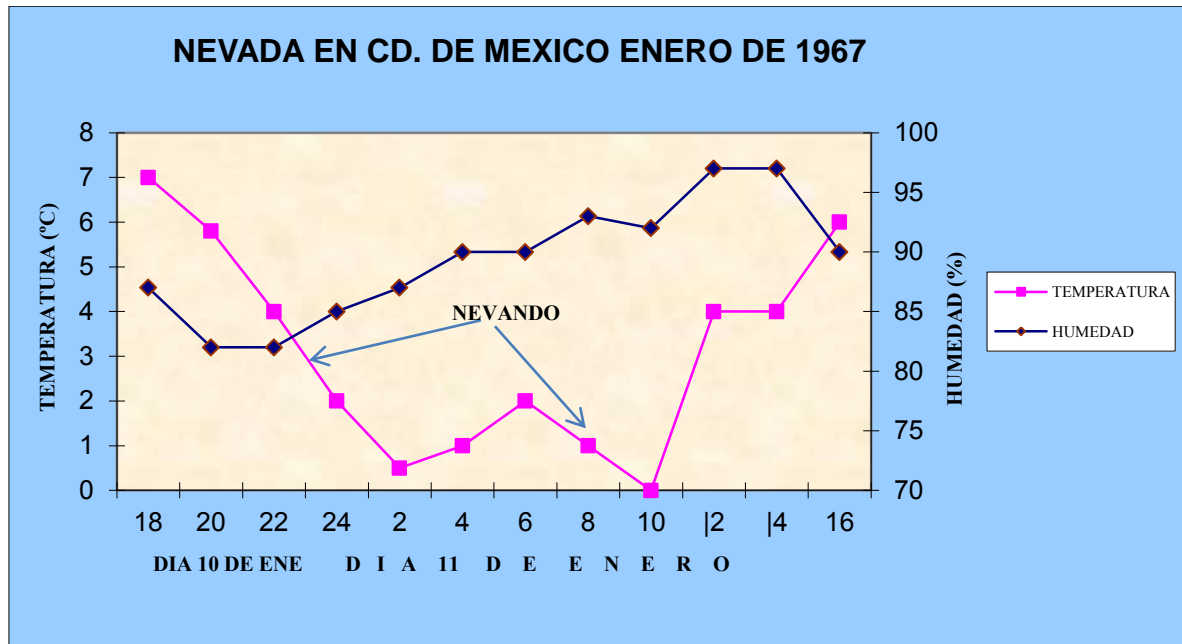


Figura 2.5. Condiciones de temperatura y humedad del 10 y 11 de enero de 1967 registradas en el observatorio de Tacubaya. Fuente: SMN-Islas

Los periódicos de la época hacen referencia del evento como algo excepcional:

*Excélsior, 11 de Enero de 1967. —La peor nevada del siglo que hubo en gran parte del país y causó daños en Tamaulipas, Coahuila y Nuevo León. En Saltillo, la nieve dejó una capa de 75 cm. de altura, y en Monterrey, de 60 cm. Muchos viajeros quedaron atrapados, al suspenderse las corridas ferroviarias: también gran cantidad de automovilistas. Las escuelas fueron cerradas. Las ciudades de Puebla, Toluca, Cuautla y Cuernavaca fueron azotadas por un frío intenso, lluvia pertinaz y una espesa neblina como preludeo de la nevada. En Tres Mariás nevó levemente por la noche. En Europa, un frío que en Austria llegó a 30 grados bajo cero ha causado muchas víctimas, cuyo número se desconoce todavía. En Polonia los lobos hambrientos salieron de sus guaridas y atacaron al ganado, al igual que en Turquía, mientras que los habitantes se encierran en el hogar por temor a las fieras”.*



Figura 2.6 Nevada del día miércoles 11 de enero de 1967 Fuente: Ceja A.L. Sitio Internet.

El Universal, 11 de Enero de 1967. —A rescate de centenares de atrapados por la nieve en la ciudad de México—. La nieve cayó sobre toda la ciudad, desde La Villa hasta el aeropuerto, desde Coyoacán hasta Reforma y el Zócalo.



Los copos de nieve cayeron suavemente sobre la Ciudad de México. Poco a poco se formó el albo manto que cubrió a la gran capital y que constituyó un espectáculo nuevo para muchísimos capitalinos que no habían visto en su ciudad el maravilloso paisaje nívico. (Fotografía de Jaime González).

Figura 2.7. Nevada en la Ciudad de México del 11 de enero de 1967. Fuente: Ceja A.L. Sitio Internet.



Figura 2.8 Nevada en Paseo de la Reforma, Ciudad de México 11 de enero de 1967. Fuente: Ceja A.L. Sitio Internet.

Otras imágenes localizadas de la nevada del 11 de enero de 1967 sobre la ciudad de México.

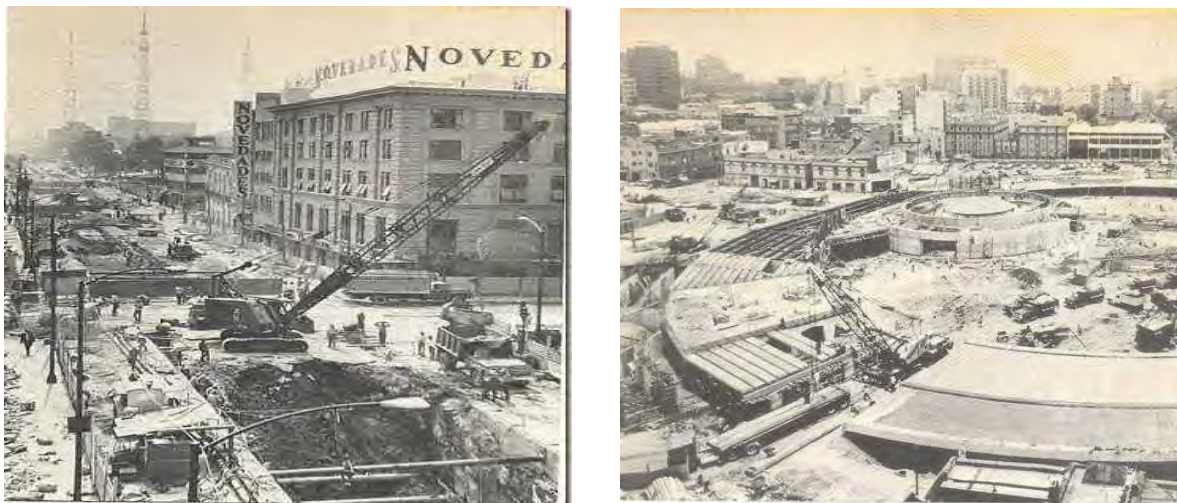


Figura 2.9 Metro en construcción con nieve en la Ciudad de México. Fuente: Ceja A.L. Sitio Internet





Figura 2.10 El día que nevó en la Ciudad de México. Fuente: Ceja A.L. Sitio Internet

 **LA PRENSA** 80 CENTAVOS  
el periódico que dice lo que otros callan  
Registrado como Artículo de 2a. Clase en la Asociación de Correo de México el 10 de agosto de 1911

ARO XXXIX | Director General y Gerente, MARIO SANTAELLA | MEXICO, D. F., JUEVES 12 DE ENERO DE 1967 | Director, ROBERTO RAMIREZ CARDENAS | NUM. 14,294

# Saldo del Frío: Muchos Muertos

(PAGINA TRES)



**INUSITADO ESPECTACULO: NEVADA EN LA CAPITAL.** En esta gráfica de Enrique Metinides puede apreciarse la caída de copos de nieve que durante la madrugada de ayer se registró en esta capital. El inusitado espectáculo hizo salir de la cama a miles de adultos y niños, quienes a través de los cristales de las ventanas presenciaron el fenómeno. En torno a la ciudad los caminos cubiertos de nieve fueron bloqueados y miles de personas quedaron atrapadas, mientras numerosos capitalinos salieron a la periferia de la ciudad para divertirse (información en la página tres). Ver gráficas en las páginas centrales.

Figura 2.11 Nevada en la Capital 11 de enero 1967. Fuente: Ceja A.L. Sitio Internet.

### CAPÍTULO 3

## TENDENCIA, FRECUENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LAS NEVADAS EN EL CENTRO DE MÉXICO

He vuelto a la blancura dolorosa  
de las amadas cumbres,  
que guardaron con celo  
los días de la lejana juventud.  
Aquellas blancas cimas que escondían  
el milagro indeciso de un tiempo  
al que, en vano, persiguen mis palabras.

José Lupiáñez

### 3.1 Información de nevadas a partir de datos instrumentales (1935-1989).

La metodología para el análisis de datos de nevada del periodo instrumental consistió en obtener los registros de nevadas de las estaciones climatológicas y observatorios de los estados que rodean a la Sierra Nevada, considerando que por su situación y altitud, el día que se haya presentado el evento en alguna de estas estaciones también haya ocurrido en la zona de estudio. Para esto se tomó en cuenta los estados de México, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y el Distrito Federal. El estado de Morelos, a pesar de que la parte sur de la Sierra corresponde a éste, no se incluyó, pues ninguna de sus estaciones presentaba registros de nevada en las tarjetas del SMN. Esta información se obtuvo de la forma T-9 de Tarjetas de Resumen Mensual y Anual del Servicio Meteorológico Nacional complementándose con la información del archivo climatológico del INEGI.

Con la información de las nevadas por mes se procedió a localizar el expediente de la estación para ubicar el día en que ocurrió el evento y tener la fecha exacta o aproximada del fenómeno. Esto se hizo en el archivo climatológico del SMN y en la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR) de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Posteriormente, con la fecha de la nevada, se revisaron diversas bases de datos para obtener la temperatura mínima y la precipitación que se presentó el día del evento.

El lugar y las fechas de las nevadas que se pudieron recopilar, sirvieron para revisar otras fuentes, como la hemerográfica y los boletines meteorológicos, tratando de identificar los fenómenos atmosféricos que dieron lugar al evento. Así mismo, los registros de los parámetros tanto de nevadas como temperatura mínima y precipitación, sirvieron para aplicar a la información diversos procesos y métodos de análisis estadísticos, con los que se pudieron construir gráficas que permitieron determinar situaciones de tiempo en el centro del país.

Por otro lado, tratando de realizar una mejor interpretación de la información climática, se introdujeron los datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta de análisis visual y cartográfico, para lo cual se utilizó el software Arc Gis 9.2 y la Imagen del Mapa Base de Rasgos ArcXML (Nivel Nacional) de Modelo Digital del Terreno, versión —D” de ESRI, así como diversos mapas de INEGI. Esto permitió integrar, almacenar, manipular, analizar y editar la información geográfica referenciada. Para este paso se construyó una tabla con la ubicación y características más importantes de todas las estaciones utilizadas en la investigación; así, se logró desplegar la información y visualizar la distribución de los eventos para realizar un mejor análisis espacial del fenómeno de nevada que dio como resultado la creación de diversos mapas.

La tendencia de las nevadas fue posible realizarla de una manera más completa sólo en la estación Nevado de Toluca ya que, por un lado, su altitud (4,162 msnm.) presenta nevadas más frecuentes y su continuidad en tiempo de observaciones permitió realizar el estudio a través de 45 años casi ininterrumpidos de información. Por este motivo, la estación se consideró aparte llevando a cabo otros procesos que no se tomaron en cuenta en las otras estaciones; asimismo, en algunos casos, se separó del resto, para que no alterara e influyera con sus registros sobre las demás estaciones.

### **3.1.1 Base de datos.**

La principal dificultad en el estudio de las nevadas para la presente investigación fue la carencia y disponibilidad de información con que cuenta el SMN respecto al fenómeno de la nevada pues, como se explicó en el primer capítulo, aún no está capturada esta variable, además de detectar algunas inconsistencias en las que se pudo apreciar la falta de un criterio homogéneo y bien definido sobre dicho evento, por lo cual hubo necesidad de someter la información a una validación.

Las bases de datos consultadas para realizar esta parte de la investigación fueron la forma T-9 de tarjetas de registros mensuales y anuales del SMN y la Base de Datos Climatológica del INEGI; posteriormente, se revisaron los datos de expedientes de las estaciones que presentaron nevada en el SMN y en la CNA. Con la fecha del día en que ocurrió el evento, se revisó la base de datos compactada de ERIC III 2006 (Extractor Rápido de Información Climatológica) del IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) y CLICOM 2010 (Climatología Computarizada) del SMN.

La recopilación de la información por medio de las tarjetas de forma T-9, por un lado permitió agilizar el trabajo, ya que para obtenerla directamente de los expedientes hubiera sido muy prolongado, pues el número

de estaciones de los cinco estados considerados suman un total de 826 y, de éstas, algunas estaciones son de largo periodo, lo que llevaría a la revisión de un gran volumen de datos. Sin embargo, como se pudo observar, al pasar la información del expediente a las tarjetas se incurrió en algunos errores como los siguientes:

- Número de días con nevada: Con frecuencia se registran dos días o más con nevada porque se cuenta tanto el día que ocurre el evento como los días siguientes en que permanece el suelo cubierto de nieve y éste es común que lo consideren así, aun cuando sólo se trate de algunos manchones de hielo acumulado en recovecos o pastos. Este es el caso de la nevada de enero de 1967, que mientras en la mayoría de las estaciones se registró uno o dos días con nevada, algunas de ellas reportaron hasta cinco y siete días.
- Confusión con otro fenómeno: registro de días con nevada cuando se trataba de días con helada; esta inconsistencia se debe a que el registro de la helada queda arriba del de la nevada en el resumen mensual del expediente.
- Duplicidad de símbolos en las columnas de estado del tiempo: el símbolo se puso tanto en la columna de fenómenos a la hora de la observación como en la de las 24 horas antes de la observación, que en algunos casos, ambos fueron contados al pasar la información a la tarjeta.
- Registros de nevada fuera de temporada y en estaciones cuya temperatura no correspondía a la presencia de este fenómeno.

En algunos casos fue posible detectar y corregir el error; sin embargo, en otros registros en que se tenía duda no fue posible verificarlos porque muchos expedientes no se encontraron o le faltaba la hoja con la información requerida, además de que en el tiempo en que se realizó la consulta el SMN estaba llevando a cabo el proceso de captura de información y se enviaron los expedientes fuera de la institución; esto ocurrió con la mayoría de las estaciones de los estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala.

### **3.1.2 Criterios para la selección de información.**

En toda investigación climática la importancia y certeza de los resultados dependerá en gran medida de la calidad de las series de datos empleada. Entonces, es de suma importancia el cuidado que se debe tener en la selección de la información. En este caso, considerando la situación meteorológica que debe caracterizar al

ambiente para que se pueda presentar el fenómeno, se partió básicamente de dos criterios para la selección de las estaciones empleadas en el estudio.

- a) Por altitud: se tomaron en cuenta únicamente las estaciones que presentan nevada cuya altitud es mayor de 1,000 msnm. Sin embargo, en dos casos aun cuando la ubicación de las estaciones no cumplían con este requisito, sí fueron incluidas porque su fecha de nevada coincidía con el mismo evento presentado en otras estaciones de la misma zona. Esto ocurrió en el caso de las estaciones 21051, Jopala, de 725 msnm y la 13104 de 940 msnm.
- b) Por temporalidad: teniendo en cuenta que en la región del centro del país, por latitud, sólo es posible que se presente el evento en la temporada invernal (un poco antes o después de ésta), únicamente se consideraron las estaciones que presentaron nevada en los meses de octubre a abril. Como se explicó anteriormente, el caso de la estación Nevado de Toluca, que por altitud presenta el fenómeno en cualquier época del año, fue considerado aparte.

Posteriormente se sometió la base de datos a cierta validación con el fin de depurar la información, descartando únicamente la que presentaba mayor incertidumbre y la que fue posible confirmar el error con la consulta del expediente original. Mediante este proceso se eliminaron algunos datos dudosos. La validación se tuvo que realizar desde la información de la estación (clave y nombre) pues se detectó que algunas claves han sido cambiadas y otras se han eliminado, tal es el caso de la estación Hueyatlaco que tenía la clave 15024 que hoy corresponde a otra estación muy diferente y al no encontrarse en el archivo climatológico del SMN ningún dato sobre esta estación, se le tuvo que asignar de manera provisional, sólo para este trabajo, la clave 15390. En el siguiente paso se corrigieron algunas estaciones en cuanto a su ubicación (coordenadas), encontrándose que en la altitud falta mucho por hacer pues hay una gran diferencia en la información que presenta la base de datos del INEGI y la del CLICOM del SMN, a pesar de que ambas instituciones han estado tratando de solucionar el problema.

Para la validación de los registros de nevada, en los datos que presentaban alguna inconsistencia se consideraron dos aspectos principalmente:

- a) Correlación: se trato de considerar la relación que debe haber entre el evento de nevada y otros elementos meteorológicos, sobre todo con la temperatura y la precipitación, porque se encontraron días con nevada cuando la temperatura mínima extrema del día fue de 10°C o más. También se analizó la posibilidad de que ocurran otros fenómenos atmosféricos en el mismo día, como el granizo

o la helada, pues en algunos de los expedientes consultados se encontró que se reporta la nevada junto con la helada.

- b) Distribución espacial: por la zona de ubicación y su relación con otras estaciones que reportaron el evento en la misma fecha.

Cabe mencionar que se trató de no eliminar la información dudosa, a menos que se tuvieran suficientes argumentos o que se verificara su discrepancia, pero quedaron pendientes muchas dudas porque algunas estaciones reportan dos o tres días con nevada, cuando las de junto sólo han registrado una; sin embargo, se dejaron así porque, como se explicó anteriormente, las condiciones de incertidumbre en que se realiza la observación tienen cierto grado de subjetividad y confusión del fenómeno. Finalmente, las estaciones y registros que quedaron seleccionados fueron la base de datos con los cuales se realizaron los cálculos de frecuencia y estimación de las nevadas en el centro del país.

### **3.1.3 Distribución espacial de los eventos de nevada en los estados del centro del país.**

Una vez depurada la información se contó con un total de 271 estaciones climatológicas y cinco observatorios que reportan nevadas en los estados del centro del país, considerados en la presente investigación. A éstas se le agregaron las estaciones Ixta-Popo<sup>2</sup> y Hueyatlaco, por ser las estaciones con mayor altitud dentro de la Sierra Nevada, la primera de las cuales se encuentra en el Paso de Cortés, a una altitud de 3,682 msnm; es una estación automática instalada en febrero de 2008, mientras que la estación de Hueyatlaco estuvo instalada a 3,557 msnm y funcionó de 1941 a 1960. Ambas estaciones, aun cuando no cuentan con información de nevadas, se agregaron para tratar de ver el comportamiento de la temperatura mínima extrema en las dos épocas diferentes, ya que su ubicación es muy cercana entre sí. Esta selección dio un total de 278 estaciones y 2 424 registros de nevada en todos los años de todas las estaciones. Con esta información se efectuaron diversos análisis estadísticos para tratar de encontrar la frecuencia de los eventos. Los registros de nevadas que se localizaron son del periodo 1935 a 1989. El rango de altitud de las estaciones con nevada está entre 725 msnm de la estación Jopala, en Puebla, y la estación Nevado de Toluca, con 4 162 msnm.

---

<sup>2</sup> El SMN usa el nombre de la estación automática Ixta-Popo, con “✖”, a pesar de que en la mayoría de los documentos actuales y la denominación del parque nacional es Izta-Popo.

En el Cuadro 3.1 se presenta el número total de estaciones que reportan nevada en los estados del centro del país y que se emplearon en la investigación; en él se puede notar que el estado de México cuenta con el mayor número de estaciones, mientras que el estado con menos estaciones con nevada es el de Tlaxcala; En el Distrito Federal, el estado de México y el de Tlaxcala el número de estaciones con nevada esta relacionado con el número total de estaciones por estado; pero en Hidalgo y Puebla no, porque Hidalgo con menor número total de estaciones en el estado tiene mayor número de estaciones con nevada que Puebla.

Cuadro 3.1 Número total de estaciones con nevada por estado empleadas en el estudio.

ESTADO	NÚMERO TOTAL DE ESTACIONES POR ESTADO	NÚMERO DE ESTACIONES CON REGISTROS DE NEVADA
09 DISTRITO FEDERAL	62	34
13 HIDALGO	149	52
15 ESTADO DE MEXICO	347	118
21 PUEBLA	212	50
29 TLAXCALA	55	24
TOTAL	825	278

En el Anexo 1 se muestra la lista de estaciones correspondientes al Distrito Federal con su clave de identificación y sus coordenadas; son en total 32 estaciones climatológicas y dos observatorios (Central Tacubaya y Aeropuerto). El observatorio Aeropuerto, al igual que la estación Jardín Botánico, sólo se encontraron en el archivo climatológico del INEGI, por lo que no se pudo verificar la información. La distribución de las estaciones se aprecia en la Figura 3.1.

Las estaciones con nevada correspondientes al estado de Hidalgo que se utilizaron en este trabajo fueron 52, incluyendo dos observatorios, el de Pachuca y el de Tulancingo. En la depuración que se realizó en este estado se eliminaron varios eventos por la temporalidad en que se presentaban, tal es el caso de la estación 13022 Pachuca, que reportaba tres días con nevada en julio de 1991. También se eliminó la estación climatológica de Pisaflores, que se encuentra al norte del estado, a una altitud de 250 msnm con un clima tropical lluvioso, sin que se localizara su expediente para poder verificarla.

A pesar de que en enero de 1967 no hubo registro de nevada en el observatorio de Tulancingo, se agregó porque se contó con información confiable y con personas del lugar que la vivieron, además de fotografías y la experiencia personal. Las características de las estaciones se muestran en el Anexo 1 y su ubicación en la Figura 3.2.



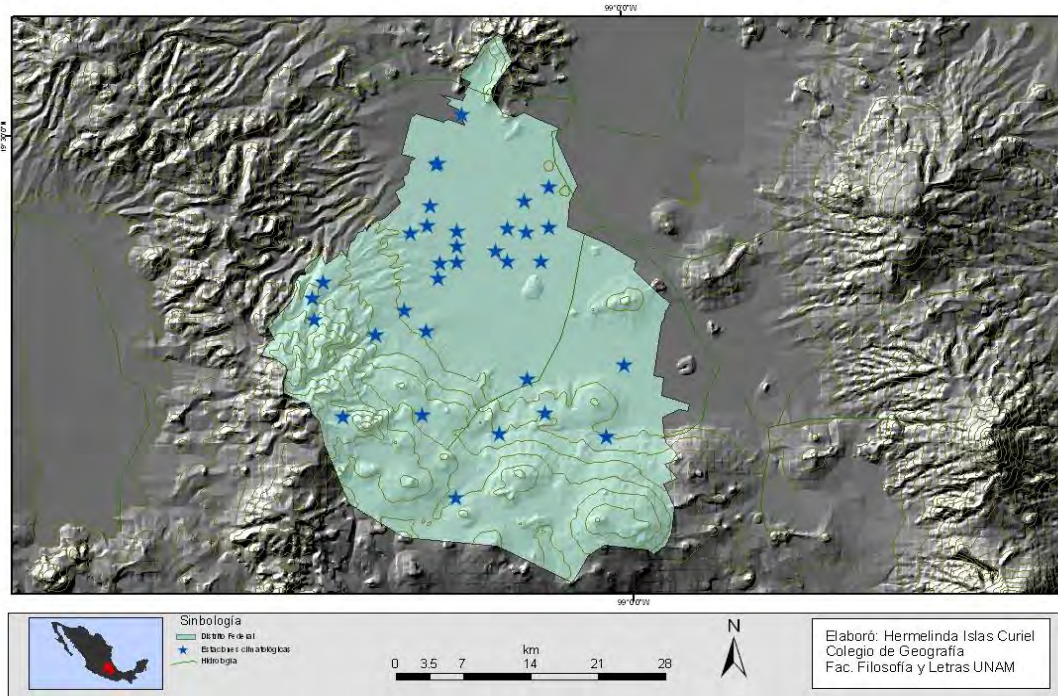


Figura 3.1. Ubicación de estaciones con nevada en el Distrito Federal, periodo 1935-1989.

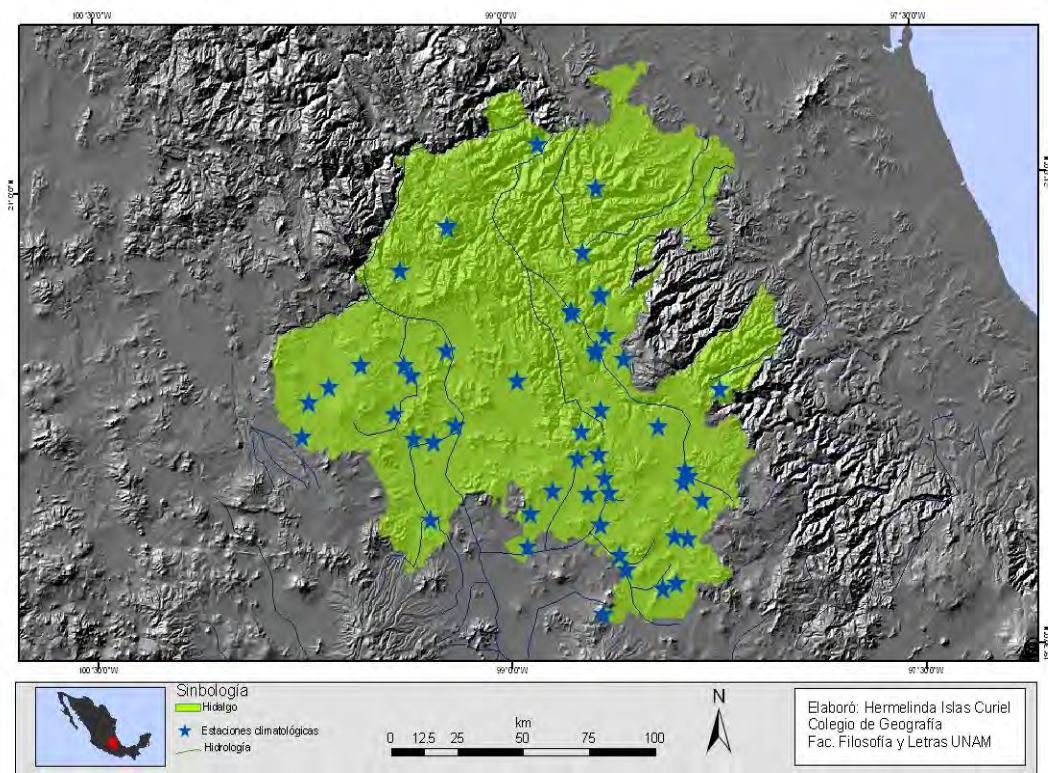


Figura 3.2 Ubicación de estaciones con nevada en el estado de Hidalgo, periodo 1951-1989.

Las estaciones con registro de nevada localizadas en el estado de México fueron 115, incluyendo la estación Nevado de Toluca que, en algunos casos, se trabajó por separado, más el observatorio de Toluca y, como se explicó anteriormente, se agregaron las estaciones Hueyatlaco e Ixta-Popo, lo que da un total de 118 estaciones en el estado. A la estación Hueyatlaco se le asignó la clave provisional 15390, mientras que a la estación Ixta-Popo se le puso la clave 15391. Cabe aclarar que dichas claves no tienen nada que ver con las claves de identificación que otorga el SMN, organismo encargado de llevar el control sobre las estaciones climatológicas y su asignación se hizo para facilitar su identificación para fines de este trabajo.

En el Anexo 1 se presentan las estaciones correspondientes a esta entidad, marcando con asterisco las dos últimas estaciones para señalar lo anteriormente citado. La ubicación de las estaciones se observa en la Figura 3.3.

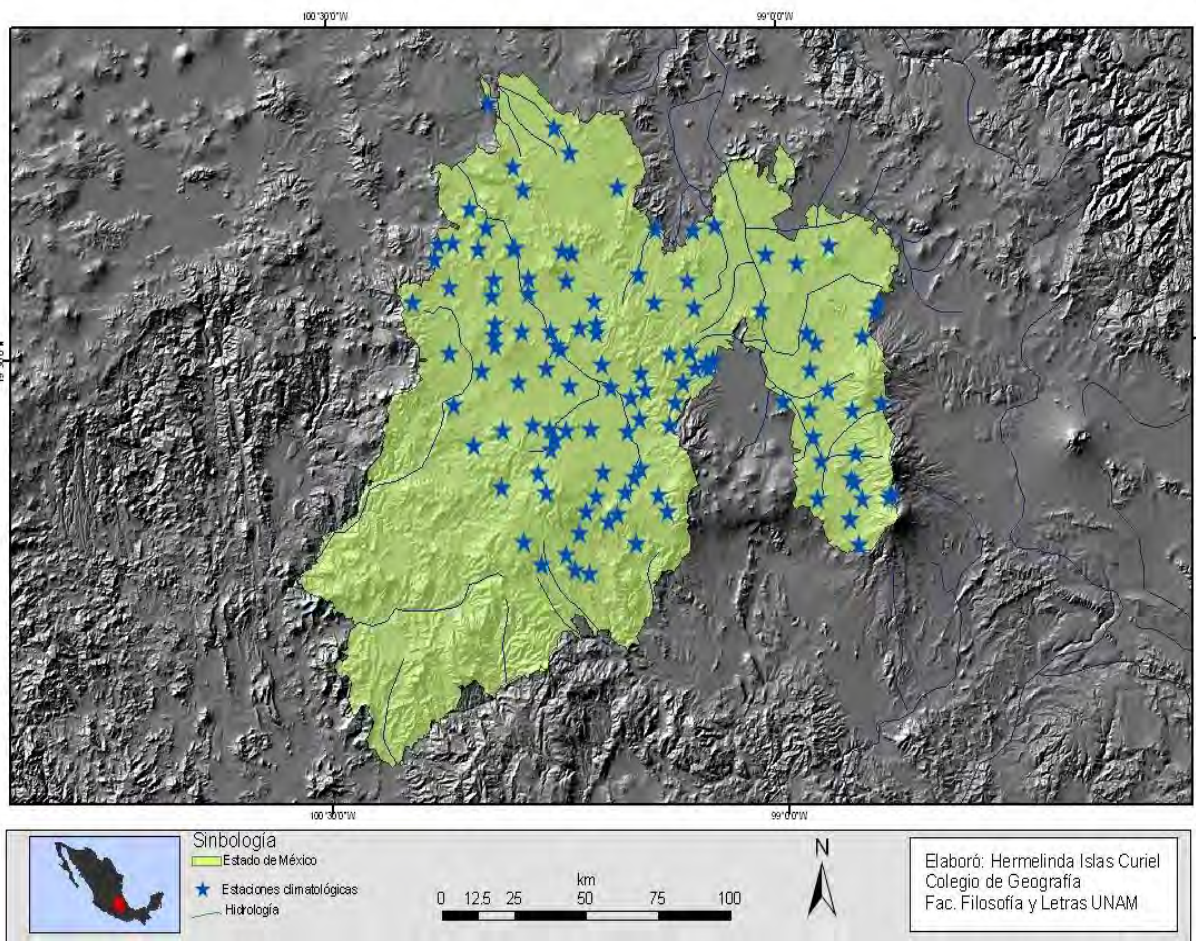


Figura 3.3 Ubicación de estaciones con nevada en el Estado de México, periodo 1941-1989.

El estado de Puebla presentó un total de 50 estaciones con nevada. En el observatorio de la ciudad de Puebla toda la información de esta variable está en ceros (1934-1998), excepto en julio de 1979, que presenta dos días con nevada, sin que se pudiera verificar el dato y por temporalidad hubo necesidad de descartarla. En enero de 1967 no hubo registros.

A la estación Cuetzalan del Progreso, a pesar de que sólo cuenta con dos nevadas en un periodo de observación de 1951-1968, se le agregó una más que corresponde al 23 de diciembre de 1989, ya que se contó con información confiable (fotografías y comunicación personal de los lugareños) así como bibliografía en que se describe esta nevada (El café en Cuetzalan, sitio internet).

Por su parte, en la estación de Huauchinango se agregó la nevada del día 17 de marzo de 1978, porque se encontró registrada en los anales de la localidad. El listado de sus estaciones poblanas se presenta en el Anexo 1 y su ubicación en la figura 3.4.

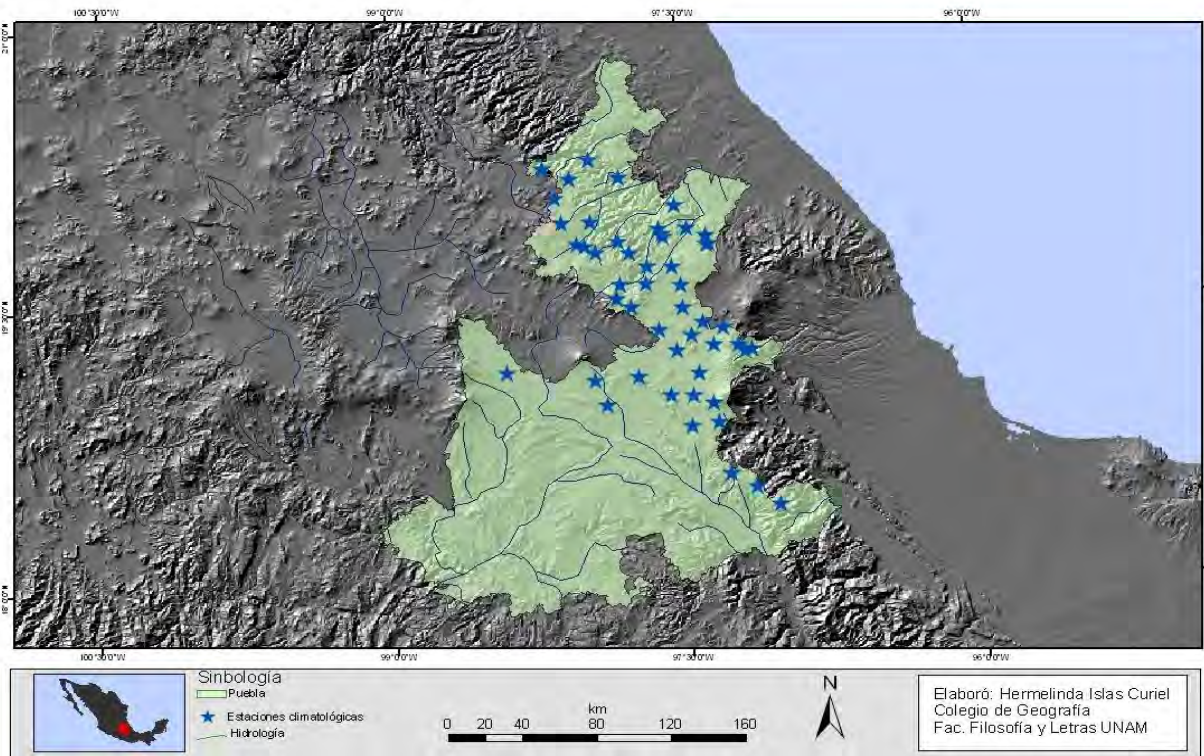


Figura 3.4. Ubicación de estaciones con nevada en el estado de Puebla, periodo 1951-1985.

El estado de Tlaxcala cuenta con un total de 24 estaciones con nevada, cuya lista se presenta en el Anexo 1 y su ubicación en el mapa de la Figura 3.5. El observatorio de Tlaxcala, con un periodo de información de 1941-1998, presenta todos sus registros de nevada en ceros.

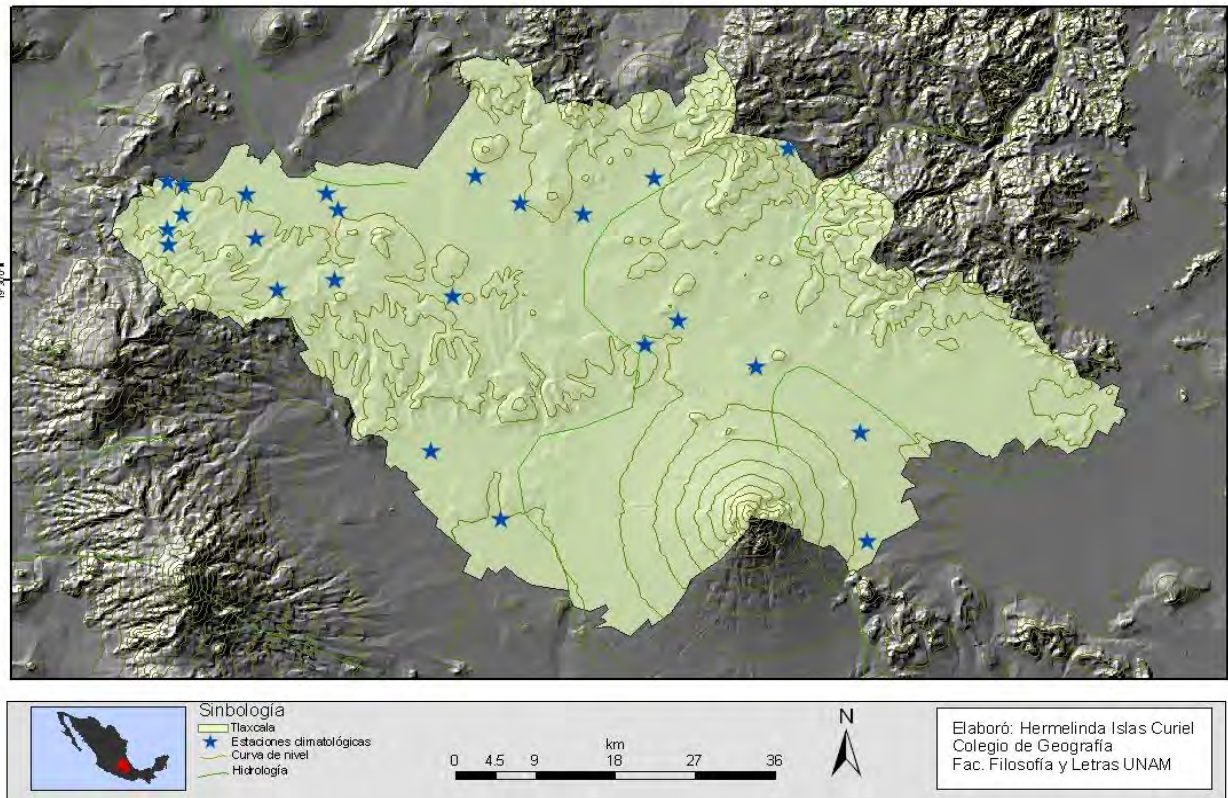


Figura 3.5 Ubicación de estaciones con nevada en el estado de Tlaxcala, periodo 1936-1989.

Con la información obtenida se elaboró una tabla con las principales características de cada una de las estaciones como son: 1. Identificación de la estación: clave y nombre. 2. Ubicación: latitud, longitud y altitud. 3. Periodo: tiempo en el cual se localizaron los registros del evento. 4. Años con nevada: número total de años en que se presentó el fenómeno en cada estación y 5. Días con nevada: total del número de días con nevada que reporta cada estación.

Así mismo, se eligieron cinco fechas con los eventos de nevada más significativos por el número de estaciones que las registran y la información hemerográfica localizada del evento. Esta tabla se introdujo en

un SIG y con ella se llevó a cabo el análisis espacio-temporal. La ubicación y distribución de todas las estaciones se muestra en la Figura 3.6.

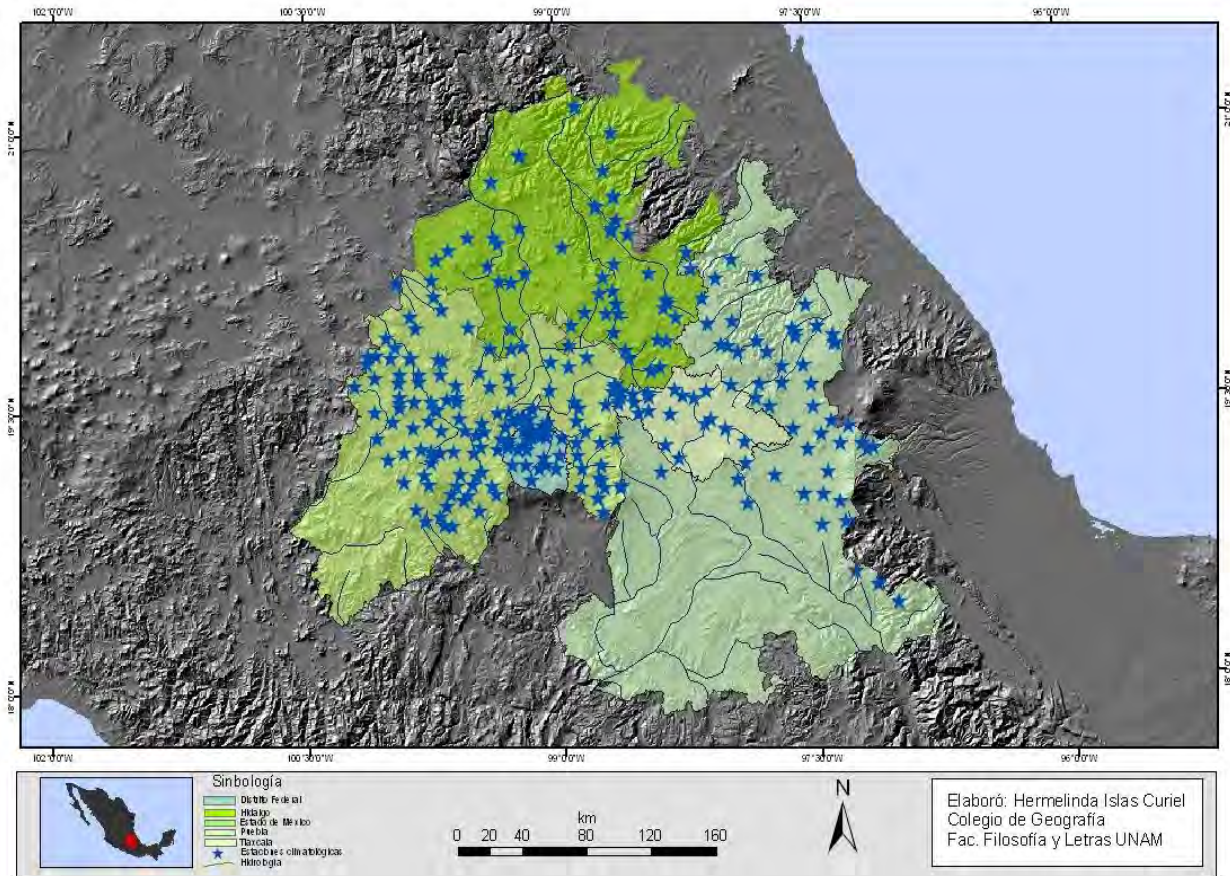


Figura 3.6 Distribución de estaciones con nevadas en los estados del centro del país, periodo 1935-1989.

Para determinar el patrón espacial de las nevadas ocurridas en el centro del país en los últimos años, se elaboraron diversos mapas a través del SIG. Un primer paso consistió en ejecutar la opción de Interpolación mediante la herramienta Arc Toolbox y el Spatial Analyst Tools, con el método IDW (Inverse Distance Weighted) o Inverso de la distancia media ponderada; de aquí se obtuvo un mapa del número de años con nevada (Figura 3.7) y otro del número de días con nevada (Figura 3.8). En la representación cartográfica se indicaron con diferentes gamas de color los rangos de las distintas zonas representativas de los eventos correspondientes. Sin embargo, en ambos mapas se aprecia el mayor número de elementos al lado de los picos más altos debido a la ubicación de las estaciones en la altitud ya que, exceptuando a la estación Nevado de Toluca, las demás se encuentran en las laderas de las montañas, muy por debajo de la representación de alta montaña.

En la Figura 3.7 se puede observar que las zonas que presentan el mayor número de años con nevada (doce o más) corresponden a cuatro zonas bien definidas que son: Zacualtipán, Hgo., Tezontepec, Hgo., Huamantla Tlax. y San Francisco Tlalcilalcalpa en el Edo. de México, éste último, con 16, es el que reporta el mayor número de años con nevada (después del nevado de Toluca que no se incluyó en este ejercicio). Otras zonas que también se distinguen son Mineral del Monte, Molango y Tenango de Doria en el noreste del estado de Hidalgo, el municipio de Vicente Guerrero en el sureste del estado de Puebla, La parte oriental de la Sierra Nevada, entre las localidades de Mazapa y Nanacamilpa del estado de Tlaxcala. Villa del Carbón, La Marquesa, Mimiapan, Villa de Allende y Guadalupe Victoria en el Estado de México, además de la estación Central Tacubaya, que registra ocho años con nevadas.

La zona donde se ha presentado con mayor frecuencia el fenómeno, en cuanto al número de años, es en la ladera oriente del cerro San Antonio y al norte del volcán Nevado de Toluca o Xinantécatl, perteneciente al Eje Volcánico Transversal. Esta zona también coincide con los lugares donde se registran las temperaturas medias más bajas, que son las comunidades de Raíces y Loma Alta del municipio Zinacantepec, localizados en la cara norte del volcán Nevado de Toluca.

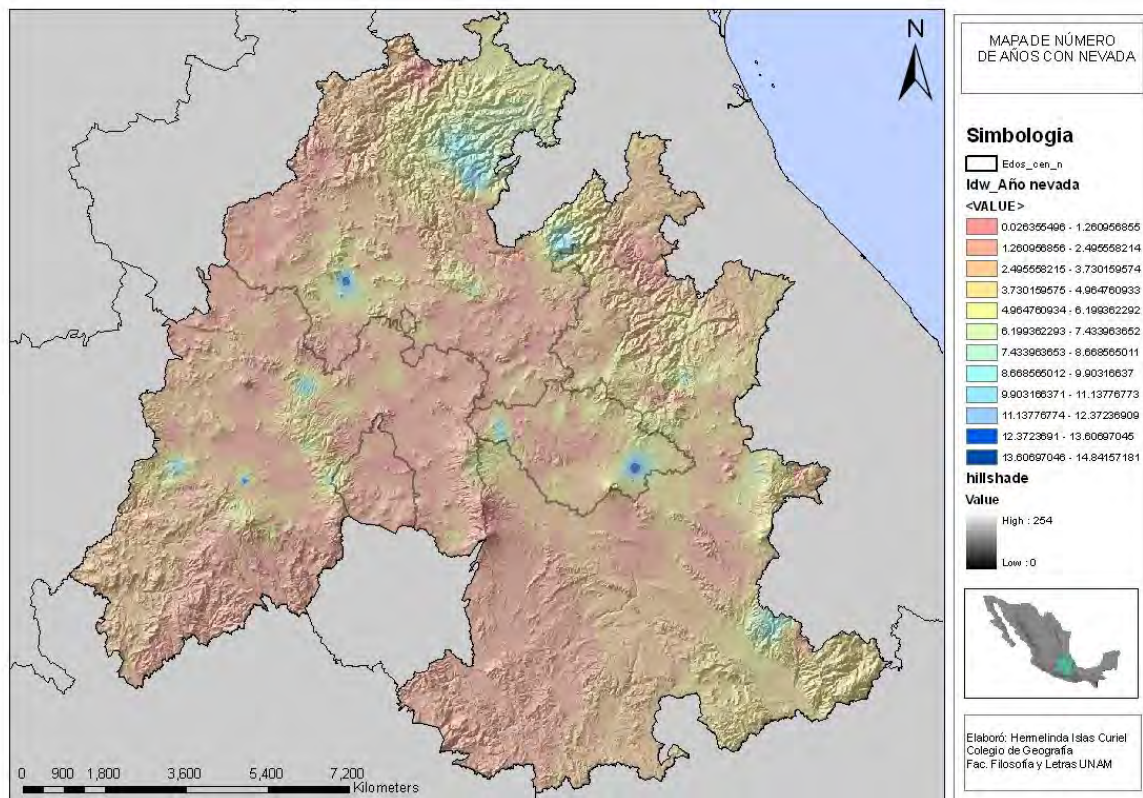


Figura 3.7 Distribución espacial de años con nevada, en estaciones del centro del país (1935-1989).

En los días con nevada los valores más altos se localizan entre la Sierra de Chichinautzin y la Sierra de Las Cruces, en las partes más altas de las montañas que dividen los valles de México y Toluca, en estaciones como Desierto de los Leones, La Marquesa, Monte Alegre (delegación Magdalena Contreras), Cuajimalpa y Villa del Carbón; esta última estación registra 65 días con nevada, que después del Nevado de Toluca constituye el valor más alto reportado en todas las estaciones consultadas.

Otra región considerable donde se observa la presencia frecuente del fenómeno de nevada es en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, principalmente en las mesetas y montañas del lado de sotavento, desde el norte del estado de Hidalgo, en la parte conocida como Sierra Alta Hidalguense donde se encuentran las estaciones de Molango, Zacualtipán y Tenango de Doria, hasta el sureste del estado de Puebla, en la Sierra de Zongolica, donde se encuentra la estación San Bernardino Lagunas del municipio Vicente Guerrero. Igualmente, es posible apreciar la recurrencia de las nevadas sobre el Eje Neovolcánico, en las faldas del volcán Matlalcuéytl o Malinche, al NE de la Sierra Nevada, donde se encuentran las estaciones de Río Frío, Mazapa y Nanacamilpa.

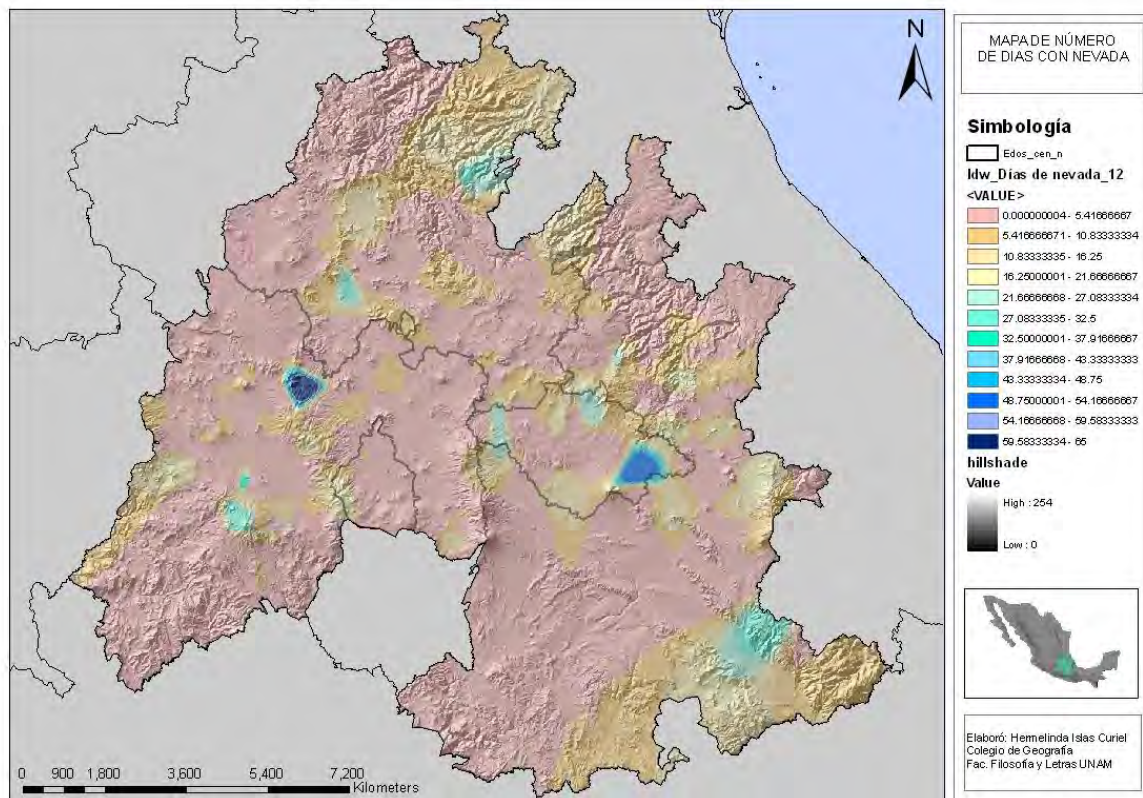


Figura 3.8 Distribución espacial de días con nevada en estaciones del centro del país (1935-1989).

El análisis geoespacial muestra que aun cuando no existe una homogeneidad en la información de las estaciones con nevadas, este fenómeno está altamente determinado por la orografía y la altitud, pues la mayor parte de los eventos de nevada se han presentado en las laderas de las zonas de montañas, que han sido registradas por las estaciones ubicadas en esos lugares.

Distribución altitudinal de eventos de nevada. Esta distribución se realizó en rangos cada 500 m. de altitud, lo que dio como resultado ocho grupos en los que se contó el número total de estaciones con nevada en cada uno de ellos y el porcentaje que representa del total de las estaciones empleadas, así como los días con nevada reportadas por el total de las estaciones de cada grupo (Cuadro 3.2). La altitud reportada por las estaciones con registros de nevada es desde 725 msnm de la estación Jopala de Puebla, hasta 4162 msnm de la estación Nevado de Toluca.

Cuadro 3.2 Distribución altitudinal de nevadas en el centro del país en el periodo 1935-1989.

<b>Altitud msnm.</b>	<b>Núm. Estaciones y porcentaje</b>	<b>Días Con Nevada</b>
501-1000	3 (1.0%)	5
1001-1500	5 (1.8%)	22
1501-2000	22 (7.9%)	210
2001-2500	132 (47.8%)	538
2501-3000	107 (38.7%)	676
3001-3500	6 (2.1%)	99
3501-4000	0	0
4001-4500	1 (0.3%)	888

Analizando la distribución altitudinal de los eventos de nevada se observa que hay una gran relación de las nevadas con la altitud, tanto en el Cuadro 3.2 como en la gráfica de la Figura 3.9 en que se aprecia el aumento de días con nevada con el aumento de la altitud sólo entre el rango de 3001 a 3500, en que el número de días con nevada es muy bajo; esto es debido a que el número de estaciones decrece a esa altitud. En el rango de 3501 a 4000 no hay ninguna estación que reporte nevadas a esa altitud, mientras que en el de 4001 a 4500, en el que se encuentra la estación Nevado de Toluca, el número aumenta considerablemente. El rango de altitud de las estaciones con nevada en el centro del país está entre 725 msnm de la estación Jopala, en el estado de Puebla, y 4162 msnm de la estación Nevado de Toluca, en el Estado de México.



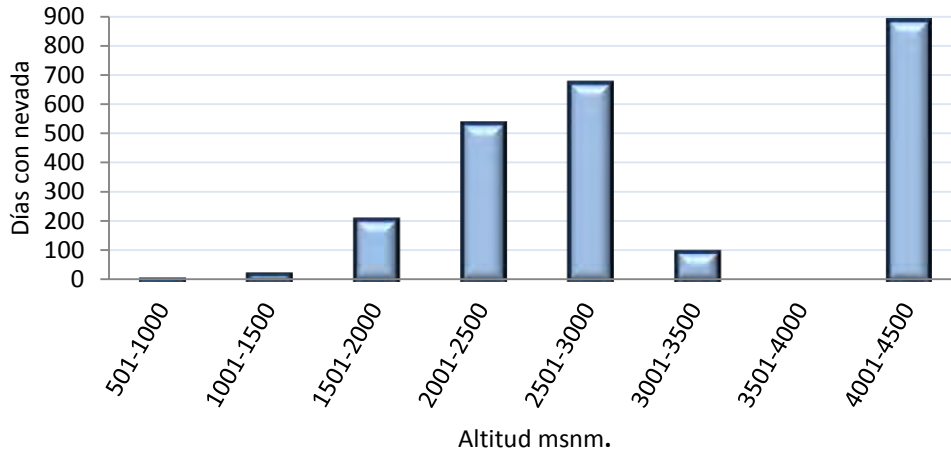


Figura 3.9 Frecuencia de número de días con nevada por altitud periodo 1935-1989. Elaboración propia.

Análisis estadístico de correlación. Para este ejercicio se realizó un muestreo de los datos con eventos de nevada a diferentes altitudes y se trató de representar estaciones que contaran con cierta homogeneidad en su información. Con el conjunto de datos obtenido se hizo el cálculo estadístico de coeficiente de correlación y se representó a través de un diagrama de dispersión o nube de puntos. De acuerdo con la correlación existente entre los datos se encontró que el modelo gráfico que más se ajusta para la línea de tendencia es el exponencial (valor de  $r = 0.9$ ); esto es indicativo de la alta correlación entre altitud y eventos, cuyo aumento es cada vez mayor a medida que se aumenta en altitud. Sin embargo, la mayor concentración de puntos se observa en el rango de 2000 a 3000 debido al número de estaciones (Figura 3.10).

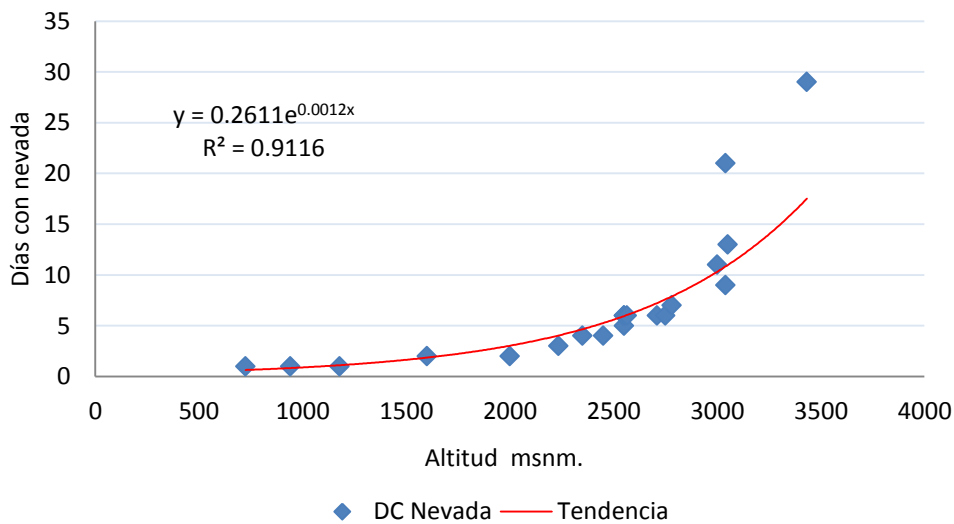


Figura 3.10 Diagrama de dispersión con línea de tendencia exponencial. Elaboración propia.

**3.1.4 Distribución temporal de las nevadas.**

A partir de los datos reportados en la tabla elaborada para el SIG se trazó una gráfica que muestra los años en que se registró el evento de nevada y el número de estaciones que lo reportaron (Figura 3.11). En ésta se encuentran registros de nevadas desde el año 1935, así como la nevada de 1940 que se presentó en la ciudad de México, reportada por tres estaciones en el Distrito Federal: Aquiles Serdán en la delegación Azcapotzalco, Desierto de los Leones y Central Tacubaya, además de otras estaciones en el estado de México. De igual manera, se puede observar que exceptuando el año 1949, que no se encontró ningún registro de nevada en las estaciones consultadas, el evento se presentó cada año de manera continua, desde 1940 hasta 1989. El número de estaciones con los registros de nevadas por año dan una idea de la magnitud del fenómeno y el área que abarcó, pues aún cuando no coinciden los periodos de observación, en algunos casos fue posible verificar que se trató del mismo evento.

En la gráfica también se aprecia cómo en los años de 1943, 1944 y 1986 sólo se localizaron los registros de nevadas en una sola estación, mientras que de 1951 a 1987 es el periodo que presenta el mayor número de estaciones con registros de nevada, destacando de manera excepcional la nevada de 1967 que se encuentra reportada en 185 estaciones (67%) de las 278 que se consideraron para la investigación a pesar de que, según se pudo constatar, muchas estaciones no presentan registros en ese día, tal vez por lo difícil que resultó para los observadores desplazarse hacia la estación.

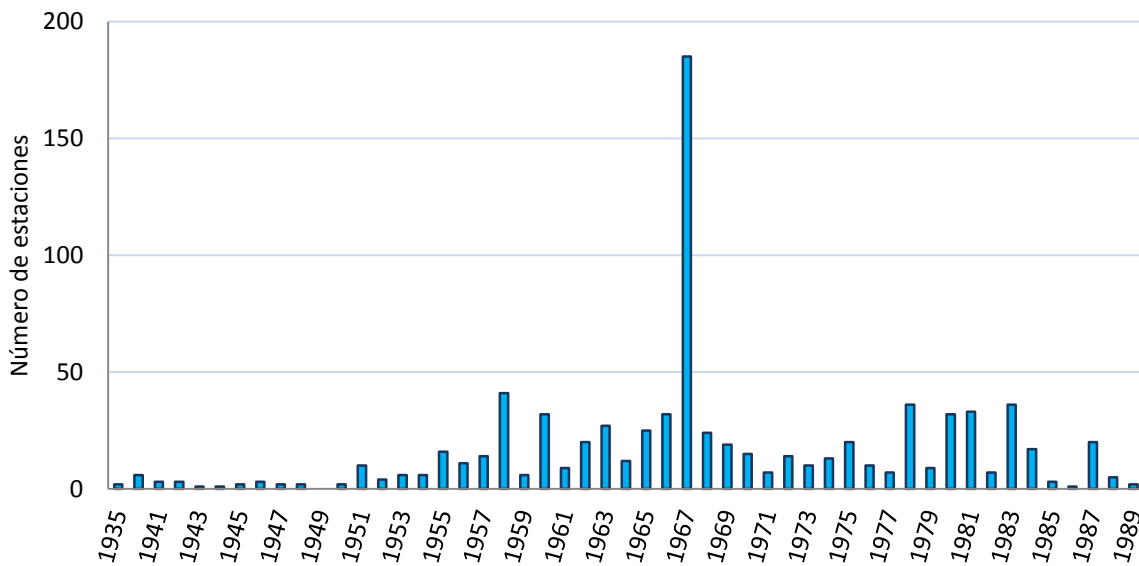


Figura 3.11 Estaciones con evento de nevada por año en los estados del centro del país durante el periodo 1935-1989. Elaboración propia.

Distribución anual de los eventos. Con el total de registros de nevadas de todas las estaciones de los estados del centro del país y de todo el periodo consultado 1935-1989, se definió la distribución anual a través de una gráfica mensual (Figura 3.12) en la que se indica que es el mes de enero cuando se presenta la mayor incidencia de nevadas; le siguen febrero, diciembre, marzo, octubre y finalmente abril, en total siete meses del año en que se ha presentado el fenómeno de la nevada en el centro del país.

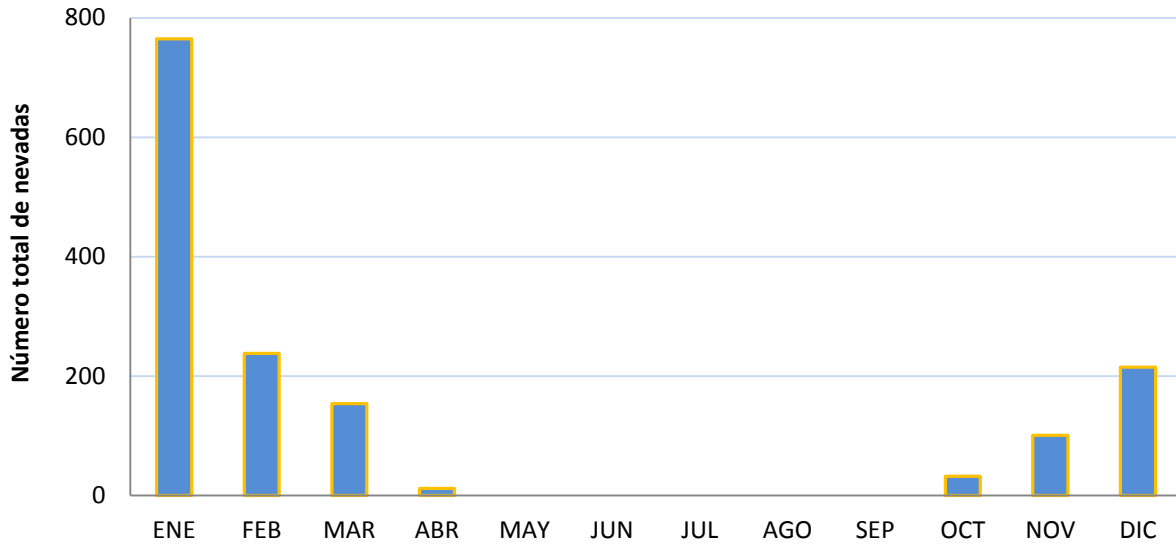


Figura 3.12 Distribución de nevadas por mes registradas en todas las estaciones de los estados del centro del país en el periodo 1935-1989. Elaboración propia.

Nevadas más relevantes. El análisis de la información obtenida de los eventos de nevada permitió seleccionar seis fechas que corresponden a los años en que se encontró el mayor número de estaciones con registros de nevada y en los que fue posible localizar la fecha aproximada del evento, que varía entre dos y cinco días de acuerdo a los datos de las diferentes estaciones. Por otra parte, utilizando la herramienta de sobreposición de capas de Arc Gis, con las fechas de las principales nevadas se elaboró un mapa para cada fecha. Esta representación cartográfica permitió identificar las zonas en que ocurrió el fenómeno en los años seleccionados. Así mismo, se marcó una línea que delimita la zona de la ocurrencia de la nevada en cada fecha, estas líneas se trazaron mediante la delimitación interpolada de forma manual, tratando de seguir los contornos del relieve y de altitud principalmente, con lo que se obtuvo la altitud mínima y máxima alcanzada por las diferentes nevadas que están de acuerdo con la ubicación de las estaciones (Figuras 3.13 a 3.18).

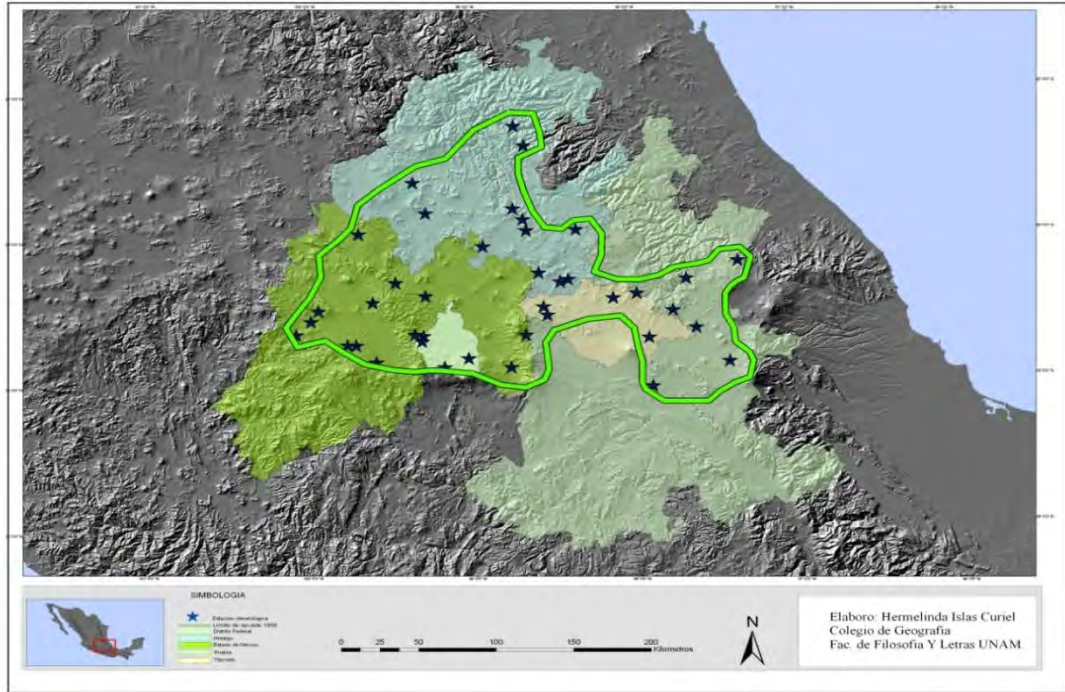


Figura 3.13 Distribución de estaciones con nevada del 17 al 21 de enero de 1958. Altitud 1650-3040 msnm.

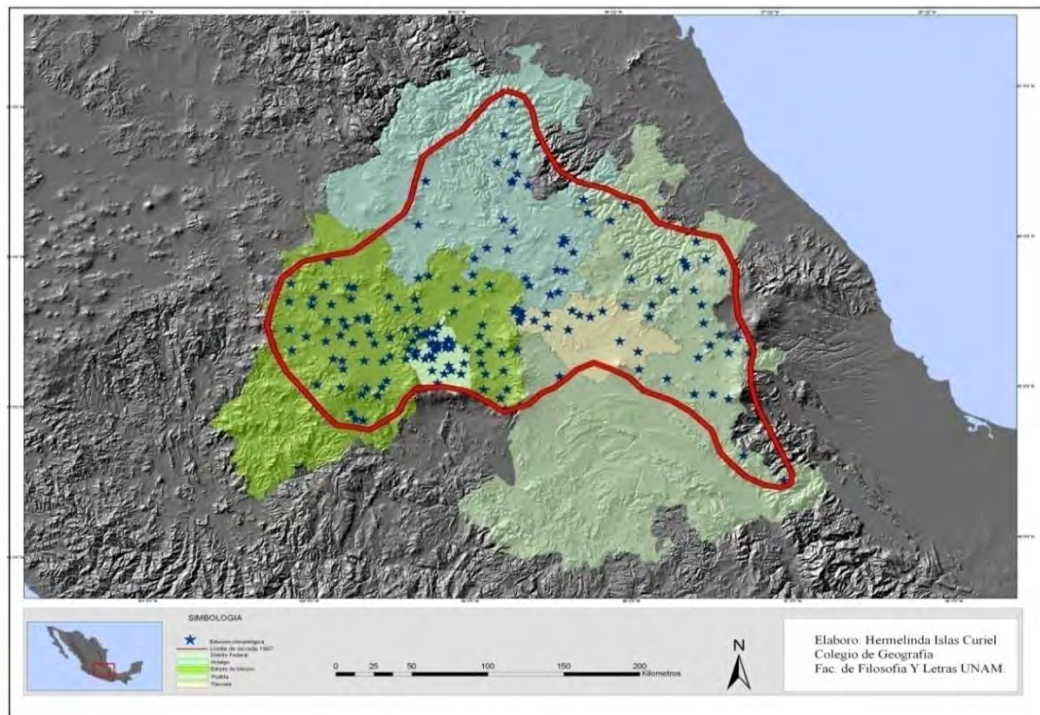


Figura 3.14 Distribución de estaciones con nevada entre el 10 y 11 de enero de 1967. Altitud 1000 - 4162 msnm.

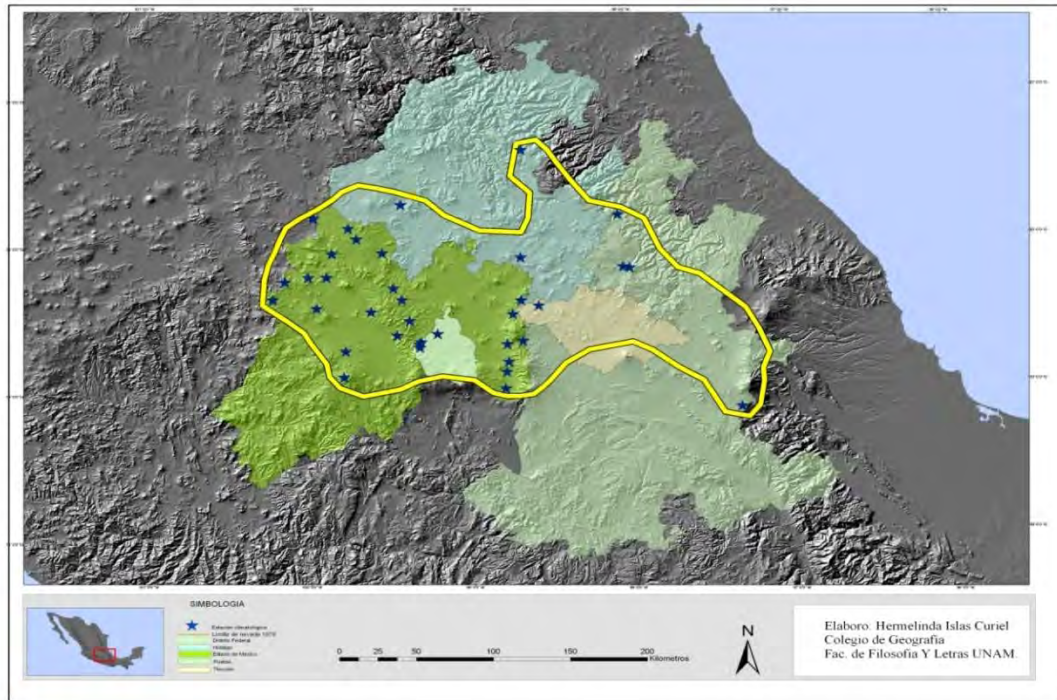


Figura 3.15 Distribución de estaciones con nevada entre el 15 y 19 de marzo de 1978. Altitud 1520 - 4162 msnm.

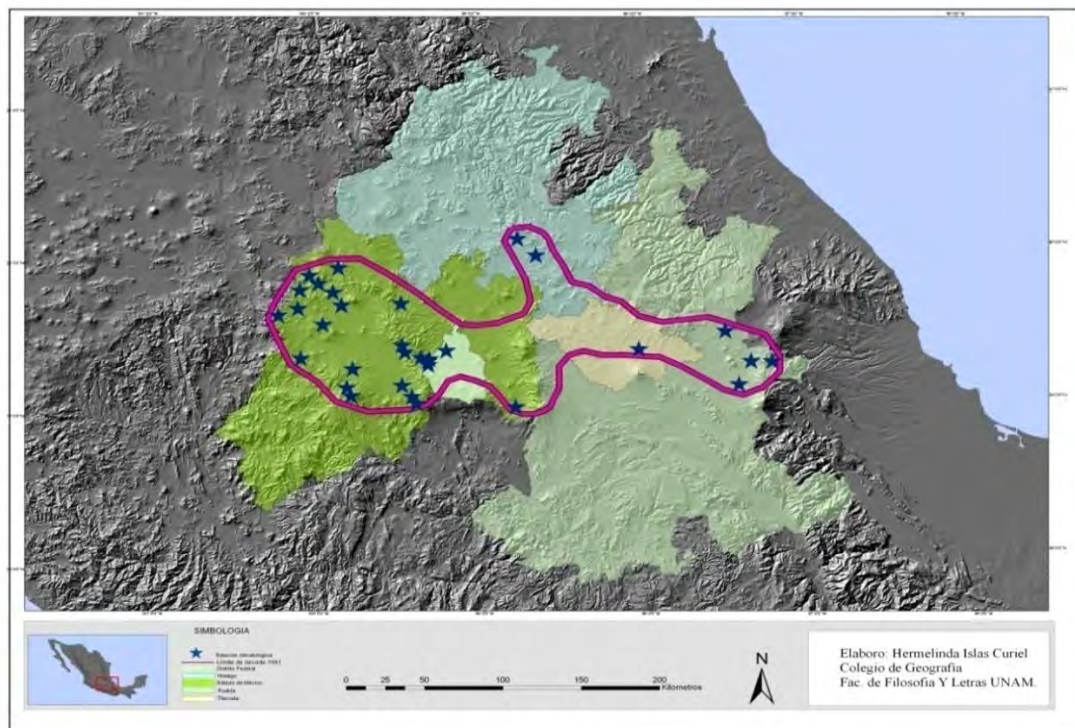


Figura 3.16 Distribución de estaciones con nevada entre el 19 y 24 de enero de 1981. Altitud 2283 - 4162 msnm.

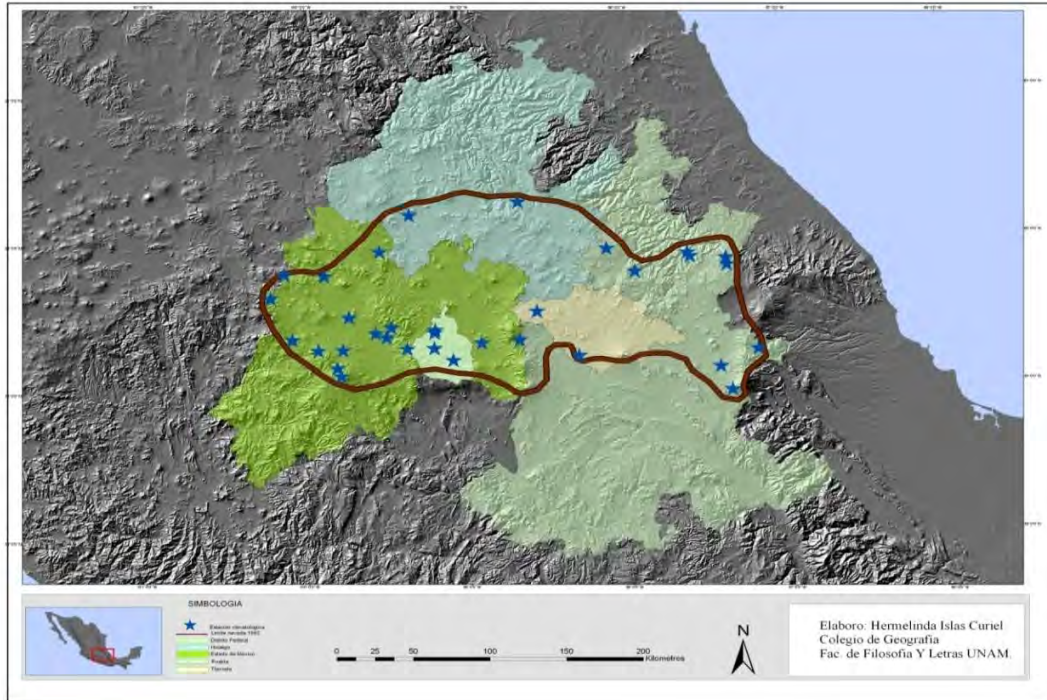


Figura 3.17 Distribución de estaciones con nevada entre el 12 y 15 de febrero de 1983. Altitud 940 - 4162 msnm.

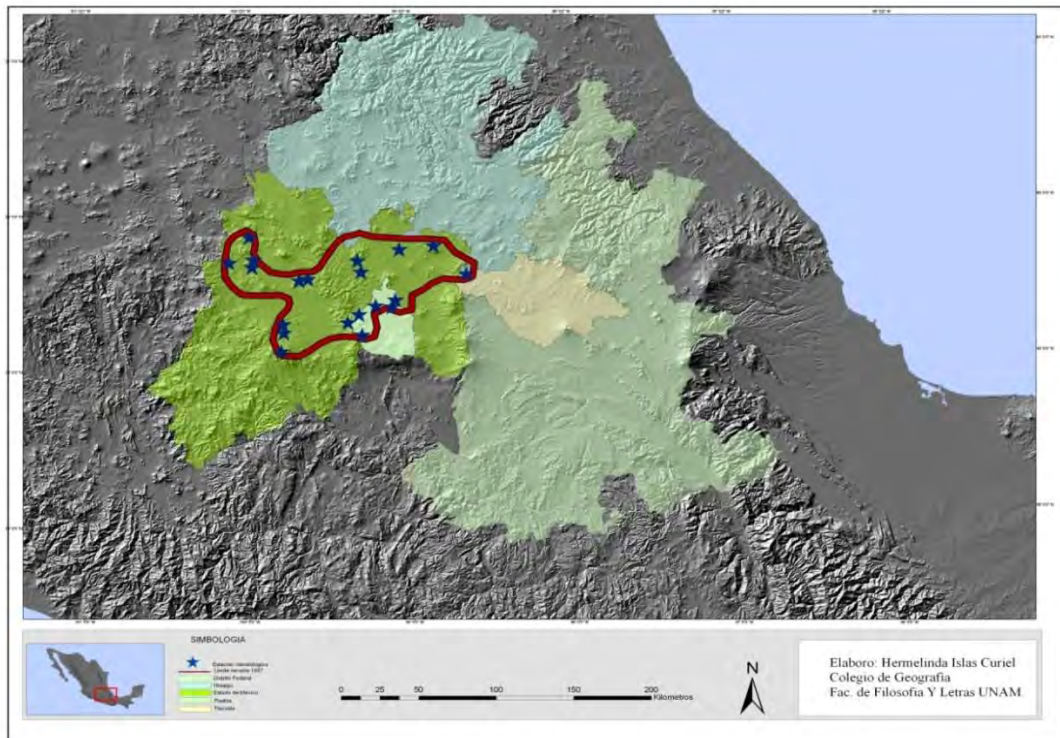


Figura 3.18 Distribución de estaciones con nevada entre el 4 y 6 de marzo de 1987. Altitud 2234 - 4162 msnm.

### 3.1.5 Tendencia de temperatura mínima extrema y precipitación invernal alrededor de la Sierra Nevada.

Una exploración más profunda de los valores históricos de la temperatura mínima extrema así como de la precipitación invernal registrados en las estaciones alrededor de la Sierra Nevada, ayudan a valorar el comportamiento de estos elementos meteorológicos; estos, a su vez, pueden dar un reflejo de los cambios graduales que a través del tiempo han presentado y determinar su tendencia, mediante la cual es posible detectar la variabilidad climática de este lugar.

Temperatura mínima extrema. Clave en Clicom 03. Es el valor más bajo de temperatura registrado en la estación durante el día. Ésta se puede extender a través del mes y del año y encontrar su comportamiento en todo el periodo de registro; para esto, se han considerado diez de las estaciones con mayor altitud localizadas alrededor de la Sierra Nevada (Figura 3.19) que cuentan con dicha información; los registros fueron extraídos de la base de datos diarios del ERIC III y del Clicom 2010, mismos que fueron sometidos a validación. Con los reportes diarios se obtuvo el registro de la temperatura mínima extrema del mes y de aquí se extendió a todo el año, con lo que se construyeron gráficas que muestran la tendencia en cada punto estudiado. Cabe aclarar que en la estación Hueyatlaco, que únicamente se encontró en el archivo climatológico del INEGI, se utilizaron datos mensuales de la temperatura mínima extrema; así mismo, se obtuvo la información de la estación automática Ixta-Popo y se determinó la temperatura mínima extrema por mes y por año.

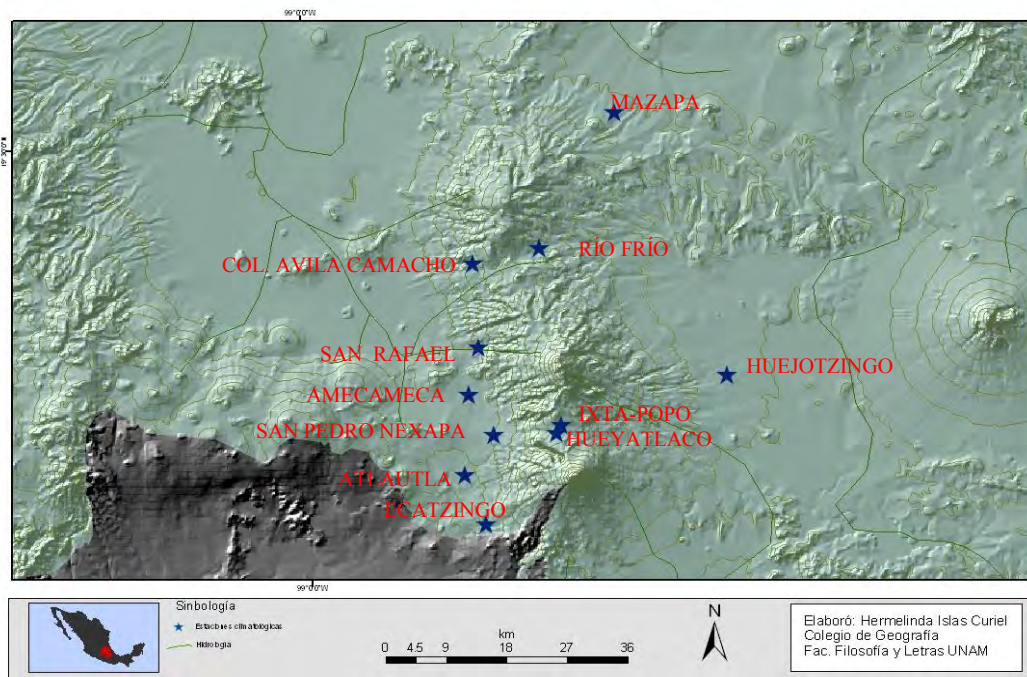


Figura 3.19 Estaciones alrededor de la Sierra Nevada.

La estación Amecameca (Figura 3.20), localizada en la parte occidental de la Sierra Nevada, muestra una ligera tendencia hacia el aumento en la temperatura mínima extrema debido principalmente al año 1985 que eleva considerablemente su valor de menos 7°C reportado en 1984 a menos 1°C. Esta tendencia resulta contraria a la reportada en el trabajo de Ortega del Valle (2001), quien obtiene en la temperatura media de esta estación una tendencia negativa.

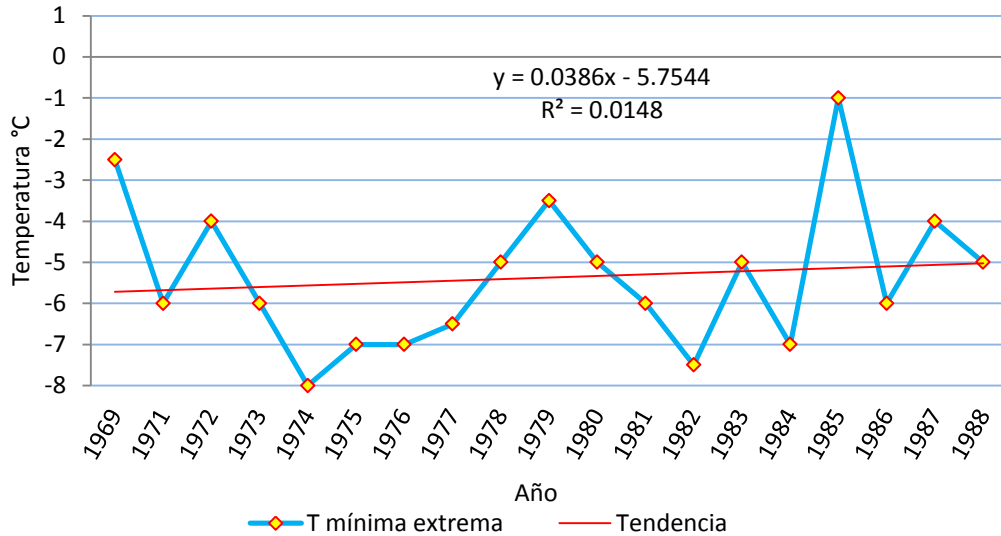


Figura 3.20 Temperatura mínima extrema. Estación 15007 Amecameca, (1969-1988). Elaboración propia.

La estación Colonia Ávila Camacho (Figura 3.21), localizada cerca de Río Frío, en la ladera del cerro Telapón en la parte norte de la Sierra Nevada, con un periodo de observación de 23 años, muestra una clara tendencia al aumento en la temperatura mínima extrema debido principalmente a que los valores de la década de los 90 se elevan 6°C y de registros negativos que en todo el periodo había presentado llega a 0°C en el año 2000.

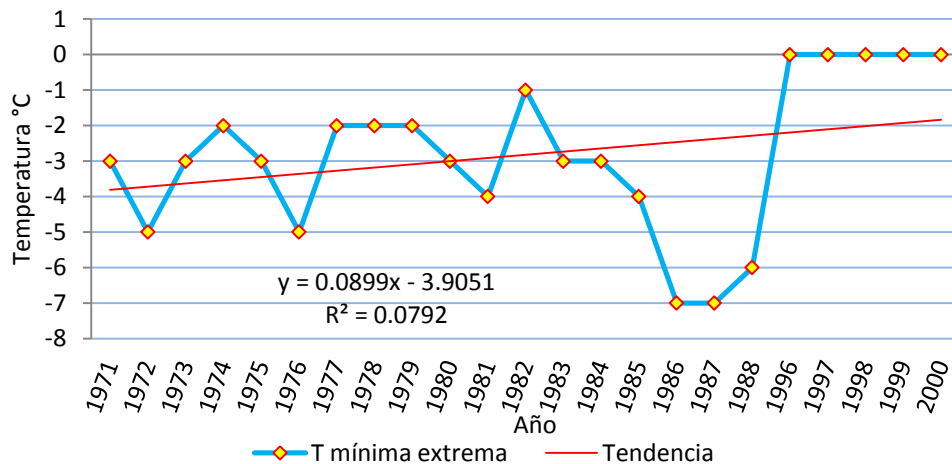


Figura 3.21 Temperatura mínima extrema. Estación 15018 Colonia Ávila Camacho (1971-2000). Elaboración propia.



Los valores analizados en la gráfica de la estación San Rafael (Figura 3.22) dan evidencia de una constante variación de la temperatura mínima extrema en todo el periodo; sin embargo, en los años 1984 y 1986 estos valores se elevan hasta 1°C positivo cuando la mayor parte del periodo es negativo. Esto da como resultado que, en general, la tendencia de la temperatura sea al aumento.

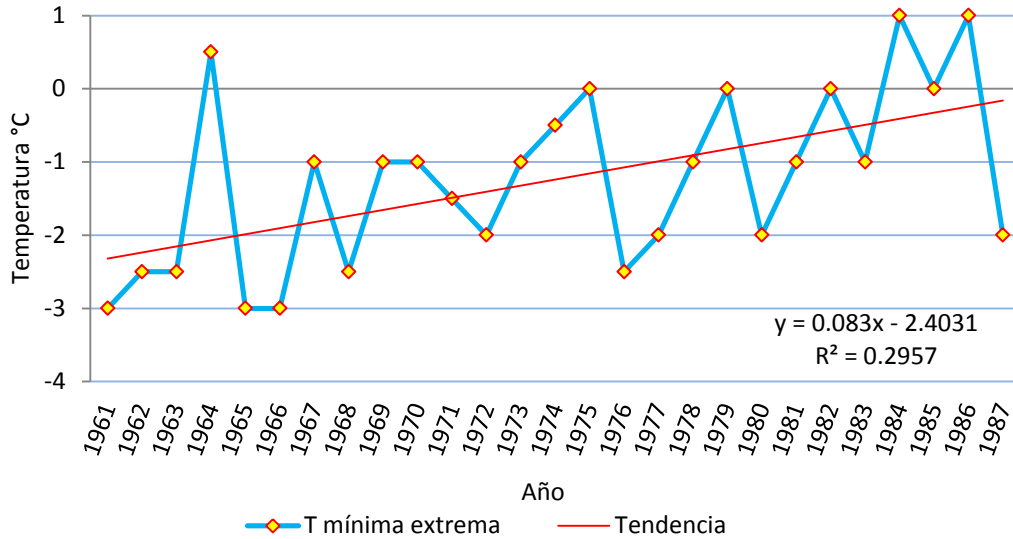


Figura 3.22 Temperatura mínima extrema. Estación 15106 San Rafael (1961-1987). Elaboración propia.

La estación Atlautla (Figura 3.23), aun cuando sólo cuenta con seis años de información de temperatura mínima extrema en el periodo de 1982 a 1987, es posible apreciar que de 1985 a 1987 muestra un aumento drástico que pasa de menos 4°C a 0°C, lo que da como resultado general una marcada tendencia al aumento de su temperatura.

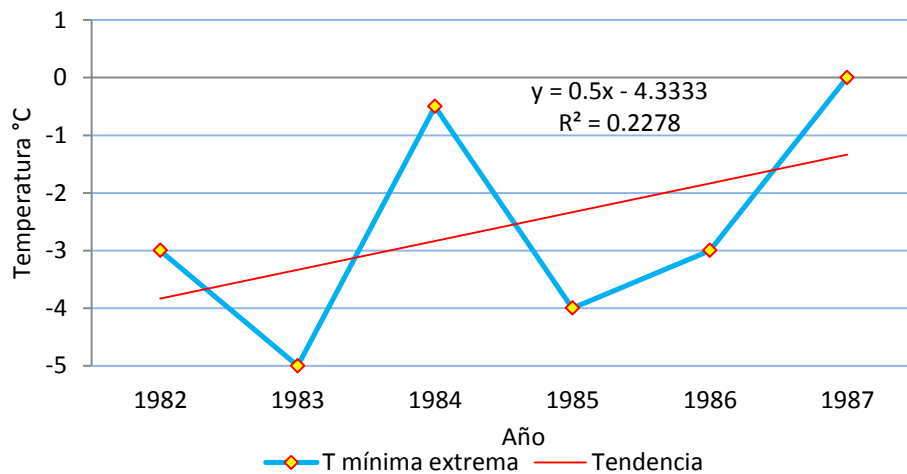


Figura 3.23 Temperatura mínima extrema. Estación 15252 Atlautla (1982-1987). Elaboración propia.

En la estación Ecatzingo (Figura 3.24) localizada al suroeste de la Sierra Nevada, el periodo de registros encontrado para este parámetro es de apenas cinco años; sin embargo, aun con esta información es posible observar el comportamiento de la temperatura mínima extrema que tiende al aumento. De igual forma es posible ver cómo todos sus registros son positivos a diferencia de las demás estaciones ubicadas alrededor de la Sierra Nevada, donde la mayor parte de sus registros son negativos.

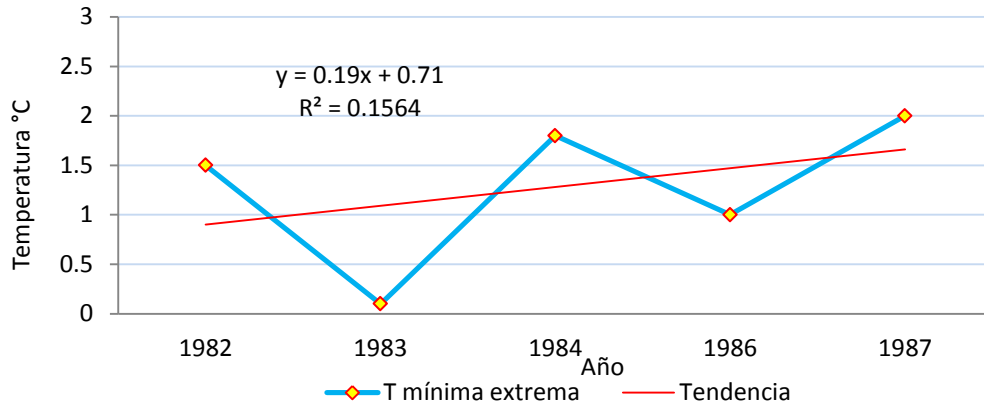


Figura 3.24 Temperatura mínima extrema. Estación 15288 Ecatzingo (1982-1987). Elaboración propia.

Situada a tan sólo 15 km de la zona de los volcanes, en la parte occidental de la Sierra Nevada, la estación de San Pedro Nexapa (Figura 3.25), muestra en sus registros de los años 1967, 1972, y 1974 temperaturas muy bajas, posteriormente, se ve un incremento considerable, de tal manera que los años 1975 y 1979 pasan a 0.5°C positivos, mientras que todos los demás años son negativos y aun cuando nuevamente desciende en los años 1986 y 1988 donde termina la información, la tendencia de la temperatura mínima extrema es de un ligero aumento.

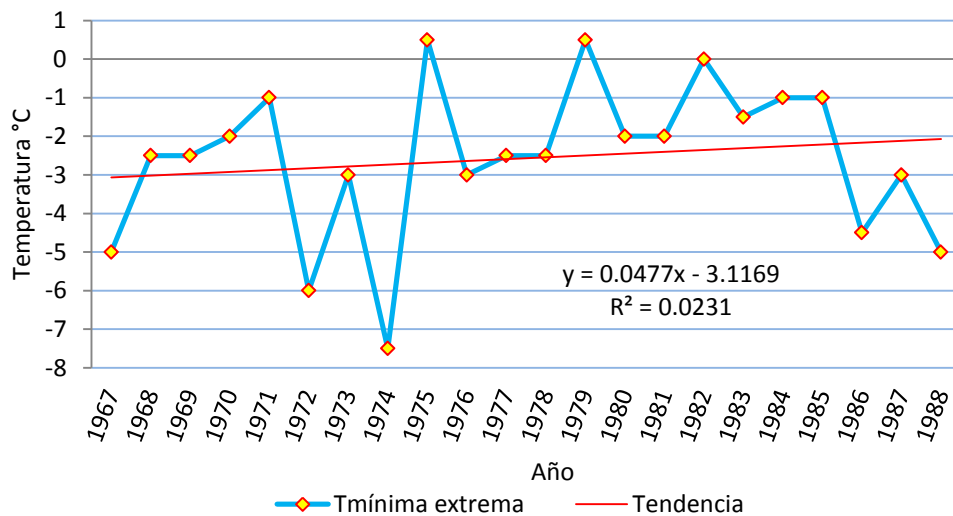


Figura 3.25 Temperatura mínima extrema. Estación 15103 San Pedro Nexapa (1967-1988). Elaboración propia.

La estación Huejotzingo (Figura 3.26), situada en la parte oriental de la Sierra Nevada, presenta una variabilidad continua en su temperatura mínima extrema, con un periodo de información de 48 años, lo que la sitúa en las estaciones de periodo largo. Esta variación da como resultado una tendencia al aumento de casi dos grados en la temperatura mínima extrema.

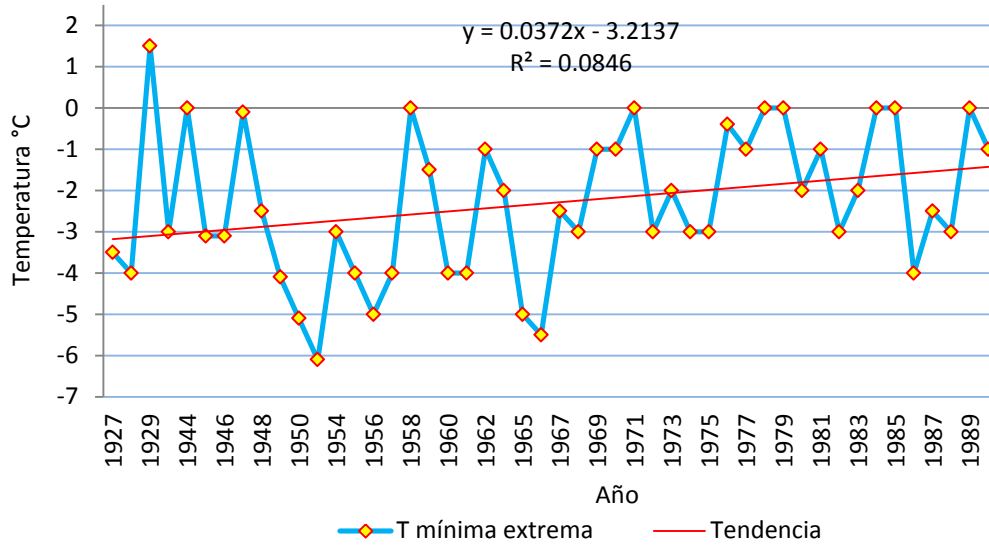


Figura 3.26 Temperatura mínima extrema. Estación 21046 Huejotzingo (1927-1989). Elaboración propia.

La estación Mazapa (Figura 3.27), ubicada en la ladera NE de la Sierra Nevada, con un periodo de observación de 46 años, muestra la mayor parte de sus registros de temperatura mínima extrema en 0°C, sólo en el periodo 1960-1968 en que la temperatura registra una fuerte disminución que llegó hasta menos 8°C y el último año de registro de esta variable, que alcanza los 6°C. Esto da como resultado que la línea de tendencia se mantenga casi recta a través de todo su periodo.

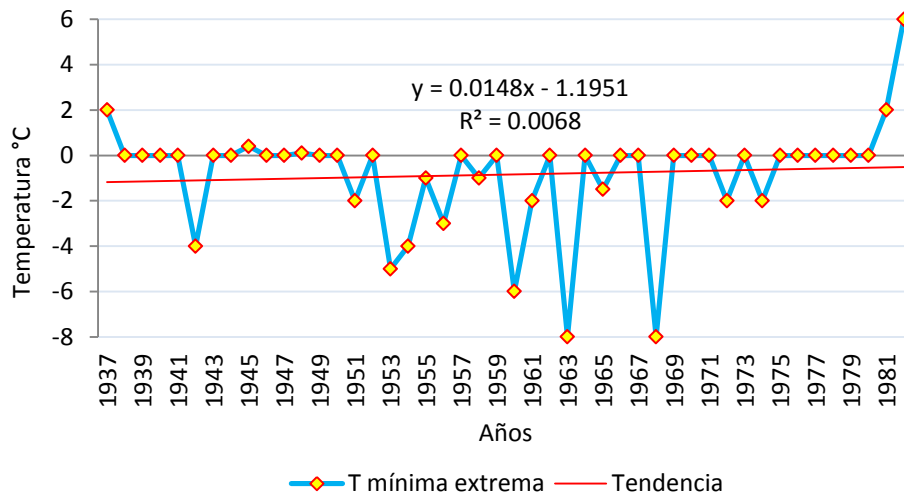


Figura 3.27 Temperatura mínima extrema. Estación 29015 Mazapa (1937-1981). Elaboración propia.

Situada en la parte norte de la Sierra Nevada, la estación Río Frío (Figura 3.28) cuenta con 25 años de información en temperatura mínima extrema, en cuyo periodo se puede observar las temperaturas tan bajas que presenta el lugar, pues, exceptuando el año 1962 en que llega la mínima extrema a menos 4°C, en todo el periodo sus valores van de menos 11°C a menos 6°C y aun cuando los últimos años de la década de los 80 ésta tiende a incrementarse, la línea de tendencia en general indica una disminución en la temperatura, coincidiendo con la temperatura media de esta estación analizada por Ortega del Valle (2001).

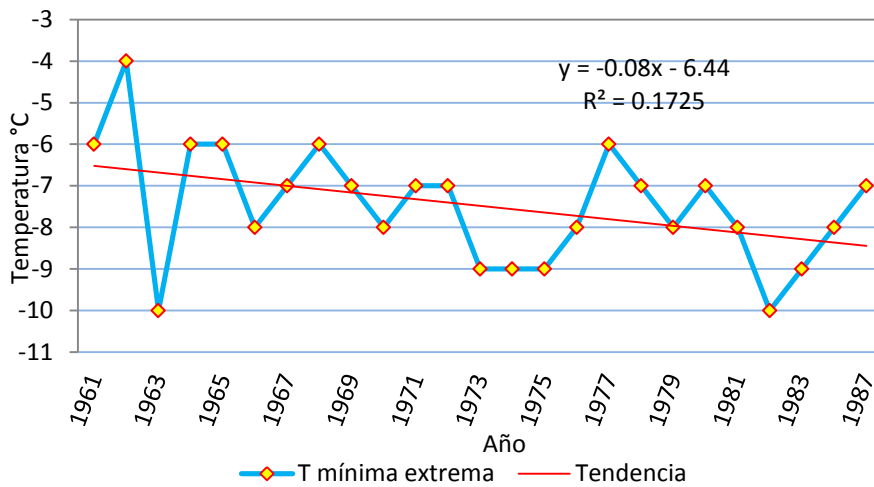


Figura 3.28 Temperatura mínima extrema. Estación 15082 Río Frío (1961-1987). Elaboración propia.

La estación Hueyatlaco (Figura 3.29) es una estación que estuvo ubicada cerca de Paso de Cortés, sobre la Sierra Nevada; su periodo de funcionamiento fue de 1941 a 1960. Es una de las estaciones de mayor altitud en esa zona por lo que su información es muy valiosa. El análisis de la temperatura mínima extrema indica que, con excepción del año 1948 en que tuvo un aumento que llegó hasta -0.5°C, en todo el periodo se mantuvo entre menos dos y menos cinco grados, lo que da como resultado una tendencia negativa. Se obtuvo su temperatura media anual de 7.7°C.

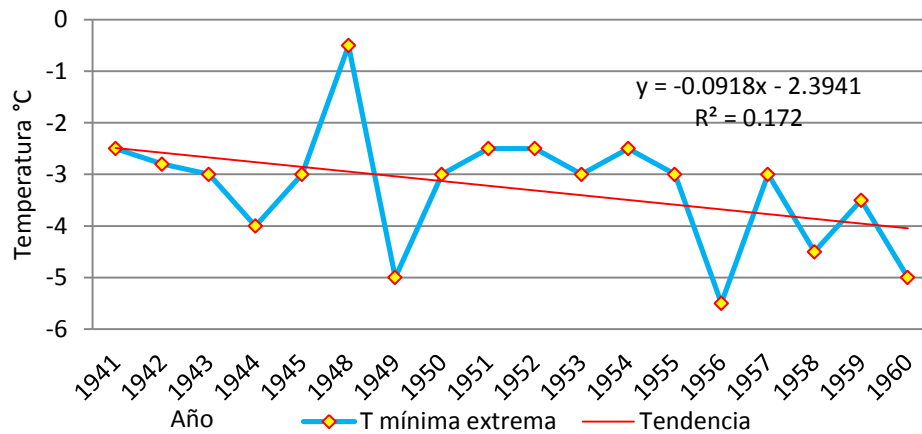


Figura 3.29 Temperatura mínima extrema. Estación Hueyatlaco (1941-1969). Elaboración propia.

En el Cuadro 3.3 se muestran los valores obtenidos de la temperatura mínima extrema en la estación automática Ixta-Popo del SMN que, aunque con sólo son dos años de información, da una idea general del comportamiento de la temperatura mínima extrema en estos años. Así, es posible observar que en 2009 tuvo un incremento en la temperatura mínima extrema de 1.4°C, lo que resulta contrario a la tendencia a disminuir que había presentado la estación Hueyatlaco en los años 60.

Cuadro 3.3 Temperatura mínima extrema, estación Ixta-Popo.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2008		-1.2	-3.2	0.9	0.9	1.3	0.6	2.4	2.7	-8.0	-2.7	-1.9	-8.0
2009	-1.6	-3.2	-6.6	6.9	5.8	5.7	6.6	6.5	6.9	5.2	3.7	-2.8	-6.6

Fuente: elaboración propia con información del SMN.

Los resultados obtenidos por los métodos estadísticos de la temperatura mínima extrema en las estaciones que rodean a la Sierra Nevada indican una tendencia general al aumento de este elemento meteorológico, sobre todo en los últimos años, pues de las diez estaciones que se trabajaron, ocho de ellas así lo demuestran y aunque dos de las estaciones más altas de la sierra (Río Frío y Hueyatlaco) presentaron tendencia a la baja; en realidad se trata del periodo 1940-1987, años en los que aún no se percibía tanto el aumento de temperatura.

Precipitación invernal. El análisis estadístico de la serie histórica de datos de precipitación invernal de estaciones con nevada que rodean a la Sierra Nevada, es de gran significado para detectar el comportamiento que presenta este elemento, el cual está de alguna manera relacionado con las nevadas pues, como se explicó en el primer capítulo, al fundirse la nieve pasa a formar parte de la precipitación total, además de indicar con su presencia el grado de humedad que existe sobre este lugar. Por tal motivo, se consideró elegir a una estación climatológica por cada ladera de la sierra (norte, oriente y poniente) que contara con suficiente información para determinar la tendencia. La temporada invernal fue considerada del 1° de noviembre al 31 de marzo (SMN); los datos se obtuvieron de la información diaria de la base de datos de CLICOM 2010 y se procesaron por cada temporada invernal (noviembre-diciembre, principio de la temporada invernal y enero-marzo del siguiente año, fin de la temporada invernal). En la gráfica, el año del eje horizontal corresponde al final de cada temporada. Así mismo, se obtuvieron las anomalías correspondientes en cada estación.

Ubicada en el lado poniente de la Sierra Nevada la estación Amecameca (Figuras 3.30 y 3.31) indica una disminución aproximada de 30 mm de precipitación, decremento muy significativo tomando en cuenta que se trata únicamente de la precipitación de cinco meses del periodo invernal. Esta disminución también se aprecia

en la gráfica de anomalías, que a partir de la década de los ochenta aumenta en anomalías negativas. Sin embargo, la temporada invernal 1998 presenta un incremento muy marcado que llegó a 150 mm, el más alto en todo el periodo consultado.

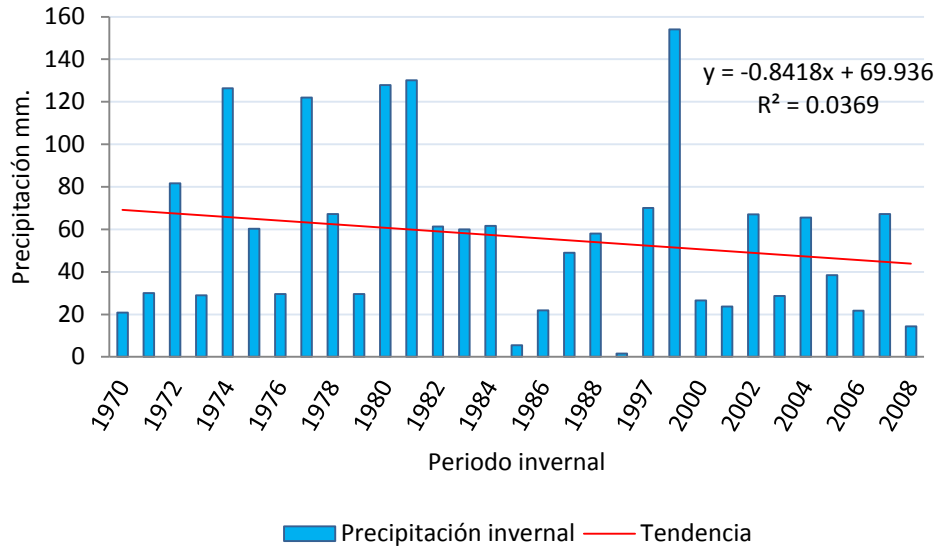


Figura 3.30 Precipitación invernal. Estación Amecameca (1969-2008). Elaboración propia.

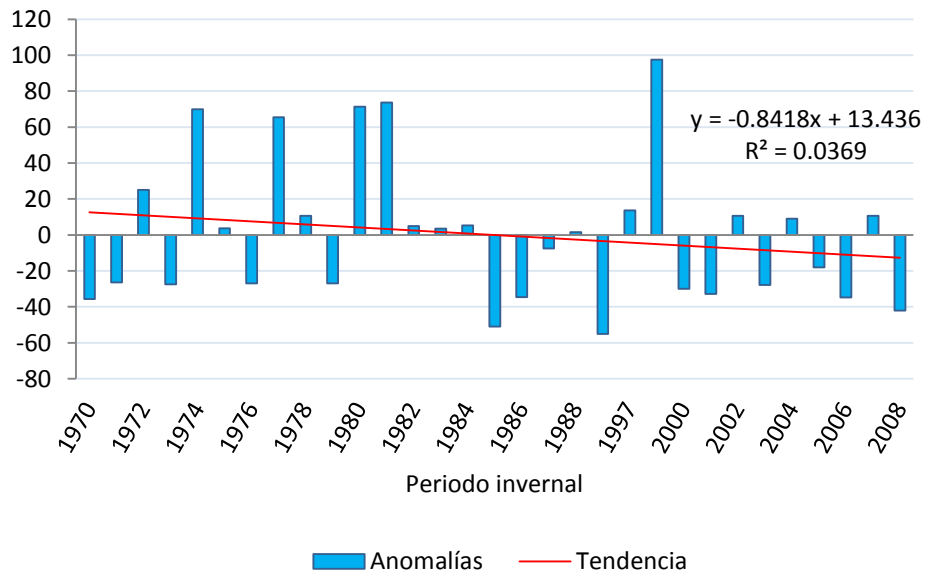


Figura 3.31 Anomalías de la precipitación invernal en la estación Amecameca. Elaboración propia.

Estación Colonia M. Ávila Camacho (Figuras 3.32 y 3.33). Localizada en la ladera norte de la Sierra Nevada, tiene una tendencia ligeramente negativa en su precipitación. El valor más alto se observa en el año 1980, cuando alcanzó 163 mm; a partir de 1997 se observa un descenso en sus valores exceptuando al año 2007, que llegó a 141 mm de precipitación invernal. En las anomalías se refleja un comportamiento general con predominio de valores negativos.

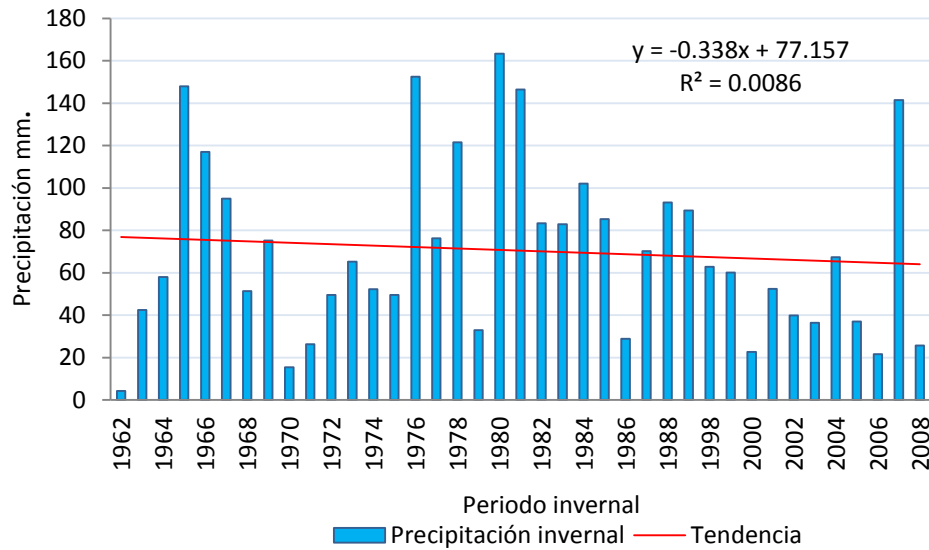


Figura 3.32 Precipitación invernal. Estación Colonia Ávila Camacho (1961-2008). Elaboración propia.

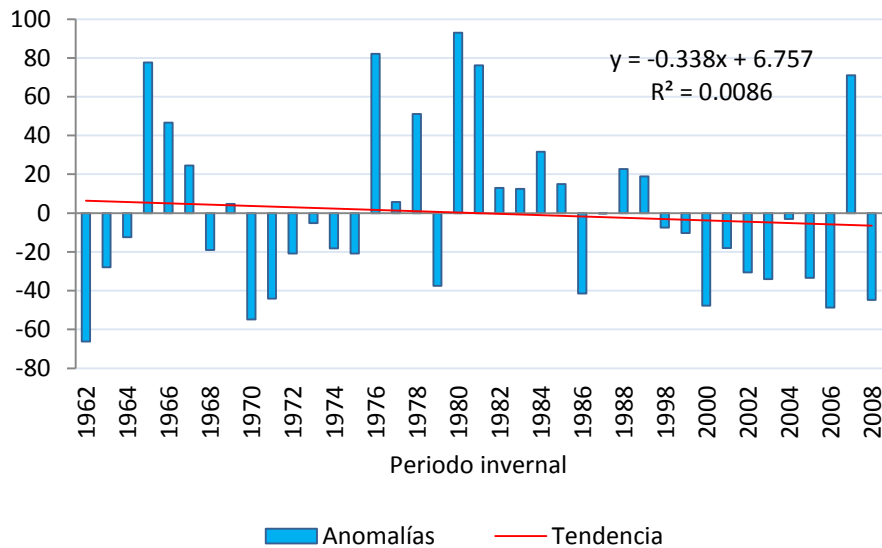


Figura 3.33 Anomalías de la precipitación invernal en la estación Colonia Ávila Camacho. Elaboración propia.

Estación Huejotzingo (Figuras 3.34 y 3.35). Esta estación, que representa a la ladera oriente de la Sierra Nevada, presenta a través de su periodo de información características muy significativas con variaciones que van desde los 2 mm hasta los 190 mm de precipitación; como resultado se tiene una tendencia general a la baja de aproximadamente 20 mm de precipitación invernal. En las anomalías se aprecia el predominio de los valores negativos que, con excepción de los años 78, 80 y 81, se presentan en la mayoría de los años 70 en adelante hasta el año 1990 en que se suspende la información

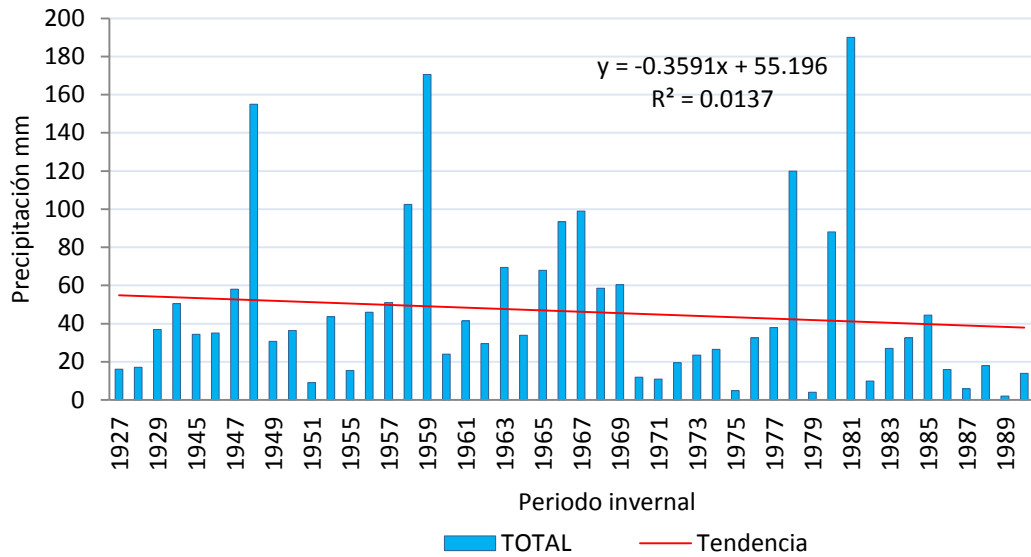


Figura 3.34 Precipitación invernal. Estación Huejotzingo (1926-1989). Elaboración propia.

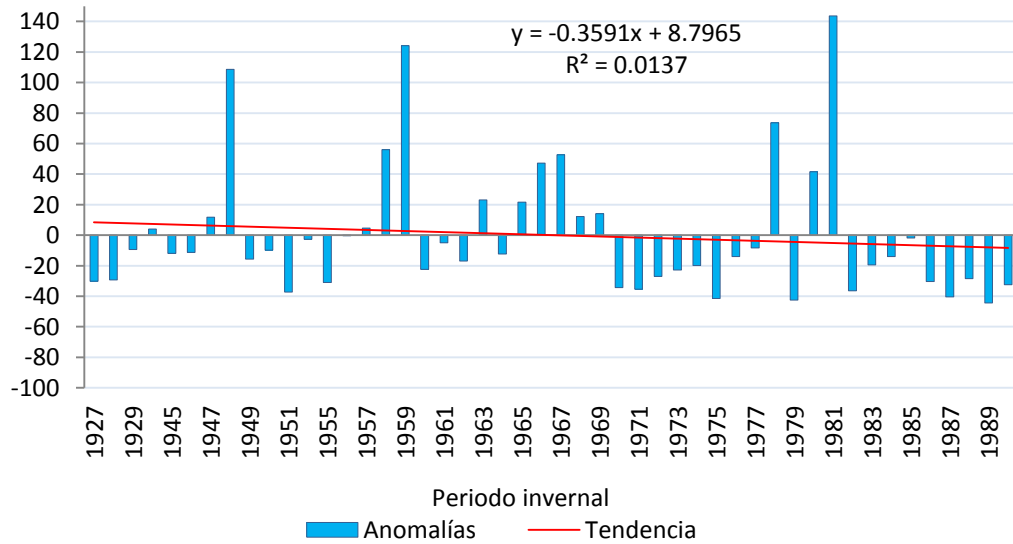


Figura 3.35 Anomalías de la precipitación invernal en la estación Huejotzingo. Elaboración propia.



El análisis estadístico realizado por medio de la precipitación invernal y sus anomalías para las laderas de la Sierra Nevada, en general dejan ver la disminución clara y el predominio de las anomalías negativas que se están dando en la precipitación de esta temporada, sobre todo en los últimos años. Así mismo, se ha podido detectar que en algunos casos la mayor cantidad de precipitación invernal corresponde a años en los que estuvo presente el fenómeno de El Niño, como en el caso de la temporada 1998 en la estación Amecameca. En la estación Manuel Ávila Camacho, que representa la parte norte de la Sierra Nevada, las temporadas 1996, 1978 y 2007 tuvieron una cantidad considerable de precipitación en la temporada invernal que, además, en 1978 coincide con una de las dos nevadas registradas en esta estación, mientras que en la estación Huejotzingo, en la ladera oriental de la sierra, las temporadas 1958, 1966 y 1978 (años Niño) también cuentan con una alta cantidad de precipitación invernal.

### 3.2 Tendencia de nevadas en la estación Nevado de Toluca. Estudio de caso.

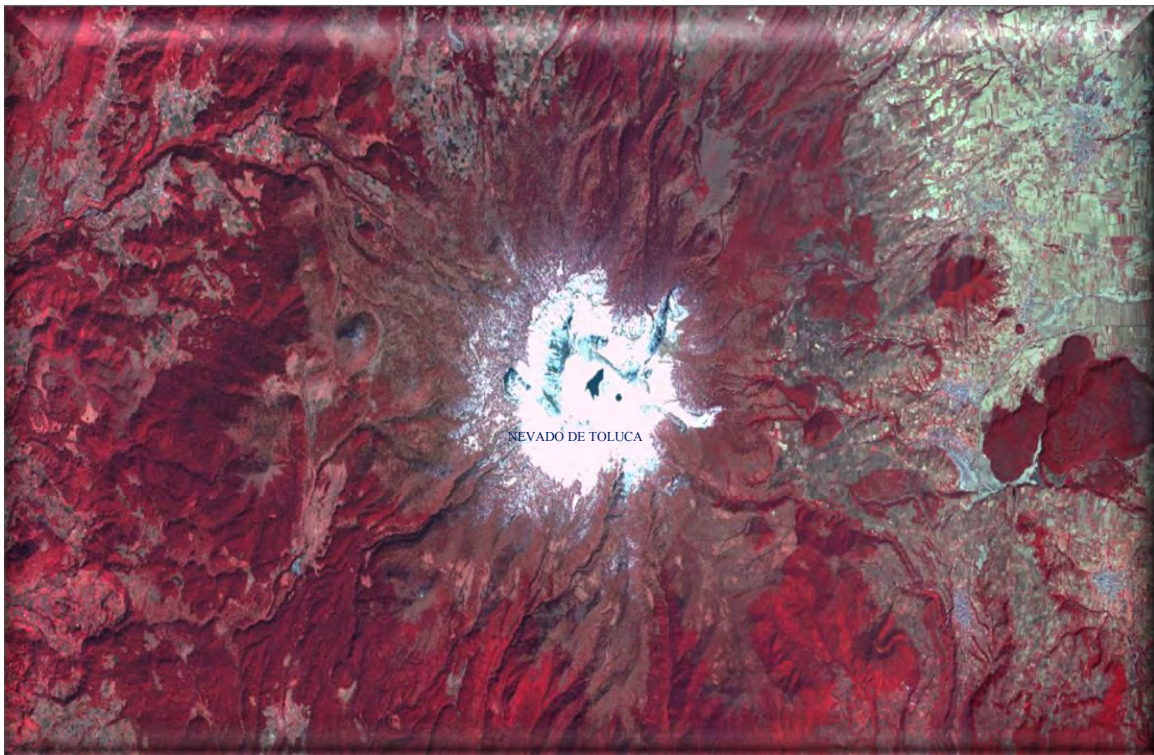


Figura 3.36 Imagen de satélite del Nevado de Toluca.

El Nevado de Toluca o Xinantecatl (Figura 3.36) se encuentra ubicado en el Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT), el cual forma parte del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Según el decreto otorgado en 1936, cuenta con una superficie de 53,912 has y se delimita siguiendo la cota de 3,000 m. El PNNT incluye el Parque de los Venados, que es la zona boscosa, y la cima, que corresponde al volcán

propiamente dicho; comprende los municipios de Almoloya de Juárez, Amanalco, Calimaya, Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenango del Valle, Villa Victoria, Villa Guerrero y Zinacantepec (Conanp, sitio Internet). Posee una altitud de 4,690 msnm y representa la cuarta montaña más alta del país.

Se localiza a 22 km al suroeste de la ciudad de Toluca, en el Estado de México, sobre el Eje Volcánico Transversal; es un estratovolcán apagado cuya última erupción fue hace 3100 años; el cráter tiene cinco kilómetros de diámetro. En la cima del cono volcánico, a 4,210 msnm, se encuentran dos de los cuerpos de agua considerados entre los más altos del mundo: la Laguna del Sol, con 24 has y una profundidad media de seis metros y máxima de 15 m y la Laguna de la Luna con menores dimensiones, pues no excede los 10 metros de profundidad (Montero, 2004).

El Nevado de Toluca cuenta con la estación climatológica del mismo nombre, con clave de CLICOM 15062, que está ubicada a 4,162 msnm (Figura 3.37). Es la estación más alta del país, su periodo de información es de 46 años, de 1964 a 2010, que la clasifica entre las estaciones de periodo largo.

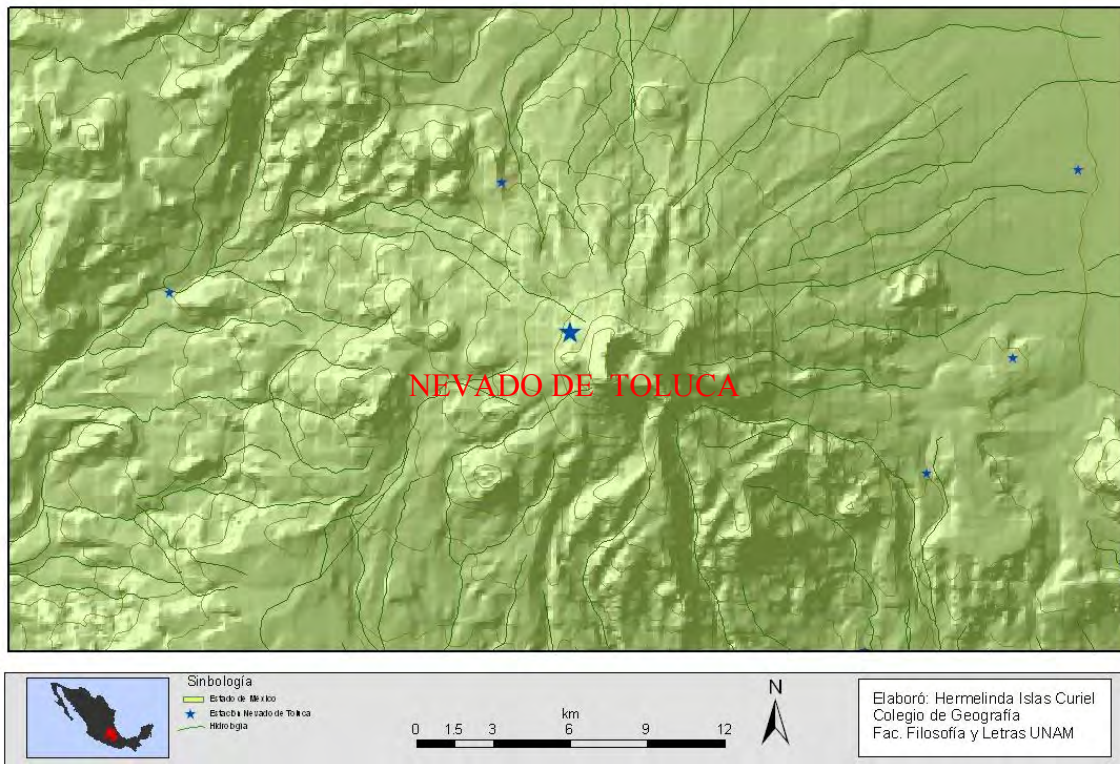


Figura 3.37 Estación climatológica 15062 Nevado de Toluca.

Para el presente estudio se consideró el periodo 1964 a 2008 porque fue la información más completa que se logró conseguir. Por su altitud es una de las estaciones más indicativas del clima de alta montaña, en la que el registro de nevadas ha sido de gran importancia para evaluar la tendencia de este fenómeno en los últimos años a pesar de algunos problemas que presenta su información tanto en los registros propios de este evento (explicados en el inciso 3.1.1 de este capítulo) además de otros problemas como ausencia de registros de los años 1967, 1968, 1969 y 1973, que faltan completos o casi la totalidad de ellos; tampoco hay datos en algunos meses: enero 1974, noviembre de 1983, enero y febrero de 1984, agosto y septiembre de 1987, noviembre de 1994, octubre, noviembre y diciembre de 2001 (de noviembre de 1986 a octubre de 1990, de manera sistemática, se dan siete días de registros por siete días de ausencia de datos). También se da inconsistencia en los registros, como consignar 31 días en meses que no corresponden, como abril de 2006 (expediente). Igualmente hay discrepancia en la información; por ejemplo, para el 11 de octubre de 1988 se marca una precipitación de 2.2 mm en ERIC III y Clicom 2010, mientras en el expediente se registra 22.0 mm. Finalmente, se halló información desfasada; en mayo, junio y julio de 2008 la información esta corrida por un día y algunos datos con el punto corrido un decimal.

Para hacer una evaluación de la tendencia de las nevadas y la situación climática en esta estación se llevó a cabo la recopilación de la información del número de días con nevada, de la temperatura en sus diferentes parámetros, así como la temperatura mínima extrema del día en que ocurrió el evento y de la precipitación tanto total anual como la precipitación invernal, haciendo al final una comparación entre ésta y las nevadas de la temporada invernal. La información del número de días con nevada se obtuvo del SMN de 1964 a 1984 de las tarjetas de la forma T-9 de resumen mensual y anual. A partir de enero de 1985 a julio de 2008 se revisaron todas las hojas de la forma 212-50, con la información diaria en el expediente de la estación; con estos datos se pudieron construir diversas gráficas de tendencia tanto del número de nevadas como de la temperatura y la precipitación.

Número de días con nevada. En la gráfica del número de días con nevada por año (Figura 3.38) es posible identificar a los años de 1976 (67 días) y 1992 (49 días) como los años más nevados, mientras que en los años 1998 y 2003 sólo se encuentra el registro de una nevada al año, que representan a los años más críticos en nevadas, pues el año 1967 aun cuando sólo presenta dos días con nevada, no es muy representativo porque en ese año sólo hay datos en enero. Al aplicar la línea de tendencia o rumbo que están presentando los datos, se distingue una ligera tendencia a la baja en el número de nevadas por año y se puede apreciar que este descenso es a partir de la década de los 80, exceptuando al año 1992, que contó con 49 días con nevada.

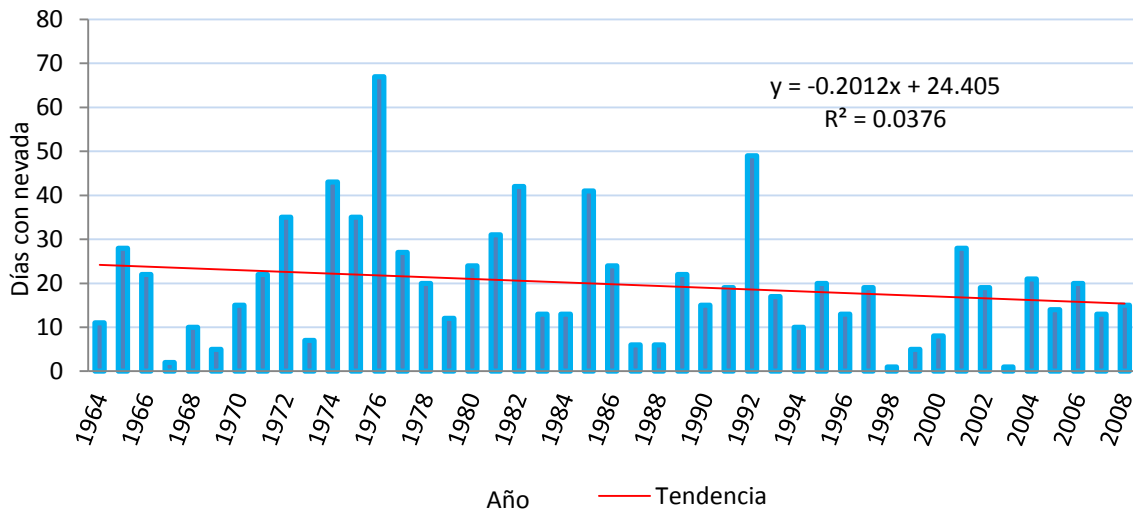


Figura 3.38 Tendencia de días con nevada en la estación Nevado de Toluca (1964-2008). Elaboración propia.

Para una mejor evaluación de la tendencia de las nevadas en esta estación, se consideró agrupar los datos por quinquenio (Figura 3.39), además de obtener la media móvil del mismo conjunto (Figura 3.40), ya que al proyectar los valores medios de la variable utilizada, se muestra una tendencia más aproximada de los cambios graduales o rumbo que están tomando los valores de las nevadas y, como puede observarse en este caso, los resultados evidencian un decremento más significativo en el número de días con nevada porque se representa mejor la realidad que con la línea recta.

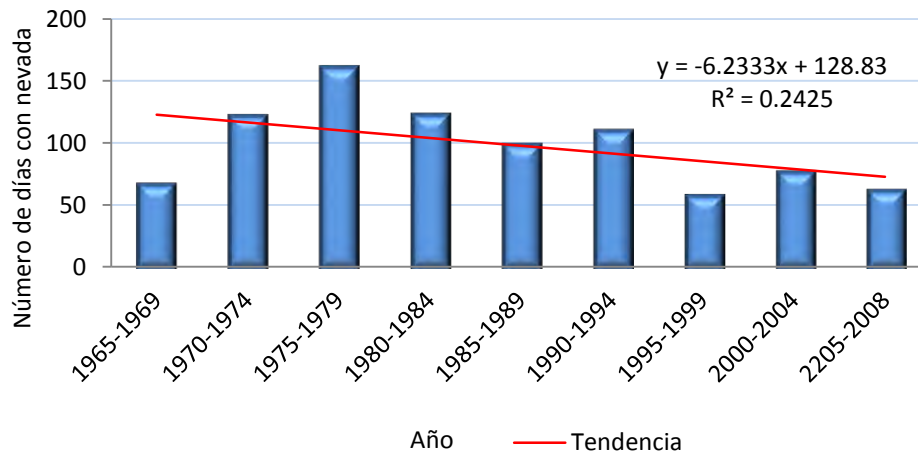


Figura 3.39 Número de días con nevada por quinquenio en la estación Nevado de Toluca. Elaboración propia.

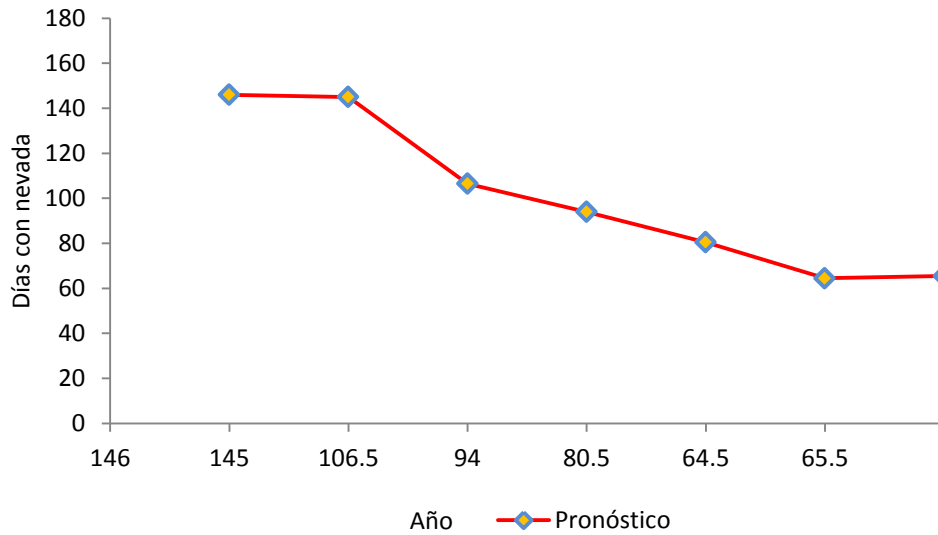


Figura 3.40 Media móvil de nevadas por quinquenio en la estación Nevado de Toluca. Elaboración propia.

Distribución temporal. La distribución temporal de las nevadas en la estación Nevado de Toluca se obtuvo con el promedio de todas las nevadas por mes (Figura 3.41). Esta información indica que el mayor índice de eventos en promedio ocurre en el mes de mayo (3.0) y abril (2.9), le siguen julio y diciembre (2.1), enero y febrero (1.9), octubre y noviembre (1.7), marzo (1.4), junio (1.2) y los más bajos, agosto y septiembre (1.1).

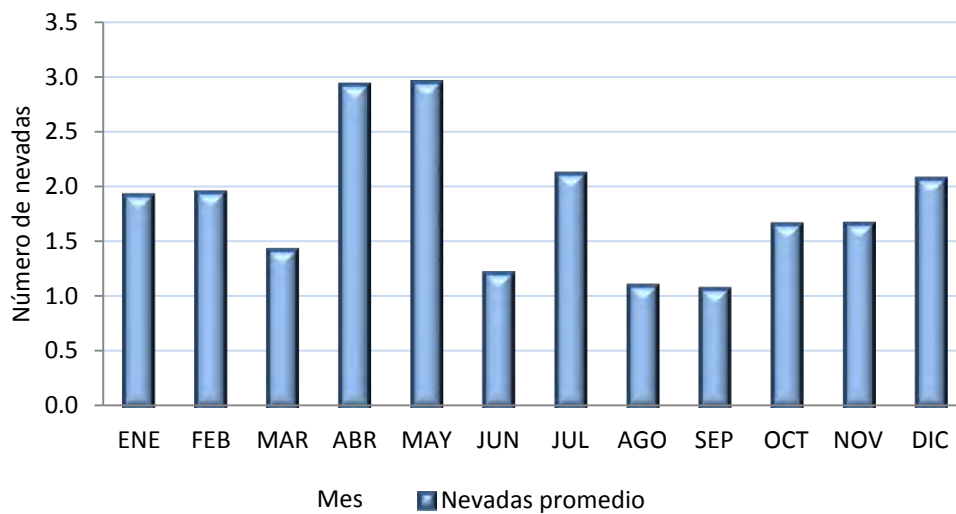


Figura 3.41 Promedio mensual de días con nevada en el Nevado de Toluca. Elaboración propia.

En general, los resultados obtenidos en esta parte del estudio indican que en la estación Nevado de Toluca se está dando una tendencia al decremento del número de días con nevada; estos cambios, aunque leves en la serie total, resultan más notorios en la agrupación efectuada por quinquenio. Así mismo, en la media móvil realizada por quinquenio se distingue la tendencia hacia la baja en los últimos años. El promedio que venía presentando la estación en el número de días con nevada por año en los años 70 era de 23 a 25 días; sin embargo, en las últimas décadas el promedio es de 17 días de nevada por año. El promedio general de toda la serie es de veinte días con nevada al año, que difiere de la cifra obtenida por el Cenapred de diez días con nevada en altitudes mayores a 3,000 msnm, valor que obtiene utilizando la función de probabilidad de Poisson.

Temperatura. Para conocer la perspectiva climática de la zona del Nevado de Toluca y tratando de analizar el comportamiento de los elementos que más significativamente repercuten en las nevadas, se ha elaborado una gráfica con los diferentes registros de la temperatura y la precipitación. Igualmente, se obtuvo la temperatura mínima de cada fecha en que ocurrió la nevada y con éstas se calculó la temperatura mínima extrema por año para encontrar la tendencia de la temperatura en el día que ocurre el fenómeno.

La temperatura media se obtuvo con la información diaria de la base de datos de CLICOM; procesando los registros de la temperatura máxima y mínima se obtuvo el promedio mensual y anual. Según los resultados que muestra la gráfica, la temperatura media no ha sufrido cambios significativos en todo el periodo de registro, mostrando sólo una muy ligera tendencia positiva que mantiene el promedio de 4°C (Figura 3.42).

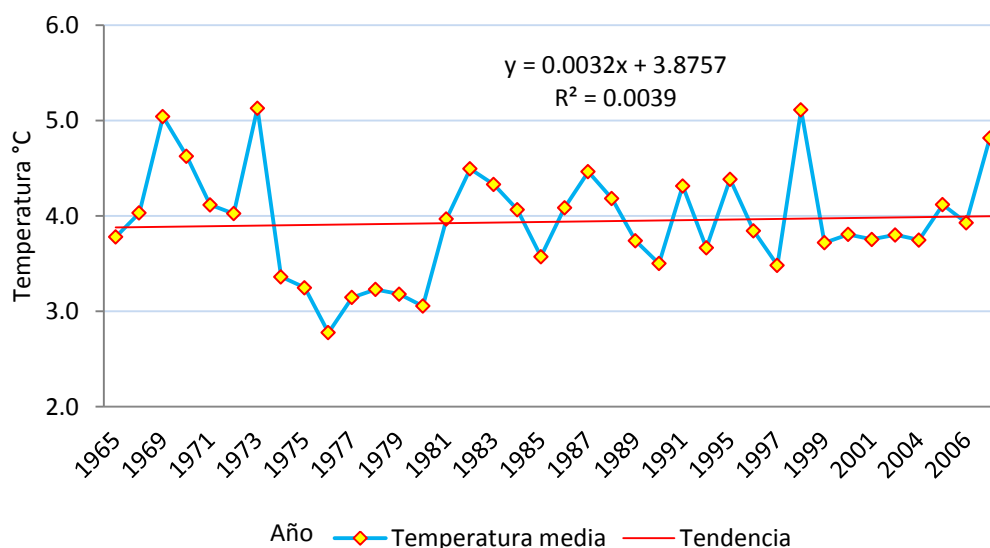


Figura 3.42 Temperatura media en la estación Nevado de Toluca (1965-2008). Elaboración propia.

Con el promedio mensual y anual de la temperatura máxima diaria se obtuvo la temperatura máxima promedio (Figura 3.43), cuya línea de tendencia indica un incremento considerable de casi un grado de temperatura, mismo que desde la década de los 80 va aumentando de manera casi constante.

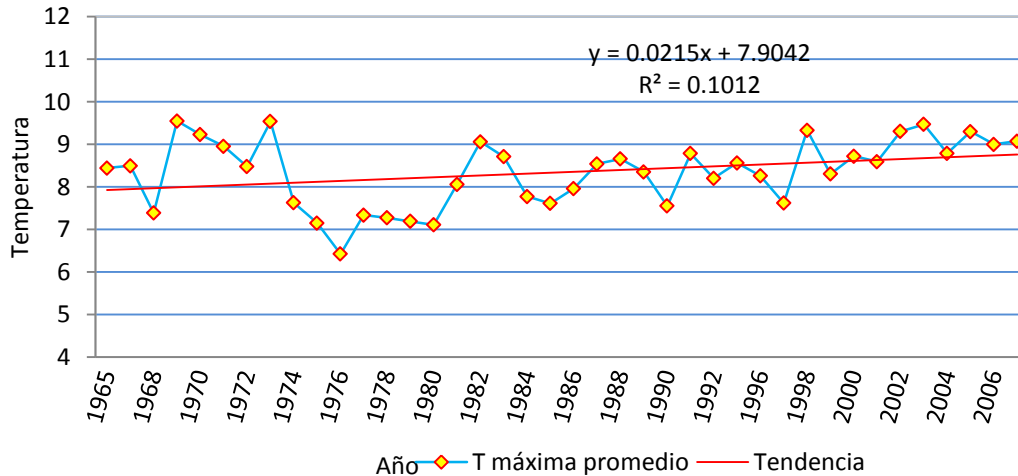


Figura 3.43 Temperatura máxima promedio en la estación Nevado de Toluca (1965-2008). Elaboración propia.

La tendencia de la serie de datos de la temperatura máxima extrema indica una disminución ligera en la temperatura (Figura 3.44), lo que difiere del incremento que en la temperatura máxima promedio se observa a partir de los años 80. Sin embargo, en la temperatura máxima que toma el valor más alto de todo el año, se observa que en la década de los 90 varios años presentaron temperaturas bajas y a partir de 2004 las máximas se han mantenido en los 15°C.

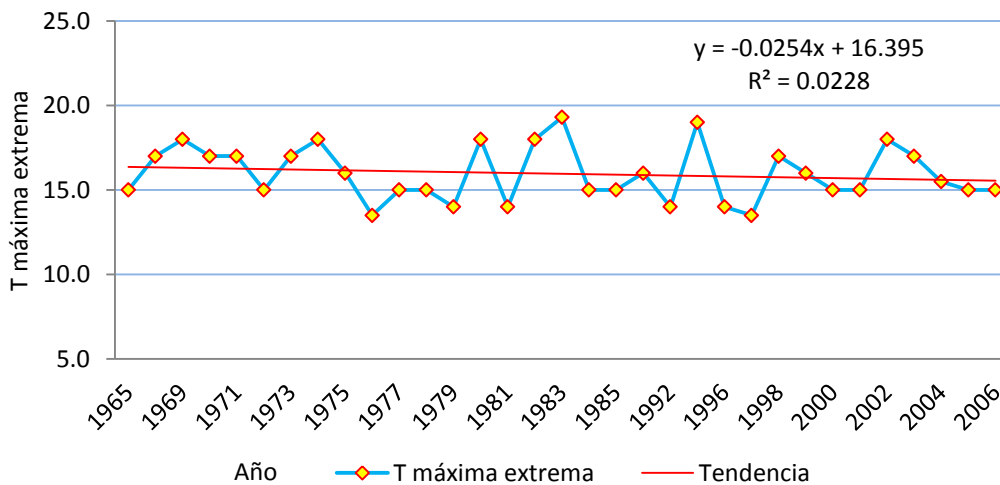


Figura 3.44 Temperatura máxima extrema de la estación Nevado de Toluca (1965-2006). Elaboración propia.

Temperatura mínima promedio (Figura 3.45). A pesar de la variabilidad que en diversos periodos se ha presentado en este parámetro y que en la década de los 90 hubo un considerable incremento de la temperatura, el comportamiento de los últimos años da como resultado un decremento general de casi un grado en la línea de tendencia de esta variable.

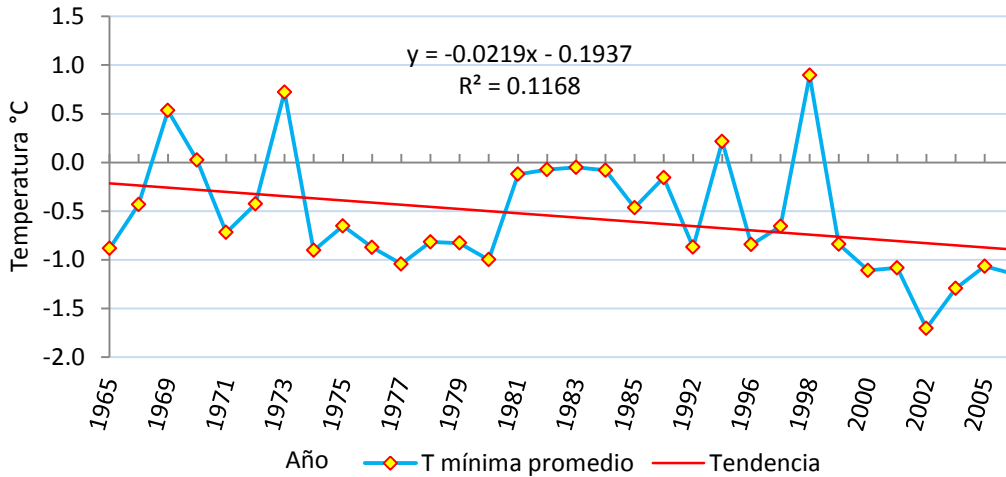


Figura 3.45 Temperatura mínima promedio en la estación Nevado de Toluca (1965-2006). Elaboración propia.

Temperatura mínima extrema (Figura 3.46). El comportamiento general que presenta la información de este elemento es de una tendencia muy ligera al descenso de la temperatura, esto es debido principalmente a que en 1973 la temperatura más baja en todo el año apenas alcanzó menos 2°C, mientras que en 2004 se tuvo una temperatura mínima que llegó hasta 10°C bajo cero. Al revisar los datos se encontró que en febrero de 2004 en todo el mes se presentan temperatura muy bajas y tres días con temperatura mínima de -10°C pero en el mismo mes no hay nada de precipitación en esta estación, mientras que en la estación Loma Alta, ubicada en las faldas del volcán a 3432 msnm, se reportan cuatro días con nevada.

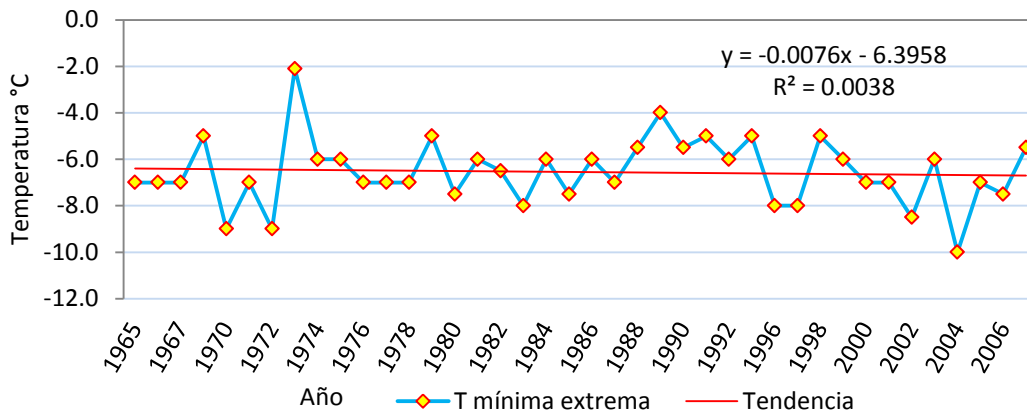


Figura 3.46 Temperatura mínima extrema en la estación Nevado de Toluca (1965-2008). Elaboración propia.



Se obtuvieron 450 registros de la temperatura mínima reportada en el día que ocurrió un evento de nevada en la estación Nevado de Toluca; de estos registros se identificó el que presentó la temperatura más baja por año y con esta serie de datos se realizó un análisis estadístico mediante una gráfica de temperatura mínima extrema en días con nevada (Figura 3.47); en ésta se observa una gran variabilidad, de hasta 6°C entre un año y otro. Además, se aprecia que en 2002 la temperatura llegó a - 8°C, lo que hace que la línea de tendencia en toda la serie indique un ligero descenso en la temperatura mínima extrema.

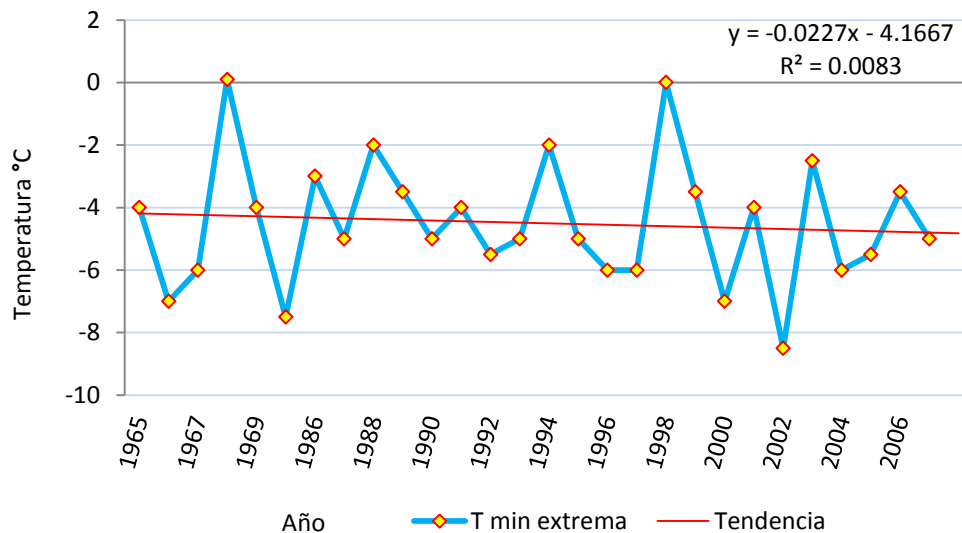


Figura 3.47 Temperatura mínima extrema en días con nevada en la estación Nevado de Toluca (1965-2007).  
Elaboración propia.

Precipitación total anual. El comportamiento general que ha presentado la precipitación total anual en el Nevado de Toluca a través de todo el periodo histórico de información se indica en la gráfica de la Figura 3.48; en ésta se puede apreciar, de manera general, que la variabilidad anual ha sido muy ligera, el valor más alto se ha registrado en 1969 con 1621.2 mm, mientras que el más bajo ha sido el año 1983, con apenas 874 mm. También es de notarse que se dan dos periodos de descenso, uno en la década de los 80 y el otro en el 2000 y que, desde el año 1992 en que la precipitación total anual alcanzó los 1400 mm, no se ha registrado otro año con esa precipitación. Estos valores dan como resultado una tendencia muy ligera al descenso de la precipitación total anual.

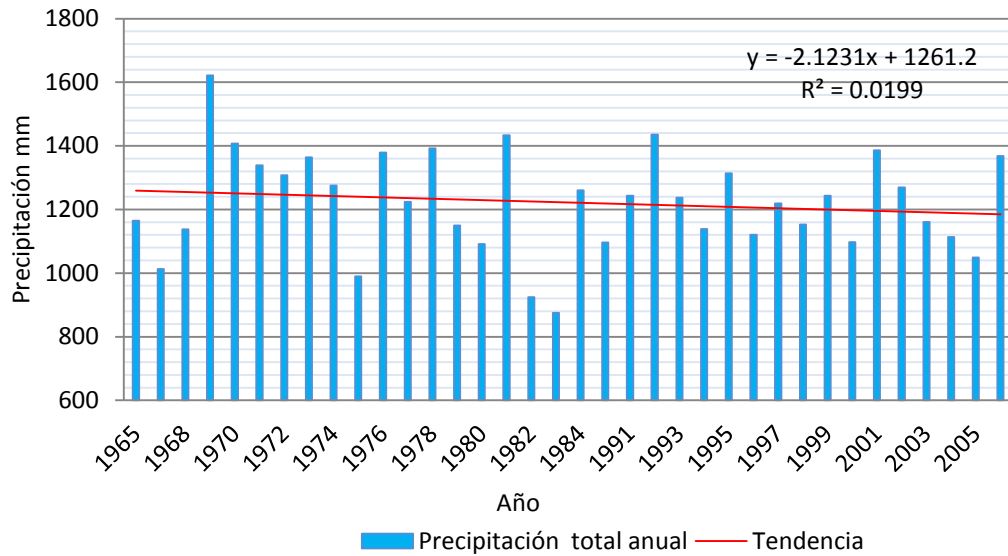


Figura 3.48 Precipitación total anual en la estación Nevado de Toluca (1965-2006). Elaboración propia.

Precipitación invernal en la estación Nevado de Toluca. Para realizar un análisis estadístico más específico de la precipitación por temporalidad en la estación Nevado de Toluca, se ha tomando en cuenta únicamente la temporada invernal (1° de noviembre-31 marzo) de la serie histórica del periodo 1964-2006, donde en cada temporada se considera la información de los meses de noviembre- diciembre del primer año como principio de temporada y enero-marzo del año siguiente, como fin de la temporada. El año de la gráfica corresponde al final de la temporada.

Como puede observarse en la Figura 3.49 el comportamiento de la precipitación invernal difiere considerablemente de la total anual, pues aun cuando en ambas hay variaciones éstas son más marcadas en la precipitación de la temporada invernal, donde además se puede distinguir que en años anteriores a 1980 los valores de precipitación en general eran más altos, pues su rango oscilaba entre 50 mm como mínimo y 200 mm como máximo, este último valor registrado en el año 1977, mientras que en los últimos años se observa un descenso considerable que ha llegado tan sólo a 10 mm en el año 2000, 12 mm en 2001 y 16 mm en 2005, años muy secos que ha dado como resultado general una marcada tendencia a la baja en la precipitación invernal.

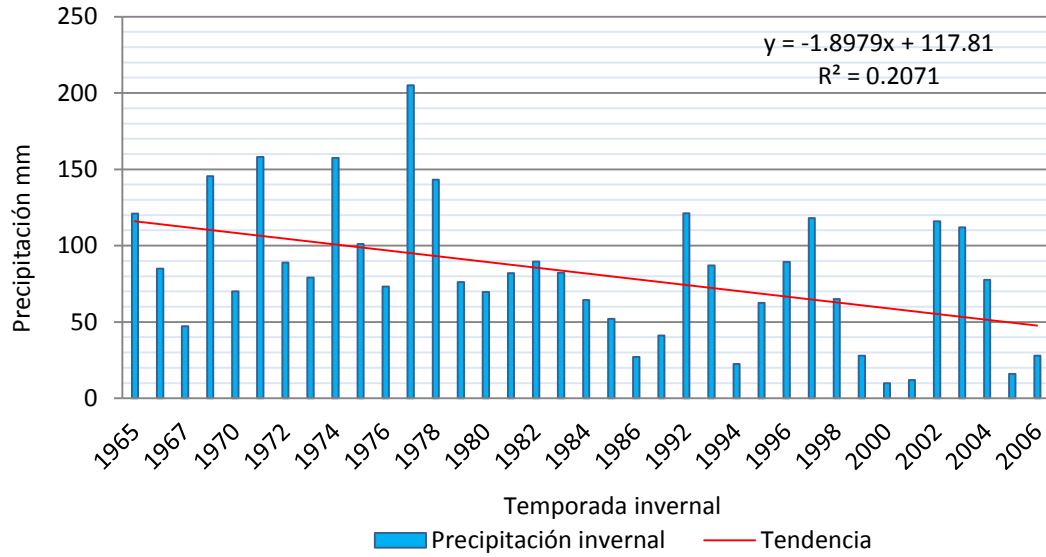


Figura 3.49 Tendencia de la precipitación invernal en la estación Nevado de Toluca (1964--2006). Elaboración propia.

En las anomalías de la precipitación invernal (Figura 3.50) se pueden identificar dos periodos marcados donde se presentan las mayores anomalías; desde el inicio hasta 1978 con el predominio de anomalías positivas que pasan de los 50 mm y que alcanzan el valor máximo en el año 1977 con 120 mm y, de 1979 en adelante, donde predominan las anomalías negativas que en los últimos años han alcanzado sus valores más bajos como el año 2000 con -75, 2001 con -73 y 2006 con - 57 mm. Esto da como resultado final un predominio de anomalías negativas en todo el periodo analizado.

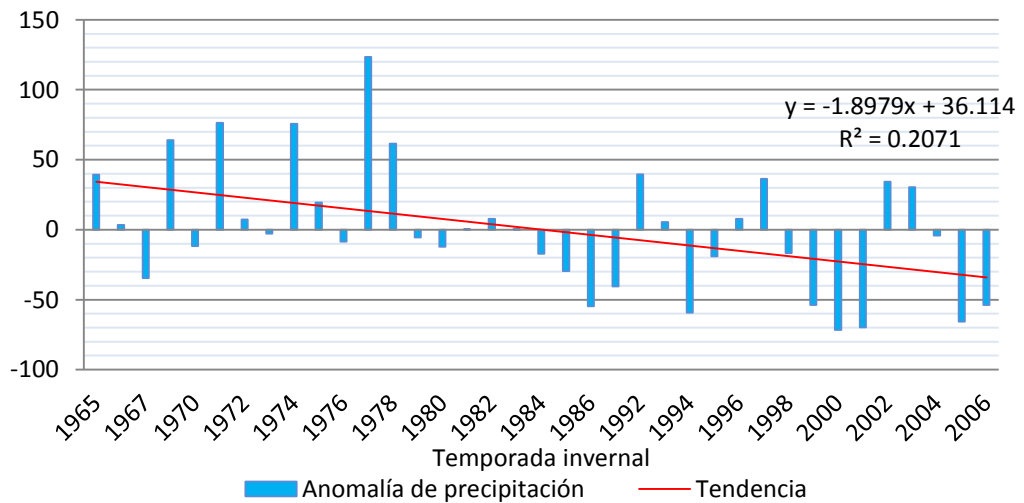


Figura 3.50 Anomalías de precipitación invernal y su tendencia en la estación Nevado de Toluca. Elaboración propia.

Tratando de analizar el comportamiento de la precipitación invernal y su relación con las nevadas, se elaboró una gráfica considerando el número de días con nevada únicamente de la temporada invernal (Figura 3.51) y se comparó con la gráfica de la precipitación de la misma temporada; en éstas se identificaron ciertas similitudes entre ambos elementos climáticos como la variabilidad entre ascensos y descensos del número de días con nevada y el aumento y disminución de precipitación que en las diferentes temporadas se presentaron a través de todo el periodo de información, sobre todo en la cantidad que venían presentando hasta la década de los 80 y la tendencia a la disminución en los últimos años de ambos elementos.

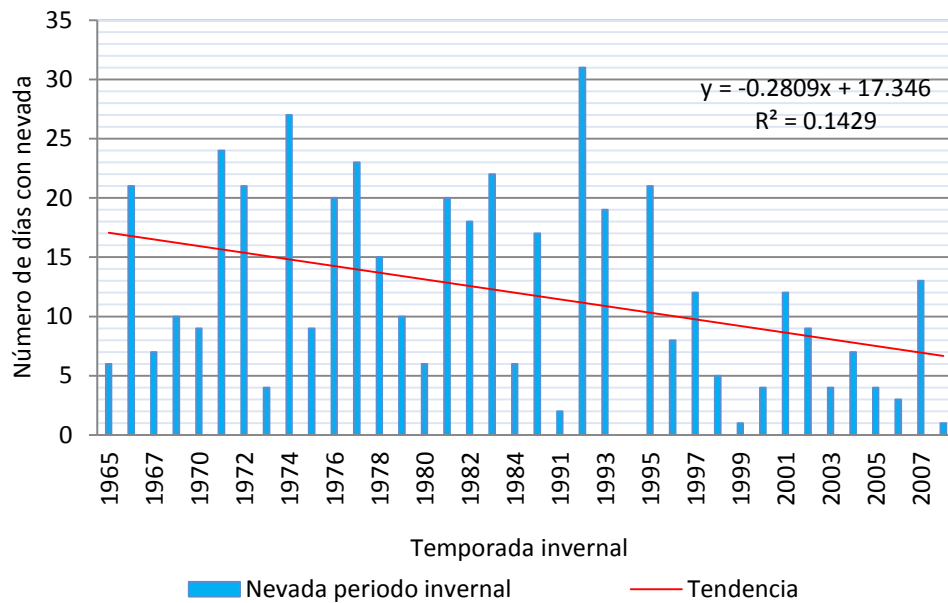


Figura 3.51 Tendencia de nevadas de la temporada invernal en la estación Nevado de Toluca (1964-2008).  
Elaboración propia.

Para identificar la relación entre estas variables se elaboró el Cuadro 3.4 en el que se detectaron los años con mayor coincidencia y que corresponden tanto a los años de mayor cantidad de eventos (verde) y los de menor número de nevadas por temporada (rosa), en estos años se ve la importante correspondencia que tiene la nevada y la precipitación.

De acuerdo al análisis estadístico llevado a cabo con los datos registrados en la estación Nevado de Toluca se ha podido detectar una tendencia general a la disminución de los días con nevada, esto en cuanto a los datos totales de todo el periodo y que comprenden registros de nevadas en todos los meses del año, sin que se

pudiera saber con exactitud si es que esta información es verídica, pero sí se pudo constatar que los datos se encuentran registrados en el expediente de la estación.

Cuadro 3.4 Relación de eventos de nevada y precipitación invernal en años de mayor coincidencia entre ambos elementos. El color verde corresponde a los años con mayor número de días con nevada y de mayor precipitación, mientras que los rosas son los años más secos y con menos nevadas en la temporada invernal. Elaboración propia.

TEMPORADA	EVENTOS DE NEVADA	PRECIPITACIÓN MM.
1970-1971	24	158.0
1973-1974	27	157.4
1976-1977	23	205.1
1991-1992	31	121.3
1977-1978	15	143.2
1996-1997	12	118.0
1993-1994	0	22.5
1998-1999	1	28.0
1999-2000	4	10.0
2004-2005	4	16.1

Por otro lado, tomando en cuenta únicamente la información de días con nevada de la temporada invernal, la tendencia a la baja es más significativa así como su relación con la disminución de la precipitación de la temporada invernal, que también muestra un mayor decremento que considerando todo el periodo. De igual forma se ha podido observar cierta relación de las nevadas con los años con fenómeno de El Niño, como en las temporadas 1966, 1978, 1983 y 1992; esta última, con 31 días, corresponde al mayor número de nevadas por temporada invernal.

### 3.3 Análisis de eventos (revisión hemerográfica).

Como se explica al inicio de este capítulo, en el punto 3.1.2, la información instrumental fue considerada únicamente hasta 1989 ya que se obtuvo de las tarjetas de resumen mensual y anual del SMN y éstas sólo llegan a ese año, así que para complementar dicha información, se realizó una investigación hemerográfica a partir del año 1990, estudio que se llevó a cabo tanto en la Hemeroteca Nacional (UNAM) como en las hemerotecas de algunos periódicos de circulación nacional, además de los buscadores de los diarios en su sitio de internet. En la información obtenida por este medio fue necesario aplicar algunas técnicas metodológicas observadas, principalmente en la climatología histórica, como agrupar, cuantificar y evitar cualquier valor subjetivo en cada nota periodística (Barriendos, 1999).

Esta información, ordenada y sintetizada de acuerdo con la temporalidad de cada evento, se introdujo en un

cuadro, en el que se consideró tanto la resolución estacional como la anual (Cuadro 3.5). Este cuadro se dividió en cuatro columnas: la primera corresponde a la fecha del evento; en la columna dos se anotó el diario o fuente de donde se obtuvo la nota y se colocó entre paréntesis la fecha de publicación únicamente cuando se localizó el día exacto del evento sin que coincidieran las fechas; la tercera columna fue para el o los lugares donde ocurrió la nevada y en la cuarta columna se colocó el sistema atmosférico que originó el fenómeno meteorológico (en el caso de que se haya localizado) y las observaciones más importantes al evento.

Cuadro 3.5 Información hemerográfica de eventos de nevada 1990-2010.

FECHA	FUENTE	L U G A R	FENÓMENO, OBSERVACIONES.
Febrero 2 1990	SMN- Estación climatológica.	Nevado de Toluca. San Francisco Tlalcilcalpa	Reporte de nevada únicamente en las estaciones 15062 y 15089.
Enero 1992	Cenapred (2010). Nota en Reforma (enero 2004).	Edo. de México. Montañas alrededor de la ciudad de México.	La intensa nevada en el Edo. de México y Michoacán mata millones de mariposas monarca.
Febrero 1992	Reforma (nota 10 de noviembre 1999).	Zonas altas del Valle de Toluca.	La nieve llegó a San Juan de las Huertas. En las partes altas del volcán alcanzó un metro.
Marzo 1994	SMN- Estación climatológica	Estación 13022 de Pachuca, Hgo.	La estación de Pachuca en sus datos instrumentales reporta nevada en marzo.
Enero 31 1995	Cenapred (2001).	Nevado de Toluca, Popocatepetl, serranías.	Cancelación de vuelos en Toluca. En las faldas del Nevado 30 cm. de nieve.
Diciembre 30-1995	El Sol de Toluca, Reforma (31 diciembre) Estación de Toluca.	Autopista Puebla, Toluca, Cuernavaca. Arriba de 3 500 msnm. La Marquesa 30 cm.	Onda gélida por la presencia de corriente de chorro. En Toluca cayeron algunos copos. Ajusco 20 cm.de nieve y 3°C de temperatura
Enero 1 1996	Reforma, Novedades (2 de enero).	Chalco, Río Frío, autopista Toluca 50 cm.	Santuario de la mariposa monarca: mueren millones de mariposas.
Enero 14 1996	Reforma .	Popocatepetl.	Desvío de antenas de monitoreo en Popo por nevadas y fuertes vientos.
Diciembre 19- 1996	Reforma (20 de diciembre).	La Marquesa, Nevado de Toluca.	Un frente frío, seguido de una intensa masa polar del Ártico.
Enero 14 1997	Reforma (16 de enero).	Ligeras nevadas en la parte alta del Ajusco.	Frente frío seguido de una intensa masa polar y la corriente de chorro.
Diciembre 18-1997	Cenapred (2001).	Puebla, Río Frío.	El 13 de diciembre intensa nevada en SLP y Guadalajara; la anterior fue en 1888.
Enero 19 1998	La Jornada, observatorio Tulancingo	Nevado de Toluca -8°C. Tulancingo.	Presencia de un frente frío.
Febrero 3 1998	Cenapred (2010).	Hgo, Tlax, Huamantla, Tlaxco 50 cm de nieve.	Nevada provocó cortes de energía y accidentes viales, caminos intransitables.
Marzo 2 2001	La Jornada, Desinventar.	Edo. de México, Toluca, Puebla, Río Frío.	Nevada, granizada y aguanieve. Vientos y lluvias.
Enero 12 2002	Reforma (14 enero).	Ajusco, empezó a 22 h. Nevado de Toluca	Frente frío 23 asociado con una corriente de chorro. En Toluca -5°C.
Febrero 12 2002	Reforma. Cenapred (2001).	Acaxochitlán Hgo, Izta Popo, Telapón, Nevado de Toluca.	Frente frío 31. Cierran carretera Toluca-Tejupilco-Valle de Bravo.

FECHA	FUENTE	L U G A R	FENÓMENO, OBSERVACIONES.
Enero 13 2003	Reforma (14 enero).	Nevado de Toluca.	Frente frío 29, que se convirtió en estacionario.
Enero 7 2004	Reforma, CECYT-10.	Zonas altas de montañas del valle de México.	Onda gélida con alto nivel de humedad, relativamente arriba de 60-80%
Enero 11 2004	Notimex, Noticias Televisa.	Ajusco, Popocatépetl Iztaccíhuatl.	Frente frío 27. 24 horas de nevada constante en el Iztaccíhuatl y Popocatépetl.
Enero 16 2004	Reforma (17 enero). La Jornada(17 enero). Noticias Televisa.	Zinacantepec, Izta-Popo (un metro de altura de la nieve),	Comenzó a nevar en el Parque de los Venados a las 6.30 h con vientos de 70 km. Nevó también en el cerro Jocotitlán.
Enero 30 2004	Notimex. Reforma (31 de enero).	La Marquesa, Río Frío, Ajusco, Popo 9h. -4°C	Masa polar provoca intensa tormenta en los alrededores del DF.
Marzo 29 2004	Reportaje Neyra, J. Sitio internet.	Ajusco, Izta, Paso de C. arriba de 3,600 m.	Nevada en el centro del país, por 4ª vez en el año, fenómeno inusual ya en primavera.
Diciembre 15-2004	Reforma, Jornada (16 de diciembre).	Nevado de Toluca, primera nevada.	Frente frío 20 y masa de aire frío.
Enero 12 2005	La Jornada, Notimex.	Edo. de México, arriba de de 3500 m. Pue., Hgo.	Pico de Orizaba, Huayacocotla.
Noviembre 20-2006	La Jornada (21, 22 nov.) El Universal, Notimex.	Nevado de Toluca. Ajusco 10 cm. de nieve	Canal de baja presión que se extiende sobre el litoral del Golfo de México, evento de Norte.
Diciembre 29-2006	Boletín 236 del SMN.	Zonas montañosas del Valle de México	4ª tormenta invernal asociada con el frente frío 27 y 28. Vaguada interacciona con Baja y Corriente de Chorro.
Enero 29 2007	Notimex, El Universal.	Ajusco, Tlamacas, Paso de Cortés 30 cm nieve.	Frente frío 33, evento de —Nte” moderado Nevado de Toluca, Raíces 30 cm. de nieve.
Febrero 4 2007	Bitácora mensual SMN.	Nevada en el Ajusco.	Frente frío 35. Tormenta invernal Número 9.
Febrero 6 2007	La Jornada, SMN, El Universal.	Popo, Izta, Nevado de Toluca 10 cm. Parque de los Venados 15 cm.	Frente frío 35 que se estacionó, remanentes de tormenta invernal núm. 9; en Querétaro temperatura -5°C.
Enero 2 2008	El Universal, La Jornada Reforma, La Crónica.	Hgo. Sierra norte de Puebla, Ajusco, Nevado de Toluca.	Frente frío 18, asociado a una corriente de chorro en altura y efecto de Norte fuerte.
Octubre 27-2008	Reforma (29 octubre).	Nevado de Toluca, comenzó 15 h., alcanzó media pulgada.	Frente frío 5 y entrada del 6. Entrada de humedad del Pacífico. Primera nevada de la temporada.
Enero 15 2009	La Jornada (16 enero).	Atlzanca, Tlaxcala. Nevado de Toluca.	Frente frío 24. Condición de —orte”. Primera nevada del año, aguanieve en Tlaxcala, Magdalena Contreras.
Enero 16 2009	La Jornada (17 enero).	Ajusco, Dinamos.	Por segundo día cae aguanieve en Magdalena Contreras.
Febrero 22 2009	La Jornada (23 Febrero). El Universal.	Ajusco, Izta-Popo.	Ligera nevada en la parte alta del Ajusco Frente frío 36, asociado a corriente de chorro.
Noviembre 27- 2009	El Universal, Notimex, SMN.	Ajusco, cimas arriba de 4000 m.	Baja presión profunda que interacciona con la corriente de chorro en altura. Frente frío 12.
Diciembre 20-2009	El Financiero (21 Dic.) SMN.	La Marquesa, zonas altas arriba de 3500.	Vaguada profunda, Frente frío 18. La corriente de chorro cubre la mayor parte del país.
Enero 3 2010	Agencia MVT. Edo Mex. (4 Ene), CFE.	Nevado de Toluca, Zonas arriba 4300m	Masa de aire frío y corriente de chorro.

FECHA	FUENTE	L U G A R	FENÓMENO, OBSERVACIONES.
Enero 8 2010	El Sol de Toluca (9 Ene) La Jornada, Milenio.	Nevado de Toluca, Izta, Popo, Tlanchinol, Hgo. Norte de Puebla	Frente frío número 22 con masa de aire frío, asociados a una corriente de chorro en altura.
Enero 15 2010	El Universal, La Jornada.	Valle de México, zonas arriba de 4000 m.	4ª Tormenta invernal, Frente frío 23 y 24, Baja fría profunda.
Febrero 2 2010	El Universal.	Ajusco, Nevado de Toluca.	Frente frío 28, asociado con una masa de aire frío. Efecto de <del>h</del> orte” moderado.
Febrero 19 2010	La Crónica, El Sol de Hidalgo	Iztaccíhuatl y Popocatepetl.	Frente frío 32, asociado con la corriente de chorro.
Marzo 20 2010	El Universal.	Nevado de Toluca, Raíces.	Frente frío 41, asociado con la corriente de chorro y efecto de <del>h</del> orte.”

Fuente: compilación Islas (2010).

### 3.3.1 Nevadas recientes (2008-2010).

A partir del año 2008, en que se comenzó a realizar este trabajo, se trató de dar un seguimiento de las nevadas ocurridas en el centro del país, en algunas de las cuales fue posible acudir al lugar donde ocurrió el evento o cerca del mismo y se entrevistó a personas que estuvieron presentes a la hora del fenómeno; así mismo, se trató de encontrar las notas periodísticas de ese día y los boletines meteorológicos emitidos por las autoridades competentes. Algunos de estos eventos de nevada se describen a continuación. El seguimiento periodístico relacionado con las nevadas se trató de realizar por cada temporada invernal 2007-2008, 2008-2009, 2009-2010. Del mismo modo, se prestó atención a los pronósticos y resultados de las diferentes temporadas así como a los reportes meteorológicos y avisos emitidos por el SMN.

#### Temporada invernal 2007-2008

Nevada 2 de enero de 2008.

El Universal (miércoles 2 de enero de 2008). *–Afectan nevadas y bajas temperaturas a Sierra Norte de Puebla, por el Frente frío número 18 que afecta a todo el país”.*

Reforma (3 de enero de 2008). *–Nieva en cinco estados”.*

El Universal (jueves 3 de enero de 2008). *–Se registra en el DF el día más frío. Una temperatura entre menos uno y menos cuatro grados centígrados se registra alrededor de las 06:00 horas en el Valle de México este jueves, considerado por las autoridades del Distrito Federal como el más frío de la temporada invernal. Una*



*ligera caída de aguanieve se registró durante la madrugada en La Marquesa, colindante con el estado de México, así como una temperatura de menos tres grados”.*

Reporte meteorológico (2 de enero de 2008, SMN). *Temperaturas frías a muy frías en la mayor parte del país, alto potencial de nevadas” en el Centro del territorio, —Norte” fuerte en el litoral del Golfo de México, Istmo y Golfo de Tehuantepec y lluvias fuertes en el Sureste de México, situación favorecida por el frente frío número 18 y la masa de aire polar que lo genera, con valor máximo de 1049 hPa; ambos sistemas interactúan con una corriente en chorro en niveles medios (500 hPa) (Figuras 3.52 y 3.53).*



Figura 3.52 Imagen de satélite del Boletín meteorológico del 2 de enero de 2008, donde se aprecia la masa de aire polar que genera el FF No. 18 y la corriente de chorro que originó la nevada en el centro del país. Fuente SMN.



Figura 3.53 Mapa de pronóstico 1 de enero de 2008. En éste se observa la zona de penetración del Frente Frío y la zona con probabilidad de nevadas tanto en el norte como en el centro del país. Fuente: SMN.

En el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México la temperatura llegó a -1°C (Figura 3.54).

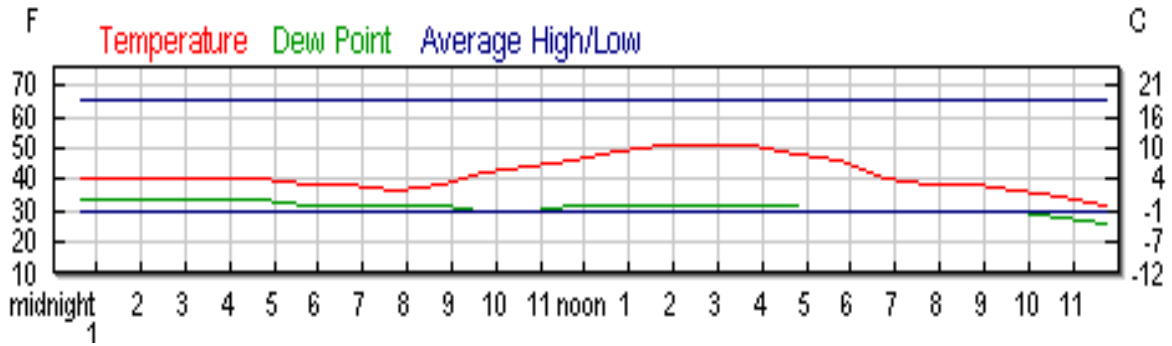


Figura 3.54 Temperatura en el aeropuerto de la Ciudad de México del día 2 de enero de 2008, la cual llegó a -1°C. Fuente: AICM, sitio internet.

En los observatorios de los estados del centro del país, el 2 de enero de 2008 se registraron temperaturas muy bajas; en algunos se reportó lluvia escasa o moderada y en otros fuerte o muy fuerte, pero en ninguno se reportó nevada (Cuadro 3.6).

Cuadro 3.6 Información meteorológica en los observatorios del centro del país el 2 de enero de 2008.

Observatorio	Tacubaya						
Año	Mes	Día	Tmax°C	Tmin°C	Lluvia	Viento/Km/h	Dirección
2008	Enero	2	16	-1	Escasa	45	N
Observatorio	Tulancingo						
2008	Enero	2	12	0	Escasa	50	N
Observatorio	Pachuca						
2008	Enero	2	16	-1	Fuerte	50	N
Observatorio	Toluca						
2008	Enero	2	14	-4	Escasa	45	N
Observatorio	Tlaxcala						
2008	Enero	2	15	-2	Moderada	50	N
Observatorio	Puebla						
2008	Enero	2	15	-2	Muy Fuerte	50	N

Fuente: Elaboración propia con información del SMN.

Aún no terminaba la temporada invernal cuando los problemas de agua en los poblados de la Sierra Nevada por la falta de nieve ya estaban presentes, sobre todo en Amecameca, que es una de las localidades más grandes asentadas en las faldas de la Sierra Nevada; varios periódicos así lo manifestaron, como se indica a continuación.

La Jornada (6 de Febrero de 2008). —*¿dece Amecameca la peor escasez de agua en veinte años. Se abastece de los escurrimientos del Popocatepetl y el Iztaccihuatl. El suministro se ha desplomado 64.5 por ciento por la falta de nevadas. Las familias reciben líquido racionado cada tercera noche; piden presas. Amecameca se sumó a la lista de comunidades afectadas por el cambio climático: la ausencia de nevadas en la presente temporada invernal amenaza con hacer aún más prolongado el estiaje. Los más de 60 mil habitantes de Amecameca padecen la peor escasez de agua potable de dos décadas debido a que en esta época invernal no ha nevado en los volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl, de cuyos escurrimientos se surten*”.

Análisis del periodo invernal. El pronóstico del SMN emitido para la temporada invernal 2007-2008, comprendida del 1° de noviembre al 31 de marzo, fue como —*Una temporada invernal ligeramente menos fría que lo normal y significativamente más seca que lo normal*”. Sin embargo, el mismo organismo, al dar la verificación del pronóstico para ese invierno una vez concluida la temporada estacional, la caracterizó no como ligeramente menos fría, sino —*menos fría que lo normal*”. Esto debido a que la mayor parte del territorio presento valores más cálidos (SMN, 2008).

#### Temporada invernal 2008-2009.

Pronóstico para el periodo invernal 2008-2009 emitido por el SMN. *Las temperaturas para esta temporada a escala nacional, estarán dentro del rango normal (de menos tres a tres grados centígrados) a ligeramente por arriba de la climatología. Durante este periodo, se prevé que las heladas se concentren en el transcurso de noviembre a marzo en diversas entidades del país, con un incremento en las temperaturas, respecto a los últimos cinco o seis periodos. Este incremento, se puede atribuir a los efectos del cambio climático. En el noroeste, occidente y algunas regiones del centro se tendrán temperaturas dentro del rango normal pero ligeramente por debajo del promedio. Se pronostican entre 42 y 48 frentes fríos (SMN, 2008).*

Reforma (29 de octubre de 2008). —*¿e primera nevada*”. *El Xinantécatl registró su primera nevada previa al periodo invernal. La nieve llega temprano este año en comparación con el 2007, cuando la primera nevada cayó hasta la primera semana de diciembre. A partir de las 15 horas de este lunes la nieve comenzó a caer en lo alto del volcán hasta alcanzar un espesor de media pulgada. Las condiciones que generaron esta*

*nevada fue la conjunción de la humedad procedente del Pacífico con parte de masa de aire que impulsaba el frente frío número cinco y la llegada del número seis.*

La Jornada (sábado 17 de enero de 2009). —*Temperaturas hasta de cero grados centígrados, acompañadas de una pertinaz lluvia y fuertes vientos se registraron en buena parte de la ciudad de México durante la madrugada de ayer, principalmente en las partes altas de las delegaciones Cuajimalpa, Tlalpan y Magdalena Contreras donde, por segundo día consecutivo hubo caída de aguanieve durante las primeras horas del viernes, situación que continuó hasta entrada la tarde en zonas como el Cuarto Dinamo, el cerro del Ajusco, El Ocotal y Tierra Colorada”.*

La caída de aguanieve que tuvo lugar en estos días en las zonas altas del centro del país no fue reportada en los pronósticos del SMN, pero en el boletín de la CFE sí (Figura 3.55).



Figura 3.55 Imagen de satélite del 16 de enero 2009 en el que se aprecia la masa de aire frío que genera el frente frío Núm. 24 que interacciona con la corriente de chorro y la entrada de humedad de ambos océanos, además de situación de —arte”.

La Jornada (lunes 23 de febrero de 2009). —*Cae ligera nevada en la parte alta del Ajusco. Los efectos del frente frío número 36 en el Distrito Federal provocaron una ligera nevada en el cerro del Ajusco, hubo densos bancos de niebla. El termómetro marcó temperaturas de entre tres y cinco grados centígrados”.*

Boletín meteorológico de la CFE emitido el 22 de febrero de 2009. *El frente frío No. 36, se localiza desde el Edo. de México, cruza los estados de Morelos, Puebla, el sur de Veracruz y la porción central del Golfo de México hasta el noroeste de la península de la Florida, EUA., se acompaña de una masa de aire frío que se ubica al norte de Coahuila; ambos sistemas se asocian con una corriente en chorro en la altura; esta situación ocasionará descenso de temperatura en el norte, noreste, centro y sur del país, con chubascos, tormentas eléctricas, granizadas y lluvias de moderadas a fuertes en el oriente y centro de la nación. Tanto en el boletín de la CFE como del SMN del día 22 de febrero de 2009 (Figuras 3.56 y 3.57) no se reporta la caída de nieve, que aunque ligera, tuvo lugar en la parte alta del Ajusco y en los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl.*



Figura 3.56 Imagen de satélite del 22 de febrero de 2009, donde se aprecia el Frente Frío No. 36 y su interacción con la corriente drro que originaron la nevada ligera en las zonas altas de las montañas del centro del país. Fuente: CFE.



Figura 3.57 Pronóstico del día 22 de febrero de 2009, en el que se aprecia el FF No. 36 y la condición de “Norte” sin que se pronostique la nevada ligera que tuvo lugar en las partes altas del centro del país. Fuente: SMN.

Para fines de febrero de 2009 ya se advierte la escasez de agua en la zona metropolitana del Valle de México, luego de que el volumen del Sistema Cutzamala se redujo a 53% en la temporada invernal, lo que se pronostica como una temporada de estiaje extrema (El Universal, febrero 2009).

El 9 de julio de 2009 científicos de la Administración Nacional de Asuntos Oceanográficos y Atmosféricos (NOAA) anunciaron la llegada de El Niño y se informó que “se espera que el fenómeno continúe desarrollándose durante los próximos meses, con la posibilidad de que gane más fuerza. Así mismo, se espera que El Niño dure toda la temporada invernal 2009-2010”.

Temporada invernal 2009-2010

Pronóstico estacional emitido por el Servicio Meteorológico Nacional. “Durante este período de invierno 2009-2010 la temperatura mínima promedio estacional se espera dentro del rango de oscilación normal a ligeramente por arriba de lo normal, en particular en la península de Baja California, norte, noreste, costa del Pacífico, región centro y sur de la costa del Golfo de México, sureste, sur y la Península de Yucatán, mientras que en el noroeste, la región lagunera de la mesa central del norte y algunas regiones aisladas a lo largo del eje de la Sierra Madre Occidental registrarán la temperatura mínima promedio estacional normal

*a ligeramente por debajo de lo normal. Por otro lado, el número de frentes fríos pronosticados para la actual temporada está entre 35 y 40, que estarían por debajo de la temporada anterior (SMN, 2009).*

El día 28 de octubre de 2009 cayó aguanieve en la ciudad de Chihuahua, lo que algunas personas calificaban ya como nevada, mientras que en Ciudad Cuauhtémoc y serranías al norte de la capital de ese estado sí nevó a tal grado que para el día 29 aún se podía ver en el camino a Casas Grandes las montañas cubiertas de nieve. No se consiguió ninguna nota periodística que reportara nevadas en el centro del país; sin embargo, de acuerdo con el pronóstico dado por el SMN en el boletín del 27 de octubre y al reporte de “Montañistas por la Paz” que subieron al Nevado de Toluca, además de los comentarios posteriores en entrevistas que se realizaron en Amecameca, sí ocurrieron nevadas en esos días (Figura 3.58).

El Universal (viernes 27 de noviembre de 2009). *Caerá nieve en zonas altas de Valle de México. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) informó que para el Valle de México se prevé que este viernes haya cielo medio nublado con posibilidad de llovizna dispersa, temperatura fría y caída de nieve por la noche en regiones por arriba de los cuatro mil metros de altura.*

Boletín Meteorológico para  
el Valle de México  
(Distrito Federal y Estado de México)  
  
México, D.F. a 27 de octubre de 2009  
Boletín VMEX No. 903

**Coordinación General del  
Servicio Meteorológico Nacional  
Subgerencia de Pronóstico  
Meteorológico**  
  
Emisión: 15:00 horas (tiempo del  
Centro)

**Sección A. FENÓMENOS SIGNIFICATIVOS EN EL CENTRO DEL PAÍS**  
**CANAL DE BAJA PRESIÓN Y CORRIENTE DE AIRE FRÍO EN ALTURA PROPICIAN  
CIELO NUBLADO CON LLUVIAS MODERADAS POR LA TARDE Y PRIMERAS HORAS  
DE LA NOCHE.**  
**TEMPERATURAS TEMPLADAS A FRESCAS FAVORECIDAS POR AIRE FRÍO SOBRE  
EL CENTRO DEL PAÍS.**  
**PROBABILIDAD DE NEVADAS SOBRE CIMAS DEL XINANTECATL, POPOCATEPETL  
E IZTACCIHUATL.**

Figura 3.58 Boletín meteorológico del día 27 de octubre de 2009 Fuente: SMN

Boletín meteorológico de la CFE del día 27 de noviembre de 2009. *Masa de aire frío en proceso de modificación procedente del frente frío número 12, mantendrá bajas las temperaturas en el norte y centro del país. Un sistema de baja presión dinámica localizada al noroeste del país, interacciona con la corriente de chorro en altura, se asociará con el frente frío número 13 que se acerca rápidamente al norte de la Península de Baja California. Esta situación ocasionará descenso de temperatura, con lluvias de ligeras a moderadas con posibilidad de —nevadas” o aguanieve a lo largo de la Sierra Madre Occidental (Figura 3.59).*

El Universal (viernes 11 de diciembre de 2009). *Nieve en volcanes favorece abasto de agua en Amecameca. En los últimos días se han registrado nevadas en los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl, lo que no sucedía en esta temporada desde hace tres años, con lo que se incrementó en 60 litros por segundo el agua de deshielo que consumen los habitantes de la región, que enfrentan una escasez del suministro por fallas en la infraestructura hidráulica. Laura Martínez Pastrana, directora del Sistema de Agua Potable de Amecameca, explicó que las nevadas inesperadas que han caído en la zona han aliviado los problemas que padecen más de 65 mil habitantes del municipio en esta época del año que se acrecientan en la temporada de calor.*

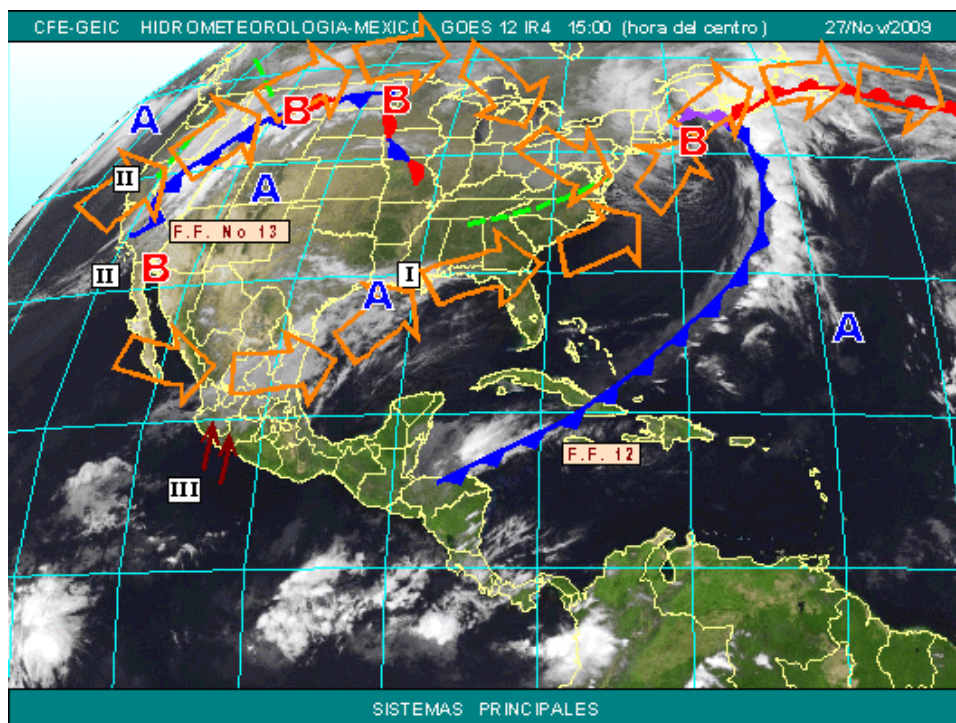


Figura 3.59 Boletín meteorológico de la CFE del día 27 de noviembre de 2009 donde se aprecia el sistema de baja presión localizado al noroeste del país, que interacciona con la corriente de chorro en altura, asociado con el frente frío número 13. Estos sistemas de tiempo para el día 29 de noviembre dieron lugar a la 2ª tormenta invernal de la temporada.



Reporte meteorológico (20 de diciembre 2009, SMN). *Marcado descenso de temperatura con potencial de —Nevadas” en el noroeste y norte del país, asociados al paso de un nuevo frente frío en el Golfo de México se espera evento de —note” fuerte, el día 24 y 25 de diciembre. Campo de humedad por arriba del 80% en el Centro y Sureste del territorio así como a lo largo del litoral del Golfo de México. Vaguada profunda desde los estados del Pacífico Sur hasta el noreste del país. La corriente en chorro cubre la mayor parte de la República, con velocidades máximas de 80 a 100 nudos a lo largo de la Sierra Madre Occidental y sobre sureste de México, contribuyendo al transporte de nublados con ambiente frío (Figuras 3.60 y 3.61).*



Figura 3.60 Imagen de satélite del 20 de diciembre de 2009 donde se distingue un sistema de alta presión en niveles bajos en la parte norte del país, así como la corriente en chorro que cubre la mayor parte de la República que interacciona con una vaguada profunda. Fuente: SMN.



Figura 3.61 Pronóstico del SMN, donde se anuncia el potencial de nevada sólo en la parte norte del país.

El pronóstico dado por el SMN, en su boletín de las 15 h del 20 de diciembre de 2009, menciona potencial de nevadas sólo en el noroeste y norte del país. Sin embargo, en el boletín meteorológico para el Valle de México y el Distrito Federal de las 21 horas ya se reporta la caída de aguanieve en la zona de La Marquesa (Figura 3.62). El 21 de diciembre también ocurrió una nevada en el volcán Tajumulco, el pico más alto de Centroamérica, ubicado en Guatemala (La Hora Guatemala, sitio internet).

Boletín Meteorológico para  
el Valle de México  
(Distrito Federal y Estado de México)

México, D.F. a 20 de diciembre de 2009  
Boletín VMEX No. 1062

**Servicio Meteorológico  
Nacional**  
**Subgerencia de Pronóstico  
Meteorológico**  
Emisión: 21:00 horas  
(tiempo del Centro)

<b>Sección A. FENÓMENOS SIGNIFICATIVOS EN EL CENTRO DEL PAÍS</b>		
<b>CIELO NUBLADO CON LLUVIA Y AMBIENTE FRÍO EN EL VALLE DE MÉXICO, CON POTENCIAL PARA LA CAÍDA DE AGUANIEVE EN ZONAS ALTAS POR ARRIBA DE LOS 3,500 msnm., DURANTE EL RESTO DE LA NOCHE Y MADRUGADA DEL LUNES. (SE REPORTA CAÍDA DE AGUANIEVE EN LA ZONA DE LA MARQUESA)</b>		
<b>Sección B. CONDICIÓN METEOROLÓGICA ACTUAL</b>		
	<b>Ciudad de México</b>	<b>Toluca</b>
<b>Estado del Cielo</b>	Medio nublado	Nublado
<b>Temperatura</b>	12.0°C	7.0°C
<b>Humedad relativa</b>	66%	75%
<b>Viento</b>	Del Oeste con 22 km/h	En calma

Figura 3.62 Boletín meteorológico del 20 de diciembre de 2009. Fuente: SMN.

Reporte meteorológico (3 de enero 2010, CFE). *Una masa de aire frío reforzada y una corriente en chorro que cubren la mayor parte del país mantendrán bajas las temperaturas con lluvias de ligeras a moderadas; así mismo, se esperan algunas lluvias fuertes en Veracruz y Yucatán. También hay posibilidad de nevadas en las sierras por arriba de los 4300 msnm del centro del país. Por último, se reanudará el “norte” de 30 a 50 km/h con rachas de 70 km/h en el litoral del Golfo de México e Istmo de Tehuantepec, así como en la Península de Yucatán, Para el DF. La temperatura máxima para hoy será de 17 a 19° C y la mínima para*

mañana de 7 a 9°C con temperaturas más bajas en los alrededores. Potencial de —nevada o aguanieve” en las sierras por arriba de los 4300 msnm (Figuras 3.63).

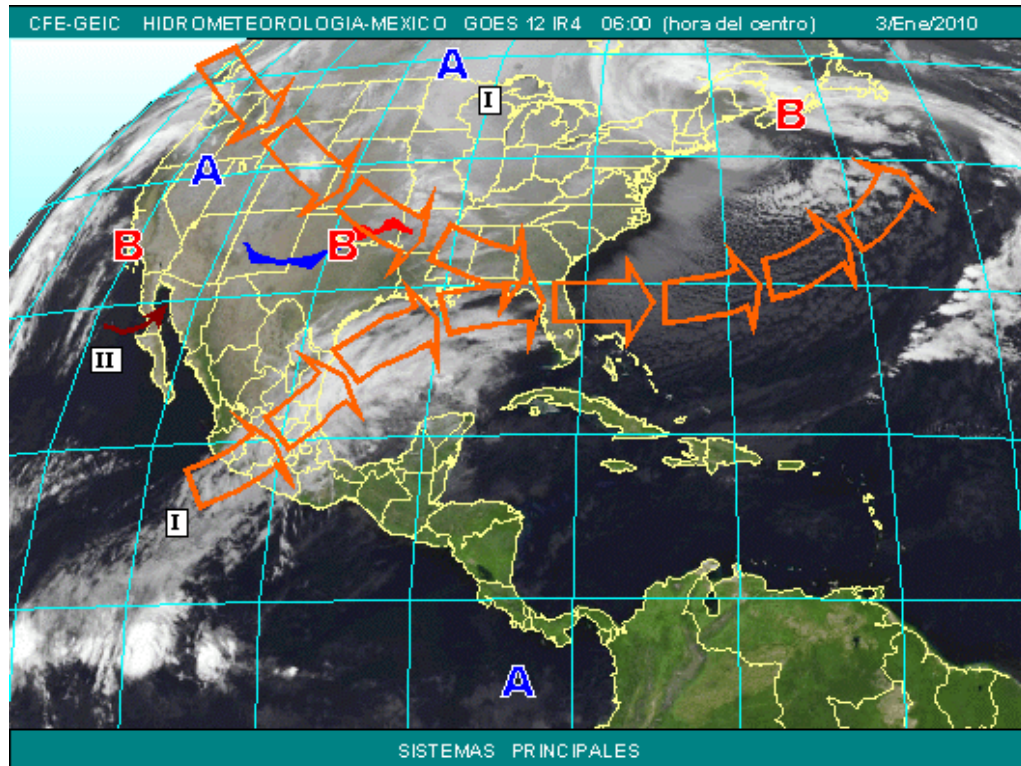


Figura 3.63 Imagen de satélite del día 3 de enero 2010, donde se observa una intensa masa de aire frío reforzada que generó el frente frío núm. 21 y la corriente de chorro que cubren la mayor parte del país, estos sistemas dieron lugar a grandes nevadas en el norte y algunas en las zonas montañosas del centro de la República. Fuente: CFE.

El Sol de Toluca (9 de enero de 2010). —*Cierran el Nevado de Toluca; decenas de vehículos varados*—. —*Después de tres años de que no nevaba en las poblaciones ni se veían afectados los caminos del valle de Toluca, la entrada del frente frío número 22 provocó la caída de nieve de una a dos pulgadas, en un tramo de 20 kilómetros de la carretera a Temascaltepec; además cubrió más de 27 comunidades aledañas al Nevado de Toluca. En la comunidad de Raíces, la nieve alcanzó un grosor de 18 centímetros*”.

El Universal (sábado 9 de enero de 2010). —*Ajusco se tiñó de blanco. Las bajas temperaturas que se registraron ayer provocaron la caída de aguanieve y nieve en la parte más alta de la zona montañosa del sur de la ciudad. La zona limítrofe entre el pueblo de Santo Tomás Ajusco, en Tlalpan, con el municipio de Xalatlaco, en el estado de México, fue donde cayó la nieve; el termómetro bajó hasta los tres grados centígrados y hubo niebla*”.

El Economista (9 de enero de 2010). *Reportan nevadas en sierra de Hidalgo. Autoridades de Tlanchinol (1550 msnm), confirmaron la caída de aguanieve y nieve en algunas partes del municipio serrano durante la madrugada y mañana de hoy, con temperaturas de hasta menos 4 grados centígrados, la nevada dejó incomunicado al municipio, por lo que algunas comunidades carecen de servicios de energía y telefonía, la cabecera municipal se encuentra cubierta por una capa blanca de nieve, lo mismo que otras comunidades cercanas. En el municipio de Huejutla, la temperatura ha descendido a menos un grado centígrado”.*

Boletín CFE, 8 de enero de 2010 (Figura 3.64). *El frente frío número 22, que se localiza sobre el oriente, centro y norte del país, es impulsado por una intensa masa de aire ártica con centro de alta presión de 1042 hPa ubicada sobre la parte central de Estados Unidos; ambos sistemas se desplazan al sur-sureste e interaccionan con una corriente en chorro, por lo que ocasionarán marcado descenso de temperatura sobre gran parte de la República Mexicana. Existe potencial de "nevadas" o aguanieve en las sierras del norte, noreste, oriente y centro de la nación. También soplará "norte" de 40 a 80 km/h con rachas de 110 km/h con olas de 3 a 5 m de altura en los Golfos de México y Tehuantepec; vientos de menor intensidad se registrarán en el noreste y centro del territorio nacional.*

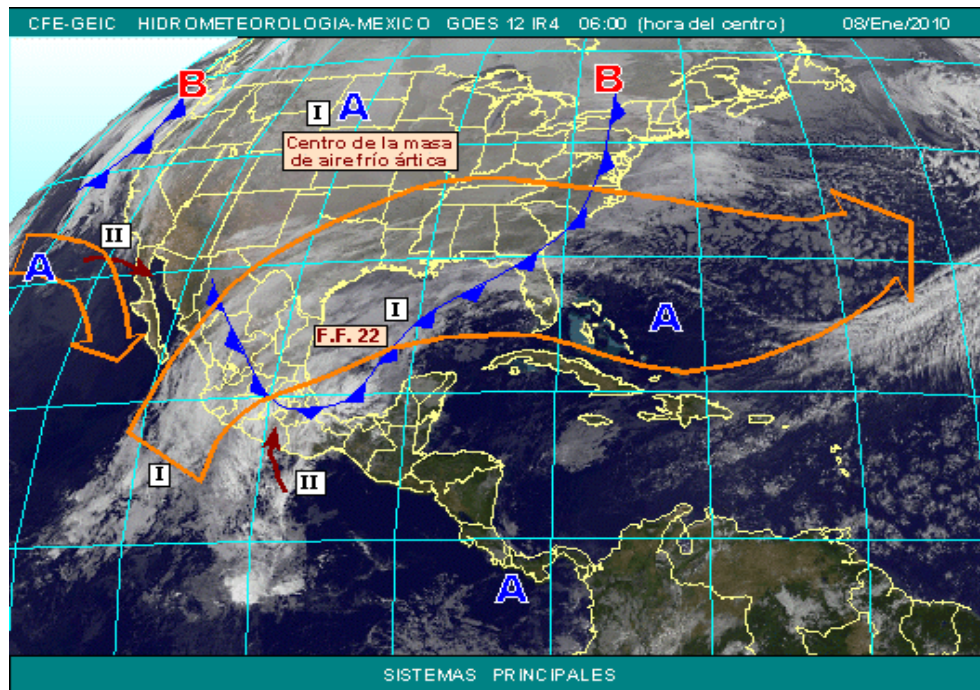


Figura 3.64 Imagen de satélite día 8 de enero 2010 en la que se distingue la intensa masa de aire polar ártica, con un centro de alta presión de 1042 hPa. y la corriente en chorro que cubren la mayor parte del país. Fuente: CFE.

Distrito Federal, Boletín matutino CFE. *Ambiente frío en gran parte del día. Predominará cielo nublado con lluvias de moderadas a fuertes. La temperatura máxima para hoy será de 12 a 14°C y la mínima para mañana de 02 a 04°C con temperaturas más bajas en los alrededores y potencial de "nevadas" en sierras por arriba de los 3500 msnm. Soplarán vientos variables de 20 a 40 km/h con rachas de 50 km/h. Se recomienda tomar las medidas de precaución necesarias por las bajas temperaturas y los vientos fuertes (Figura 3.65).*

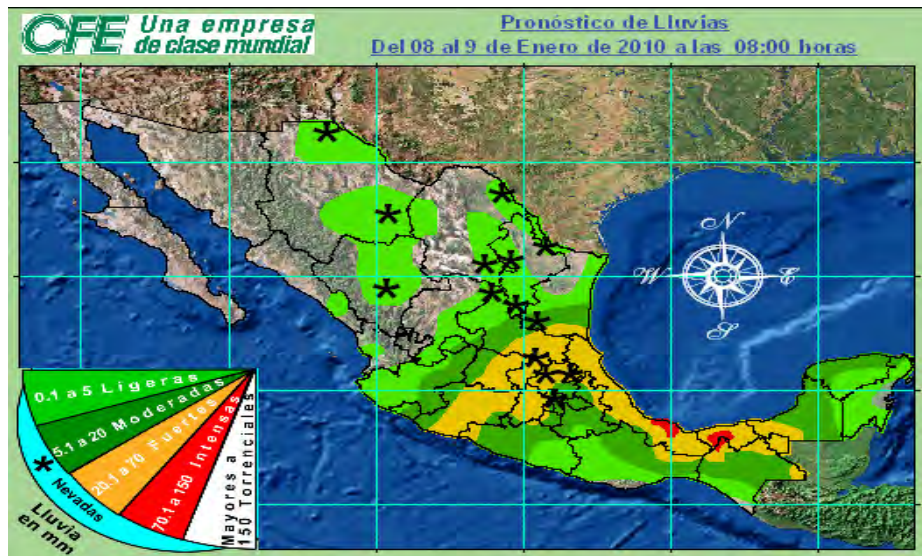


Figura 3.65 Pronóstico de nevadas para el norte y centro del país, 8 de enero de 2010. Fuente: CFE.

La Crónica (martes 12 de enero de 2010). *Llega cuarta tormenta invernal. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) pronosticó ayer que bajas temperaturas —en algunos casos inferiores a cero grados— prevalecerán esta semana en la mayor parte del país, producto de la cuarta tormenta invernal de la temporada, que entrará a territorio nacional este jueves y causará vientos fuertes y nevadas sobre todo en la Mesa del Norte.*

*Previamente, hoy martes y aún mañana miércoles, la mayor parte del territorio nacional resentirá todavía los efectos del frente frío 22, cuyos remanentes se esperaba que amainarían desde ayer lunes, lo cual no ocurrió por completo. El SMN precisó que el sistema frío (la onda fría y la tormenta invernal) significa que durante los días subsecuentes habrá presencia de nieve o aguanieve en la sierra de las entidades del norte.*

*Las bajas temperaturas y la caída de aguanieve, así como las nevadas en las zonas montañosas de la Sierra Norte y el valle de los volcanes continuarán hasta mañana, alertó la Comisión Nacional del Agua a través del Servicio Meteorológico Nacional. Una de las zonas previsiblemente críticas será Puebla en los*

*municipios de Chignahuapan, Cuetzalan, Zacapoaxtla, Xicoteppec de Juárez, Huauchinango y Zacatlán en la Sierra Norte.*

Boletín CFE, 11 de enero de 2010 (Figura 3.66). *La masa de aire frío ártica en proceso de modificación cubre la mayor parte del país, excepto el litoral del Pacífico, se asocia con una corriente en chorro en la altura y con la presencia de una vaguada en el norte de Chihuahua, provocando la afluencia de humedad proveniente de ambos océanos, esta situación favorecerá lluvias de moderadas a fuertes en gran parte del país. Además se esperan —nevadas” o aguanieve en las sierras del oriente y centro de la nación.*

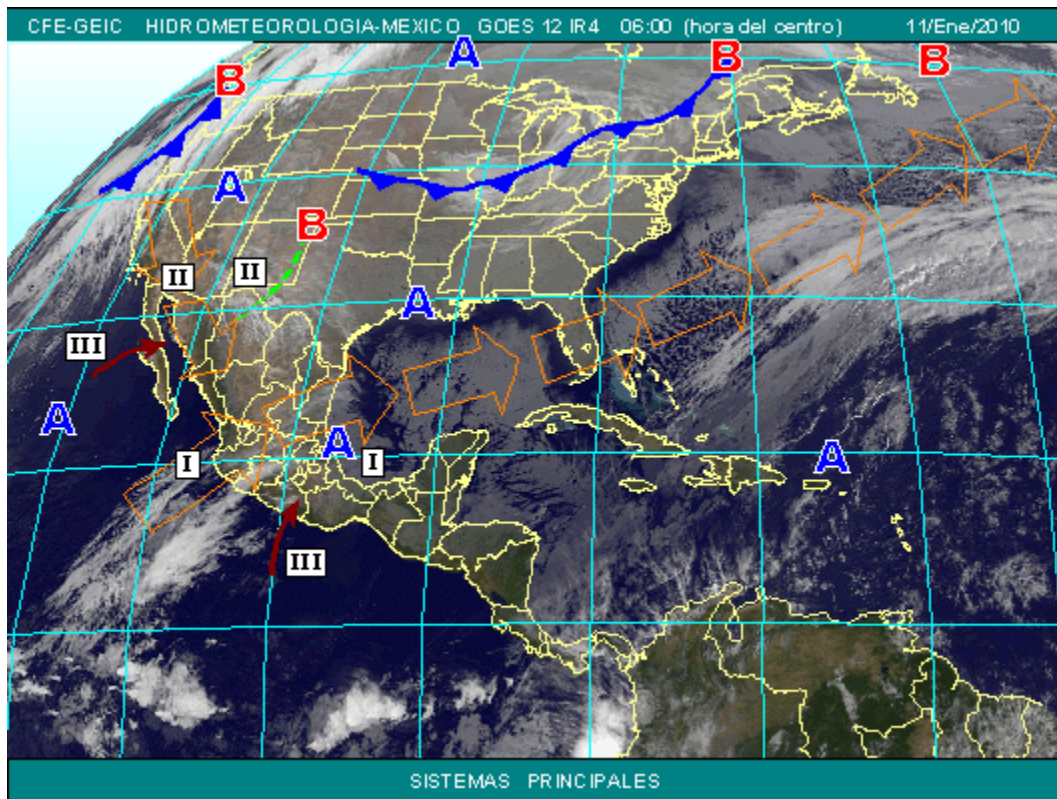


Figura 3.66 Imagen de satélite del 11 de enero de 2010 en la que se distingue la masa de aire frío que cubre la mayor parte del país, asociada con la corriente de chorro y una vaguada. Fuente: CFE.

La Jornada (15 de enero de 2010). *Onda gélida deja dos muertos en chihuahua y nevadas en varios estados. Dos muertos, nevadas y precipitación de aguanieve, así como árboles caídos y otros daños menores por las fuertes corrientes de viento es el saldo que se tiene hasta el momento por el clima frío que predomina en casi todo el país. En Zacatecas, por lo menos 27 municipios estuvieron bajo una intensa nevada en la madrugada, pues el termómetro llegó hasta 5 grados centígrados bajo cero, mientras que en Durango se registraron nevadas en 16 municipios de la entidad; además, la carretera Durango-Mazatlán fue cerrada al tráfico por*

más de 10 horas. En las faldas del Nevado de Toluca, esta mañana se registró la caída de aguanieve y ráfagas de viento superiores a los 60 kilómetros por hora.

Boletín CFE, 15 de enero de 2010 (Figura 3.67). La 4ª tormenta invernal de la temporada se localiza al norte del territorio nacional, mantiene muy bajas las temperaturas y ocasionará lluvias de fuertes a intensas en el norte y noreste del país; lluvias de ligeras a moderadas persistirán a lo largo de la Sierra Madre Occidental y el centro del país, donde además existen condiciones favorables para la ocurrencia de —nevadas—. En el litoral del Golfo de México soplará —norte—.

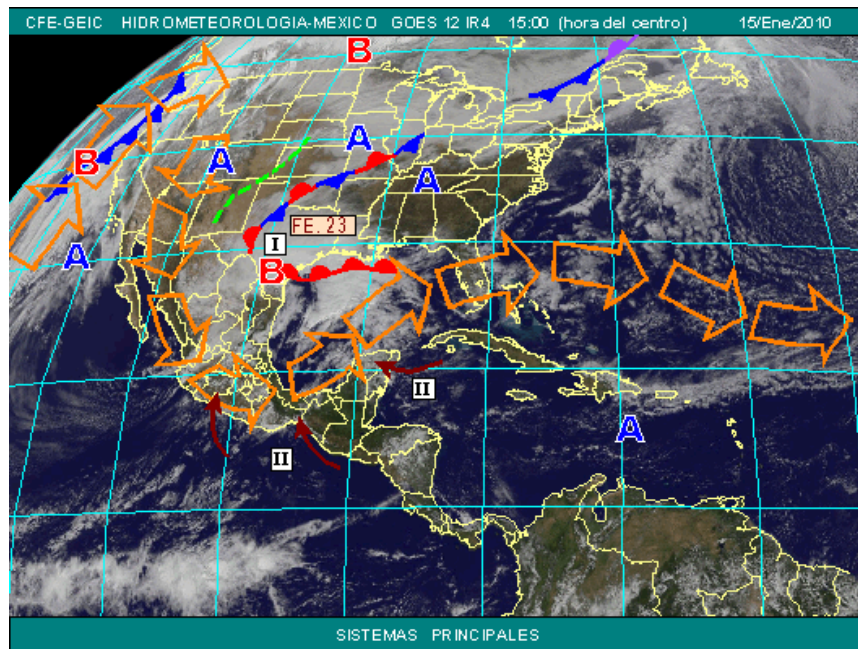


Figura 3.67 Imagen de satélite del 15 de enero de 2010. Se puede apreciar el frente frío número 23 y la baja asociada a la corriente en chorro en altura que dieron lugar a la 4ª tormenta invernal. Fuente CFE.

El 18 de enero de 2010 el SMN informa en su Comunicado de Prensa No. 010-10 sobre un patrón de tormentas que cruza el Pacífico Norte asociado con una corriente en chorro y la generación de dos frentes fríos, el número 24 y 25, que provocarán lluvia intensa y vientos fuertes con rachas que pueden superar los 60 km/h, además de nevadas en zonas montañosas, descenso de temperatura y oleaje elevado; estas afectaciones se pronostican sobre todo para la parte NW y las zonas altas de las montañas del centro del país. Por su parte, el boletín meteorológico de la CFE estuvo pronosticando nevadas casi todo el mes de enero en la parte norte del país y algunas en la zona montañosa del centro de la República Mexicana.

Sábado 30 de enero de 2010. De 8.30 a 9.30 de la mañana se cerró el acceso a La Joya, en el Iztaccíhuatl, porque estaba nevando según informó un grupo de socorristas. En los boletines se pronosticaron nevadas

sólo para el norte del país (Figura 3.68).



Figura 3.68 Pronóstico de nevadas en el norte del país, día 30 de enero de 2010. Fuente: CFE.

La Crónica (viernes 19 de febrero, 2010). *Aumentan visitas al Iztaccíhuatl y al Popocatepetl por nevadas. La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) informó que por las bajas temperaturas los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl están cubiertos de nieve, espectáculo que provocó un aumento considerable de visitantes por lo que emitió recomendaciones para extremar precauciones. En un comunicado, alertó sobre las lluvias y nevadas que afectan las condiciones del camino hacia el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, donde hay deslaves y caída de árboles, por lo que los paseantes deben ser cuidadosos y respetar las indicaciones de las autoridades (Figura 3.69).*



Figura 3.69 Nevada en Iztaccíhuatl 19 de febrero 2010. Fuente: La Crónica.



El Universal (sábado 20 de marzo de 2010). *Reciben la primavera con nieve en Nevado de Toluca. De acuerdo con especialistas de la Universidad Autónoma del Estado de México, la presencia de nieve en el Xinantécatl en época primaveral no se había presentado en los últimos siete años. Los vecinos de poblados como Raíces, Agua Blanca, Buenavista, Cruz Colorada, La Ciervita, La Joya, Puerta del Monte, La Peñuela y Loma Alta, que rodean al Xinantécatl o Nevado de Toluca, recibieron la primavera con temperaturas de entre tres y diez grados centígrados y la presencia de nieve en las partes más altas de la zona.*

Boletín CFE, 22 de abril de 2010 (Figura 3.70). *El frente frío número 48 se extiende desde el norte de Chihuahua hasta el sur de Sonora, se acompaña de una masa de aire frío; ambos sistemas se asocian con una —gotafría” conformada por la corriente en chorro subpolar en la altura y una baja presión dinámica que se ubica en el norte de la Península de Baja California además de una vaguada en el sureste del país ; esta situación mantendrá el descenso de temperatura con lluvias y vientos fuertes en el noroeste, norte y noreste de la República. Asimismo, existen condiciones favorables para la caída de —nieve” ó —aguanieve” en zonas montañosas del norte de Baja California, Sonora y Chihuahua, durante la noche y el resto del viernes.*

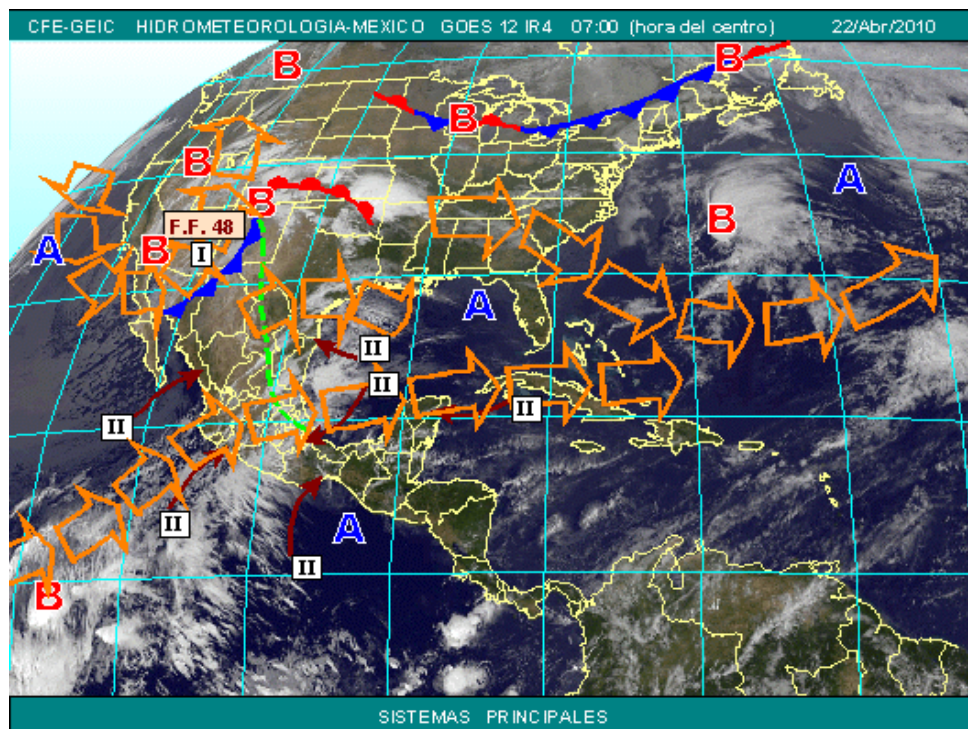


Figura 3.70 Imagen de satélite del 22 de abril de 2010 en la que se distingue el frente frío acompañado de una masa de aire frío; ambos sistemas asociados con una gota fría, conformada por la corriente en chorro subpolar y una baja presión ubicada en el noroeste del país, además de una vaguada localizada en el sureste de la República. Fuente: CFE.

Universo, El periódico de los universitarios (enero 25 de 2010). *Fríos invernales, todavía dentro de lo normal. Puede estar fuera del promedio de los últimos 10 años, pero si se amplía el periodo sigue estando dentro de lo normal. El comportamiento del frente frío número 22 fue atípico en su duración y afectación a México. Surgió de la combinación de una masa de aire frío y el fenómeno conocido como “corriente de vientos máximos”.*

*El 4 de enero de 2010 el sitio de Internet de la agencia meteorológica norteamericana Accu Weather – establecida en 1962 en el State College de Pennsylvania publicó la siguiente nota —Éste va a ser como los grandes inviernos de los años sesenta y setenta”.*

*El meteorólogo, investigador del Centro de Ciencias de la Tierra y académico en la Universidad Veracruzana (UV), Juan Cervantes, dijo que de acuerdo con los datos disponibles, en efecto, no había habido un invierno tan frío en los últimos 25 años. —Esta temporada invernal puede considerarse fuera del promedio de acuerdo con los últimos 10 años, pero si se amplía el periodo estaría todavía dentro de los parámetros normales”.*

El Universal (domingo 13 de junio de 2010). *Nevadas atípicas en el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl. En los últimos quince días se han registrado nevadas atípicas para una temporada de calor en los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, lo que no sucedía en 35 años. Investigadores del Proyecto Sierra Nevada de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) atribuyeron el fenómeno al cambio climático mundial.*

El 1º de marzo de 2010, el SMN emitió un reporte donde se analiza la temperatura de los meses de diciembre y enero de la temporada invernal 2009-2010, para ver qué tan frío se ha presentado este invierno comparado con la climatología histórica de cuarenta años desde 1961 hasta 2000. Las variables utilizadas corresponden a la temperatura máxima y mínima en su promedio para todo el país, utilizando la base de datos de las estaciones climatológicas interpolados en una malla regular con resolución de 20 km por 20 km, aproximadamente (Figura 3.71).

En este análisis se muestran mapas con las anomalías de temperatura mínima y máxima para diciembre y enero; el mapa se refiere al comportamiento promedio a lo largo de todo el mes. En la temperatura mínima se observa que en ambos meses algunas zonas resultaron significativamente más cálidas que lo normal (más de 5°C por arriba de la media climatológica). Así mismo, es apreciable que tanto en diciembre como en enero a nivel de todo el país, han predominado las anomalías positivas sobre las negativas. En el caso de la

temperatura máxima, el resultado fue contrario a la temperatura mínima; en este caso, a nivel nacional en ambos meses la temperatura máxima ha resultado más baja que el promedio histórico.

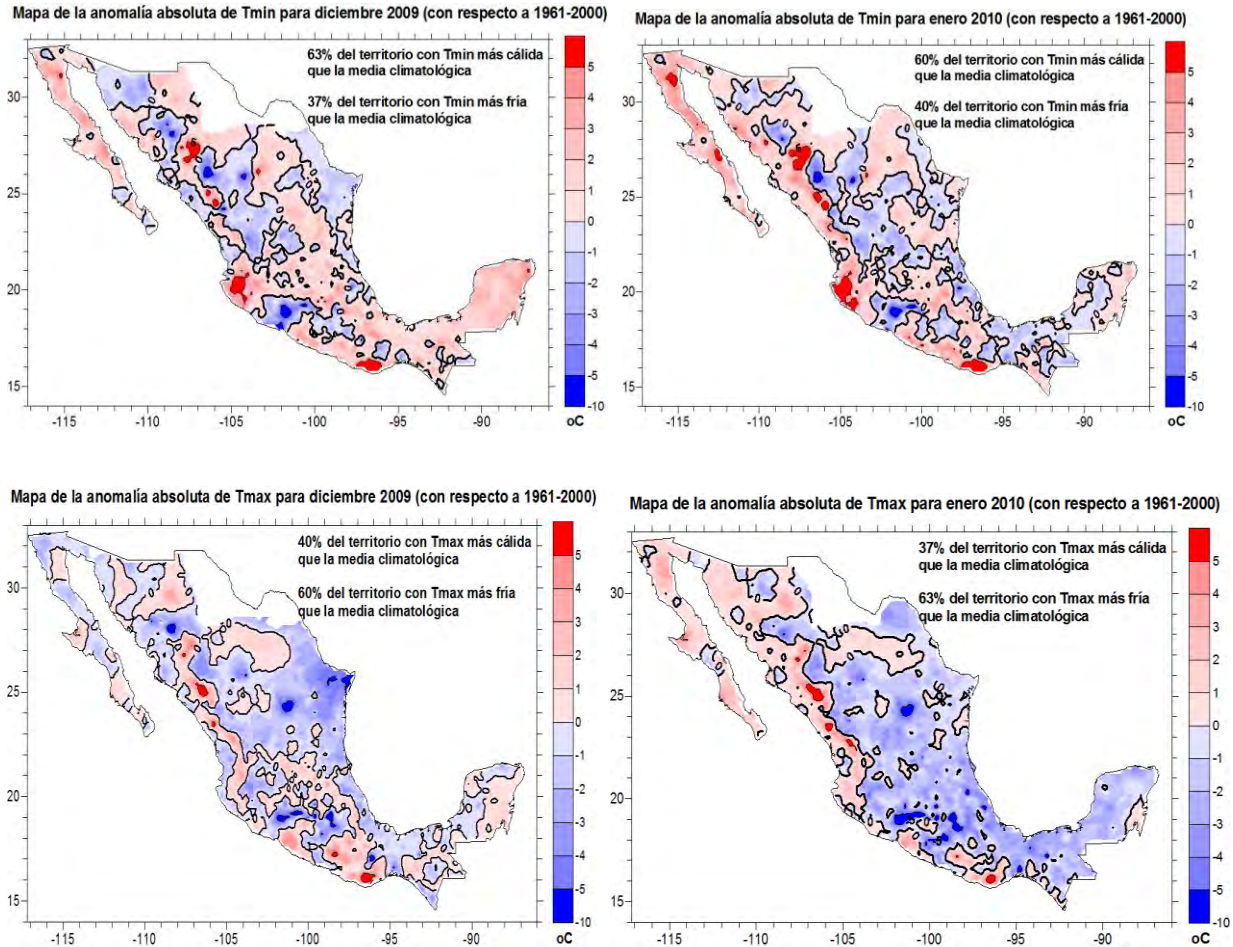


Figura 3.71 Anomalías de temperatura máxima y mínima para diciembre de 2009 y enero de 2010 con respecto a la climatología histórica de 1961-2000. Fuente: SMN.

En este documento también se analiza la relación de la temperatura con la entrada de los frentes fríos, donde se muestra que el efecto de éstos no es instantáneo, influyendo sobre las temperaturas en días posteriores a su entrada, aunque también esto varía de frente a frente. Otro aspecto que trata este documento es la relación con el fenómeno de El Niño, mismo que será tratado más adelante; el documento concluye con lo siguiente:

Conclusión dada por el SMN sobre el invierno 2009-2010. *La percepción de la población, a través de los reportes de medios sobre que el invierno 2009-2010 ha sido más frío que lo normal, se encuentra más asociado a las relativamente bajas temperaturas máximas del día, no así a las relativamente moderadas temperaturas mínimas del día. Esta percepción de frío se encuentra asociada en forma importante a la cobertura nubosa característica de lo que llevamos del invierno, debido a que impide que la temperatura máxima ascienda a sus valores típicos de invierno. Durante diciembre de 2009 y enero de 2010, las temperaturas (tanto la mínima diaria como la máxima diaria) se han mantenido, casi todo el tiempo, dentro de los rangos de normalidad con respecto a 1961-2000.*

### **3.4 Relación entre eventos El Niño y las nevadas en el centro del país.**

Los cambios en el océano que tienen lugar con El Niño o La Niña impactan los patrones atmosféricos y climáticos alrededor de la Tierra. A su vez, los cambios en la atmósfera impactan las temperaturas y corrientes del océano. El Niño corresponde al estado climático en el que la temperatura de la superficie del mar está 0.5°C o más por encima de la media del periodo 1950-1979 por al menos seis meses consecutivos (Trenberth, citado por Magaña, 2004); así, el sistema oscilará entre cálido o anomalía positiva (+0.5°C), que corresponde a El Niño, a neutral o a frío o anomalía negativa (-0.5°C), La Niña.

De acuerdo con Magaña (2004), durante años El Niño la circulación media de la Corriente de Chorro es alterada por una onda estacionaria llamada Patrón de Circulación del Pacífico Norte América o PNA, que obliga a cambiar la dirección de la Corriente de Chorro desviándola hacia el sur y como los sistemas de latitudes medias adquieren energía de esta corriente, se incrementan los frentes fríos y los sistemas asociados que originan lluvias invernales más frecuentes y llegan a producir nevadas que, en ocasiones, llegan al centro del país. Sin embargo, hay que considerar que el impacto de El Niño en las lluvias invernales en México no es siempre el mismo, ya que existen diferencias en las características regionales y temporales de las anomalías de lluvia entre cada evento de El Niño. Estas diferencias dependen en gran medida de la posición de las circulaciones estacionarias como el patrón del PNA, el que a su vez es influenciado por las características de la actividad convectiva anómala del Pacífico central, pero de manera general los impactos de El Niño durante el invierno serán de anomalías en lluvia y temperaturas en el norte de México (Magaña, 2004).

Se relacionó los años con fenómeno El Niño con los eventos de nevada pero, según se pudo investigar, no existe una sola lista de años con este evento que sea totalmente aceptada por la comunidad científica; esta

discrepancia también existe en la magnitud y en los años normales o con evento de La Niña. Esto, en consecuencia, causa un gran problema para determinar las relaciones estadísticas con años en que se presenta el fenómeno. Por ello se trató de buscar un consenso entre las diversas fuentes consultadas listando los que la mayoría aceptan, que son los años con episodios fuertes de El Niño.

De esta manera se elaboró el cuadro 3.7, que muestra en la primera columna los años en que se presenta el fenómeno; en la segunda columna se anotó la fuente de donde se tomó la información; en la tercera, la intensidad. Para los datos de nevadas, se contó el número de estaciones de los estados del centro del país con registro de nevadas para la temporada invernal en los años El Niño; esto es, fines del primer año y principios del segundo. A partir del evento de El Niño 1991-1992 en que este estudio no contó con datos de nevadas de las estaciones consultadas, se tomó en cuenta la información hemerográfica. El número de eventos se determinó con los datos de las estaciones por mes en cada temporada y, en el caso de la información hemerográfica, se tomó del número de sucesos presentados en la tabla 3.5 del tema Análisis de Eventos de este capítulo.

Cuadro 3.7. Relación de años con sucesos de El Niño y eventos de nevada.

AÑOS “EL NIÑO”	FUENTE	INTENSIDAD	DATOS DE NEVADAS	
			NÚMERO ESTACIONES INFORMACIÓN HEMEROGRÁFICA	NÚMERO DE EVENTOS
1957-1958	NOAA	FUERTE	48	4
1965-1966	NOAA	FUERTE	24	4
1972-1973	NOAA	FUERTE	17	4
1977-1978	Null, Jan	DÉBIL	38	5
1982-1983	NOAA	FUERTE	26	5
1986-1987	Martín y Olcina	DÉBIL	20	1
1991-1992	NOAA	FUERTE	Información hemerográfica	1
1997-1998	NOAA	FUERTE	Información hemerográfica	3
2002-2003	NOAA	MODERADO	Información hemerográfica	1
2006-2007	Null, Jan	DÉBIL	Información hemerográfica	5
2009-2010	NOAA	FUERTE	Información hemerográfica	8

Fuente: Elaboración propia con información de NOAA.

Otras características de cada suceso de años con fenómeno de El Niño que se obtuvieron de la información de la base de datos es la siguiente:

1957-1958: en el fin de año de 1957 se encuentra el registro de nevada en seis estaciones en noviembre y siete en diciembre. En 1958, de cuarenta estaciones con registro de nevada, la mayoría presenta el evento en enero y sólo seis en febrero. El número de eventos de nevada de la temporada fue de cuatro.

1965-1966: de 24 estaciones con registro de nevada, en 1965 sólo una tiene registros en noviembre. En 1966, 19 en enero, una en febrero y 19 en marzo. El número total de eventos de la temporada fue de cuatro (varias estaciones registraron nevadas tanto en enero como en marzo).

1972-1973: en diciembre de 1972 diez estaciones presentan nevadas. En 1973 hay cuatro estaciones en enero, dos en febrero y una en marzo. El número total de eventos de nevada fue de cuatro.

1977-1978: en octubre de 1977 una estación con nevada y cuatro en diciembre. En 1978 tres en enero, tres en febrero y 27 en marzo. El total de eventos fue de cinco.

1982-1983: en 1982, una en noviembre y una en diciembre. En 1983, seis en enero, 19 en febrero y seis en marzo. Con un total de eventos de cinco.

1986-1987: no hay ninguna estación con nevada a finales de 1986. En marzo de 1987, de 20 estaciones que presentan nevada casi todas la registran el 5 de marzo de ese año, como la del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. En este evento de El Niño existe una gran discrepancia; algunos autores lo dan como 1986-1987 y otros 1987-1988, aunque la NOAA marca todo el año 1987 con este fenómeno.

A partir del siguiente periodo con suceso de El Niño, se tomó en cuenta la información hemerográfica.

1991-1992

Reforma (26 de octubre de 1998). *Este invierno podría ser tan crudo o más que el de 1992, en el que las nevadas alcanzaron partes más bajas que las de costumbre; "en 1992 todavía caía nieve en San Juan de las Huertas, estado de México, incluso llegaron alrededor de 30 mil turistas del Distrito Federal, mientras en las comunidades cercanas al volcán Nevado de Toluca, la nieve subió a un metro de altura".*

1997-1998

Reforma (22 de noviembre de 1997). *Buscarán atenuar efectos de 'El Niño'. El Sistema Nacional de Protección Civil está totalmente preparado para poder enfrentar las eventualidades que traerá la presencia*

*del fenómeno meteorológico de "El Niño" y que podría afectar a poblaciones de seis estados con tormentas súbitas muy caudalosas y bajas temperaturas. En el Valle de México, se prevé que pueda haber alguna baja de temperatura, esto es, "un invierno más fuerte que los habituales, sin mayores consecuencias para la población, pero sí algunas nevadas aisladas en las zonas circunvecinas, en las zonas altas de la periferia".*

2002-2003

*Reforma (14-Ene-2003). Nieva en montañas de Toluca. En las primeras horas de ayer se registró una nevada de moderada intensidad principalmente en la punta del volcán Xinantécatl o Nevado de Toluca, provocada por el frente frío número 29 de la temporada, que se convirtió en frente estacionario; este frente está interactuando con una corriente en chorro. La nevada, no afectó a las comunidades aledañas. El fin de semana la temperatura en el municipio de Toluca alcanzó los tres grados centígrados en el centro de la ciudad y cinco en la terminal aérea.*

2006-2007

*El Universal (lunes 29 de enero de 2007). Intensas nevadas en el Estado de México alcanzaron en algunos poblados hasta 30 centímetros de altura. Los puntos donde se presentó mayor acumulación de nieve fueron la carretera Ajusco-Distrito Federal, a la altura de la comunidad Agua de Pájaro, y en el municipio de Temoaya, así como en las cercanías del volcán Xinantécatl, en la comunidad de Raíces, y en Loma Alta. En tanto en la carretera Federal Amecameca-Tlamacas, a la altura del kilómetro siete, paraje Paso de Cortés, se reportó acumulación de nieve arriba de los 30 centímetros.*

El siguiente reportaje, del año 2007, muestra la gran problemática que se presenta en la Sierra Nevada a causa de la desaparición de los glaciares y las consecuencias que tendrán que enfrentar los habitantes de los poblados asentados en las faldas de la Sierra Nevada.

*Reforma (7 de marzo de 2007). En pleno "Año Polar Internacional", México no tiene nada que celebrar, porque de tres zonas de glaciares que tenía, sólo le queda una. El deshielo ocasionado por el cambio climático terminó con los glaciares (zonas de hielo permanente) del Popocatepetl y del Iztaccíhuatl, y en menos de 30 años hará lo propio con los del Pico de Orizaba.*

*"Los glaciares son indicadores muy sensibles del cambio climático, y los de México están experimentando un proceso de deglaciación muy acelerado", alertó en entrevista el investigador Lorenzo Vázquez Selem, del Instituto de Geografía de la UNAM. El Popocatepetl, de 5 mil 452 metros de altura sobre el nivel del mar,*

*tenía en 1960 tres pequeños glaciares, de los cuales no queda ninguno. La actividad volcánica contribuyó a la extinción. Actualmente sólo hay pequeños reductos de hielo.*

*El Iztaccíhuatl, de 5 mil 286 metros de altura, tenía hace 47 años 9 glaciares. Ahora sólo cuenta con tres zonas de hielo, pero como no son permanentes, ya no se consideran glaciares. El Pico de Orizaba -el más alto del país, con 5 mil 747 metros- tenía en 1960 cinco glaciares, de los que sólo le quedan dos. De acuerdo con la investigadora Patricia Julio, del Instituto de Geología de la UNAM, el fenómeno del deshielo global representa una de las evidencias más notables de los cambios climáticos recientes, y se ha visto especialmente acentuado en las montañas de los trópicos. "La aceleración del proceso de deglaciación es una amenaza catastrófica a corto y mediano plazo. A corto plazo, los deshielos pueden provocar desembalse<sup>3</sup> de lagunas y aludes<sup>4</sup>, y a mediano plazo, reducciones de la provisión de **agua**", externó Patricia Julio.*

*Los glaciares mexicanos tienen particular importancia, por ser los únicos situados a nivel mundial en la latitud 19° norte. El deshielo tiene otras consecuencias: "Quizá esta generación no lo alcance a ver, pero si nos proyectamos a 50 o 100 años habrán grandes problemas y el paisaje cambiará tremendamente", afirmó Vázquez Selem.*

*El deshielo de los glaciares de México, provocado por el cambio climático, tendrá un impacto severo en flora, fauna y disponibilidad de agua en la zona, advirtió el especialista Lorenzo Vázquez Selem. El deshielo, dijo, será visible en la disponibilidad de agua de arroyos, cuencas y ríos, y la vegetación y la fauna sufrirán alteraciones en sus ecosistemas. "Aunado al cambio en el régimen de escurrimiento de los arroyos, habrá menos infiltración a los acuíferos y, por tanto, menor aporte de agua; las comunidades cercanas son las que sentirán más la carencia de agua", detalló. Durante las estaciones más secas del año, los glaciares son la principal fuente de agua potable y de riego para muchos habitantes y agricultores que viven en las faldas de las montañas. Sin embargo, la variabilidad climática y los cambios asociados a la temperatura están afectando a los glaciares de la región. "La pérdida del volumen de estos glaciares únicos es alarmante, y si esta tendencia continúa, el retroceso derivará en una sequía que afectará a miles de personas", destacó el investigador. Se perderán los bosques de pino, oyamel, ayacahuite, encino, madroño y cedro blanco, que se desarrollan en las faldas, así como la fauna compuesta por venado, halcón, cuervo, codorniz pinta, águila, gavián, paloma de collar, coyote, tejón, zorrillo y otros, abundó.*

<sup>3</sup> Desembalse: Dar salida al agua contenida en un embalse o a parte de ella.

<sup>4</sup> Alud: Masa grande de nieve que se desliza por la ladera de una montaña de manera violenta, arrasando todo lo que encuentra a su paso.



*El informe "El Agua, una responsabilidad compartida", de la Organización de las Naciones Unidas, sostiene que los glaciares tropicales son particularmente importantes, primero, por los recursos hídricos que otorgan a los poblados próximos, pero también por su importancia científica. "Los glaciares constituyen las reservas sólidas de agua dulce, y representaban excelentes indicadores de la evolución del clima", apunta. El reporte calcula que nueve de cada diez glaciares en todo el mundo se están derritiendo. Por ejemplo, estima que 75 por ciento de los glaciares de los Alpes Suizos habrá desaparecido en el 2050.*

*Debido al calentamiento global, en las montañas mexicanas y en las de todo el mundo las precipitaciones acuosas en forma de nieve han disminuido, porque los inviernos son menos largos y más cálidos. "Si a esto se añade el hecho de que las temperaturas veraniegas son más elevadas, el resultado es una pérdida neta de hielo en los glaciares, aun cuando a corto plazo el agua suplementaria del deshielo sea una bendición para las zonas adyacentes situadas en las tierras más bajas", puntualiza el documento.*

2009-2010

*El Sol de Hidalgo (21 de febrero de 2010). Las bajas temperaturas cubrieron de nieve los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl provocando un considerable aumento de visitantes al Popo Park, donde se registraron deslaves y caída de árboles, por lo que la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) emitió una serie de normas a seguir a los paseantes, reservándose el derecho de cerrar el acceso al parque natural si las condiciones ponen en riesgo a la gente.*

En el reporte sobre este último invierno emitido por el SMN en marzo de 2010, se analizan los patrones de temperatura observados en años bajo condiciones de El Niño, de acuerdo con los que se presentan en la publicación —Los Impactos de El Niño en México” (Magaña 2004), comparándolos con este invierno. En este reporte se concluye que los patrones observados para temperatura mínima durante diciembre de 2009 y enero 2010 no resultan incongruentes con el promedio para inviernos bajo El Niño, pero la distribución geográfica observada para la temperatura máxima no coincide con dicho patrón.

Resumen. Aunque ha sido difícil encontrar una relación directa del incremento de las nevadas en la zona central del país con los años en que tuvieron lugar episodios del fenómeno El Niño, se pudo observar que en la información de registros de nevada de las estaciones climatológicas, algunos años con eventos de El Niño, corresponden a los años que mayores registros presentan; esto, sobre todo en las nevadas de 1958, 1978, 1983 y 1987 que corresponden a las fechas con nevadas más relevantes del apartado 3.1.4, mientras que las nevadas de 1967 y 1981 quedan fuera de años con fenómeno de El Niño, aunque la nevada de 1967 ha sido la

más intensa reportada por el mayor número de estaciones en los últimos años, en el centro del país.

Así mismo, en la información hemerográfica consultada se encontraron varias notas que sugieren que los años cuando ocurrió el evento de El Niño reflejan características de gran relevancia tanto en lo espacial por la superficie que abarcaron las nevadas como en la intensidad por el espesor que alcanzó la capa de nieve; esto se vio sobre todo en el episodio de El Niño 1991-1992, cuando se cubrieron todas las montañas que rodean al valle de México y hubo una gran mortandad de mariposas monarca en la Reserva de la Biosfera homónima, localizada entre los estados de México y Michoacán. Otro evento importante fue el de 1997-1998, en que la nevada cubrió las zonas altas del centro de México y cayó nieve en la ciudad de Guadalajara después de casi cien años que no se presentaba en este sitio; pero el episodio más reciente, El Niño 2009-2010, dejó ver las condiciones de humedad que originaron grandes nevadas, sobre todo en el norte del país aunque también en ciertas colonias de Guadalajara llegaron a caer algunos copos de nieve. Además, se cubrieron de nieve varias cimas de las sierras de Las Cruces, Chichinautzin y Nevada, el Nevado de Toluca, La Malinche, el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba. Sin embargo, un evento de nevada con la intensidad de la de 1967, que fue año normal, no ha vuelto a repetirse y queda mucho por investigar al respecto.

### **3.5 Resultados del trabajo de campo.**

La finalidad de los trabajos de campo que se realizaron en el transcurso del presente estudio, tuvieron el objetivo de apoyar y fortalecer la investigación realizada en la documentación bibliográfica y hemerográfica. Teniendo en cuenta que el fenómeno de la nevada en algunos casos es muy local, sobre todo en las cimas de las montañas nevadas, como es el caso del Iztaccíhuatl y del Popocatepetl (en éste último no hay paso desde la erupción de 1994), se consideró muy importante y necesaria la opinión de las personas que regularmente acuden a estos lugares, así como de los habitantes de los pueblos más cercanos que tienen la oportunidad de estar más en contacto con este fenómeno meteorológico.

El primer paso consistió en identificar a los grupos de personas que se relacionan con las nevadas; se encontró que uno de ellos son las personas que viven en los poblados de los alrededores y que desde sus hogares han observado a los dos volcanes a través de los años y se hizo contacto con ellos para aplicar una encuesta (Cuestionario 1, Anexo 2). Otro grupo lo forman alpinistas, turistas, investigadores, guardaparques y socorristas, que acuden regularmente y están más en contacto con los glaciares y también se les interrogó (Cuestionario 2, Anexo 2). Se realizaron varias visitas a los poblados alrededor de la Sierra Nevada y se trató de acudir cuando se presentó el fenómeno (regularmente un día después del evento). En el trabajo de campo se incluyeron entrevistas con personal especializado en eventos meteorológicos como investigadores del

Centro de Ciencias de la Atmósfera, la CFE, el SMN y el Instituto de Geografía y se realizaron dos prácticas de campo al Iztaccíhuatl con los maestros y compañeros del Seminario de Eventos Extremos del Colegio de Geografía de la UNAM.

La primera salida fue el miércoles 2 de enero de 2008 por la tarde, pues según el reporte meteorológico nevaría en Tulancingo, Hgo., y que ya estaba nevando en Acaxochitlán, a 20 km de distancia, pero en Tulancingo sólo cayó una ligera llovizna por la noche y con mucho frío. Sin embargo, por la mañana del jueves 3 de enero en algunas partes de la ciudad, sobre todo en los pastos, se alcanzaba a distinguir una capa blanca, que algunos consideraron como helada, y otros como nevada, pero de acuerdo con las condiciones meteorológicas y los resultados de las nevadas próximas a este lugar, es probable que se haya tratado de la caída de algunos copos de nieve, sin que se pudiera verificar el fenómeno porque con la salida del sol enseguida se disolvió. Mientras tanto, en lugares como la presa El Tejocotal, Santa Ana Tzacuala y Acaxochitlán, la nevada sí fue considerable, pues para el día jueves 3 de enero se alcanzaba a ver la nieve en las orillas de la carretera y en los techos de las casas (Figura 3.72). En El Tejocotal la temperatura medida a la intemperie fue de  $-2^{\circ}\text{C}$  y en Acaxochitlán de  $-0.4^{\circ}\text{C}$ .



Figura 3.72 Nevada en Acaxochitlán Hgo. 3 de enero de 2008. Fuente: Islas (2008).

El 5 de febrero de 2008 se realizó la primera práctica al Paso de Cortés, subiendo por el lado oriental de la sierra desde Huejotzingo y Santiago Xalixintla; en esta ocasión se pudo entrevistar a algunas personas, sobre todo vecinos de estos lugares, así como a turistas que se encontraban en el parque campestre de Buenavista y en el Paso de Cortés; la mayoría coincidió en que las nevadas ya no eran como antes y que su número se había reducido; también comentaron acerca de la disminución en la intensidad, pues caían nevadas tan ligeras que la nieve enseguida se derretía. Prueba de ello era que la nevada del 2 de enero de ese año no alcanzó a cubrir los volcanes y cuando se realizó este recorrido ya había muy poca nieve en las cimas (Figura 3.73).



Figura 3.73 Volcán Iztaccíhuatl desde el lado oriente. 5 de febrero de 2008. Fuente: Islas (2008).

Un mes después, en marzo del mismo año, se aplicó la primera encuesta en el atrio de la Iglesia de Amecameca (Cuestionario No.1, Anexo 2); se buscó sobre todo a gente mayor de edad que hubiera vivido siempre en estos lugares, aplicándose diez cuestionarios con los que se pudo obtener una perspectiva de los vecinos que a diario tienen relación con los volcanes. En general, coincidieron que antes las nevadas eran muy fuertes. En el número de nevadas al año, la respuesta estuvo dividida entre dos y cinco.

En junio y julio se realizaron varias visitas a Paso de Cortés y Amecameca (Figura 3.74); en esta última se tuvo la oportunidad de entrevistar a algunas personas como el subdirector del Parque Izta-Popo Zoquiapan, el

cronista del lugar, el fotógrafo que vende imágenes de los volcanes en el kiosko del jardín, los taxistas que llevan a los alpinistas y visitantes a La Joya para subir a los volcanes y un tiempiero (que tiene el don de predecir el tiempo), el señor Moisés Vega, quien dio una explicación amplia y detallada sobre las ceremonias que se realizan en las faldas de la Sierra Nevada para asegurar las cosechas.



Figura 3.74 Paso de Cortés, 24 de julio de 2008. Fuente: Islas (2008).

El 5 de septiembre de 2008 se tuvo una entrevista con la investigadora Elena Burns, de la Asociación Guardianes de los Volcanes, quien comentó la necesidad de contar con investigación climática de la parte alta de la Sierra Nevada, indispensable para los trabajos de ordenamiento ecológico que este organismo está realizando en las faldas de la misma.

El 9 de septiembre de 2008 se realizó en Llano Grande una entrevista con comuneros y ejidatarios de Río Frío. Algunos comentarios que dieron estas personas sobre su percepción de las últimas nevadas en la sierra son las siguientes:

1. Las nevadas han disminuido en número y en intensidad; antes la nieve tardaba hasta ocho días en derretirse; hoy, si acaso, dura dos días. Ahora es más frecuente que caiga aguanieve o granizo sobre los volcanes.
2. Antes las nevadas cubrían una gran extensión pues se juntaba la nieve del Popocatepetl y del Iztaccíhuatl en Paso de Cortés; de ahí la leyenda de que en el invierno se casaban los dos volcanes y en el verano se separaban, para unirse de nuevo al siguiente año.
3. Las nevadas están más “fuera de tiempo”, pues hace dos años cayó una en primavera; así mismo, las heladas están comenzando desde septiembre, lo que antes ocurría hasta noviembre, por lo que se decía “tiene el frío de muertos”. Las lluvias también están cambiando: antes llovía en febrero y en marzo ya se podía sembrar, lo que se decía “cultivos marceños”.
4. En el cuello del Iztaccíhuatl había arenal y piedra pequeña sobre el que se asentaba la nieve, hoy ésta “se ha bajado” y sólo quedan las rocas grandes.
5. La temperatura es la misma o más fría porque los inviernos son muy extremosos, pero hay menos lluvia en el invierno mientras que en el verano caen más aguaceros.
6. Los ríos estaban a flor de tierra, hoy se han infiltrado y se les oye que corren por abajo del suelo.
7. En Amecameca la temperatura ha aumentado, porque ya se está dando el aguacate y otros cultivos que antes no se daban. Las plagas han aumentado; las nevadas mataban las plagas.

El 4 de octubre de 2008 se realizó un recorrido por el cerro Altzomoni, donde se encuentran las torres de microondas y el albergue del mismo nombre, para continuar a La Joya, paraje hasta donde se puede llegar en carro, que es la ruta de ascenso al Ayoloco, por los pies del Iztaccíhuatl (Figura 3.75). Aquí se entrevistó a un alpinista y socorrista voluntario, así como a uno de los guardaparques. En esta ocasión se tuvo la oportunidad de apreciar el antiguo valle glaciario de La Joya que se encontraba muy verde, por la humedad del ambiente y la temporada de lluvias.

Entre algunos comentarios que hicieron las personas entrevistadas con referencia a las nevadas, es que éstas han reducido tanto en el número como en la intensidad, pues en la década de los ochentas les tocó ver nevadas de 1.50 m de espesor; el socorrista comentó que en una ocasión, en el Popocatepetl, no podían salir del refugio porque la nevada había cubierto casi la totalidad de la entrada; la nieve antes se veía casi azul y molestaba los ojos, hoy el color también ha cambiado y no es tan intensa su blancura. Otro comentario que se hizo es que cae más seguido granizo y aguanieve y éstos se derriten más fácilmente. Para el guardaparques la causa de todo ello es la deforestación, pues antes con el tocón (base del árbol) la nieve se detenía y se iba filtrando lentamente.

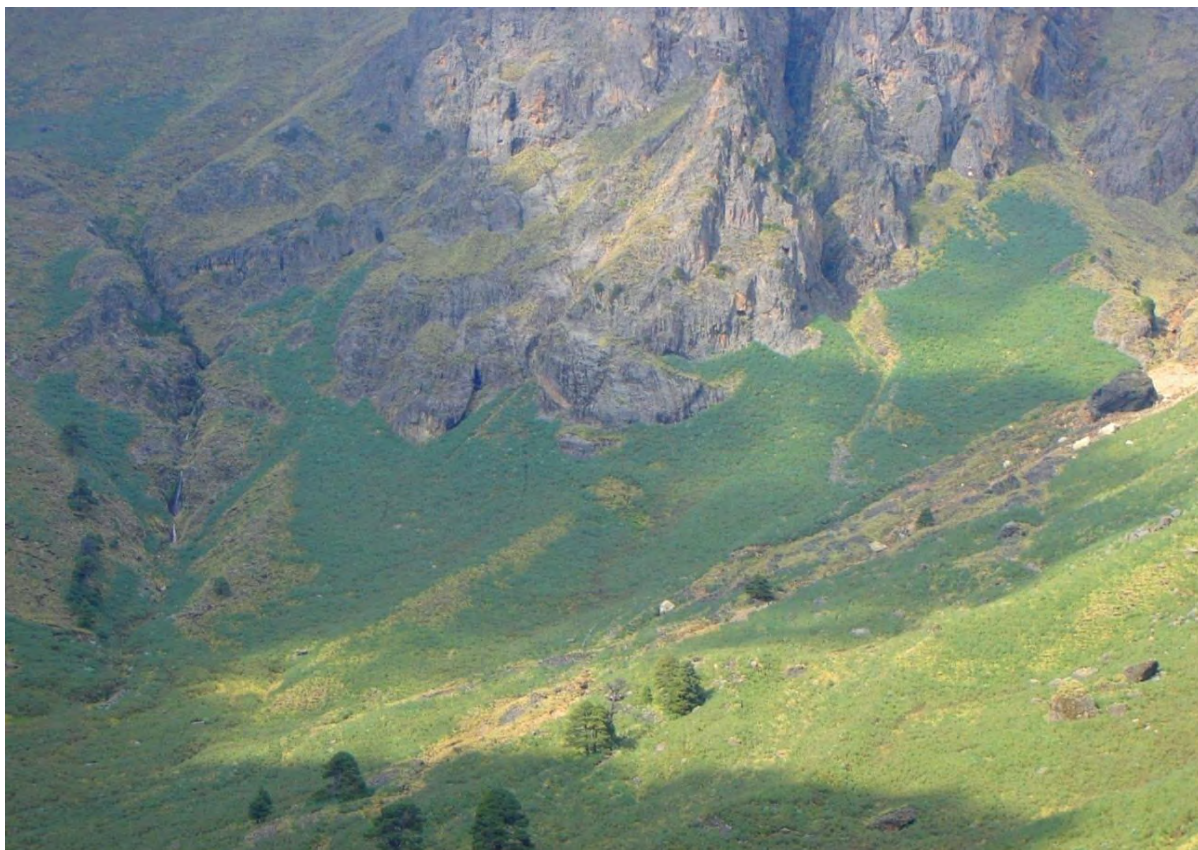


Figura 3.75 Paraje La Joya, a los pies del Iztaccíhuatl. 4 de octubre de 2008. Fuente: Islas (2008).

### **Práctica de campo.**

Lugar: Iztaccíhuatl.

Fecha: domingo 16 de noviembre de 2008.

Salida: 7 de la mañana del Metro Puebla con dirección calzada Ignacio Zaragoza.

1ª Punto: Paso de Cortés. Registro de entrada al parque y plática sobre objetivos.

2ª Punto: Altzomoni. Identificación del lugar de posible instalación de una estación climatológica.

3ª Punto: La Joya. Ascenso y complemento de la práctica.

4ª Punto: Descenso para comida en Amecameca y regreso a la Ciudad de México.

Objetivos de la práctica.

Generales:

- Buscar evidencias de la tendencia de las nevadas en esta zona.
- Identificar el lugar para la posible instalación de una estación climatológica.

Objetivos particulares:

- En La Joya, ascender y buscar otras evidencias de límite inferior de nevadas como morrenas, erosión, escurrimientos, permafrost, vegetación, etc.
- Entrevistas a los alpinistas y las personas que frecuentan el parque. Aplicación del cuestionario número dos.

Esta práctica se llevó a cabo con maestros y compañeros del seminario de investigación —Eventos Extremos” del Colegio de Geografía con un total de catorce personas. Los objetivos que se plantearon fueron cumplidos. En Altzomoni se entrevistó a un socorrista y se aplicó el cuestionario número dos; esta persona tenía conocimiento de la estación que estuvo colocada en este lugar y después se trasladó a Tlamacas; se trata al parecer (según la bibliografía consultada) de la estación solarimétrica que el Instituto de Geofísica de la UNAM instaló en Altzomoni en 1957 para tratar de calcular la radiación solar y que se trasladó a Tlamacas en 1959. En años posteriores se han instalado en este lugar algunos instrumentos meteorológicos, pero ha sido por corto tiempo o para algún estudio específico, como en marzo de 2006 que se instaló una estación meteorológica para un estudio del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA), pero sólo por un mes (Baumgardner, *com pers*, 2008). Posteriormente, se realizó una investigación sobre el lugar más apropiado para la instalación de una estación meteorológica y se encontró que Altzomoni es un buen lugar, por su seguridad y las condiciones climáticas que presenta. Para esto, se obtuvo información sobre una estación meteorológica con un sensor de visibilidad que utiliza un emisor láser para detectar la velocidad, el tamaño de las partículas y los diferentes tipos de precipitación, con el que se puede detectar con precisión la lluvia, la llovizna, el aguanieve, la nieve, el granizo etc., ideal para detectar la situación climática de la Sierra Nevada. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos que se realizaron para la adquisición del equipo y su instalación, no se logró llevarlo a cabo debido a su alto costo y que no hubo quien lo financiara.

Desde Amecameca en todo el recorrido, se fueron tomando en diversos puntos las coordenadas, la altitud, la temperatura y la hora tratando de encontrar el gradiente térmico de la zona. Sin embargo, debido a la situación y condiciones en que se realizaron los registros, esto no fue posible y sólo se pudo obtener la relación de la hora con la temperatura y la altitud además de la influencia de la situación atmosférica del momento, pues en algunos casos se veía el sol y en otros lo ocultaba la niebla. Los puntos se trataron de registrar cada cinco o diez minutos pero, de acuerdo a la situación presente en algunos casos se tomaron hasta las dos horas siguientes. El equipo utilizado fue un GPS y un termómetro ambiental. Como resultado de este trabajo se elaboró un cuadro de distancias (Cuadro 3.8), un cuadro con las coordenadas y la temperatura de



los puntos (Cuadro 3.9) y un itinerario o recorrido con los puntos más destacados (Figura 3.76).

Cuadro 3.8 Distancias de los puntos recorridos desde Amecameca a La Joya.

La Joya				
2 km	Altzomoni			
9 km	7 km	Paso de Cortés		
26 km	24 km	17 km	San Pedro Nexapa	
32 km	30 km	23 km	6 km	Amecameca

Cuadro 3.9 Datos de puntos con coordenadas y temperatura.

Punto	hora	Lat. g	min	seg	Long g	min	seg	Altitud	Temperatura	Características
1	11:00	19	6	98	98	5	36	2427	9	
2	11:10	19	4	55	98	43	44	2614	14	
3	11:15	19	4	20	98	42	2	2872	13	
4	11:20	19	4	16	98	41	30	2900	12	
5	11:25	19	4	33	98	41	16	3065	11	Inician abetos
6	11:30							3196	10	km 19
7	11:35	19	5	29	98	40	36	3315	11	
8	11:40	19	4	55	98	40	10	3459	11	pastos amacollados
9	12:00	19	4	58	98	39	47	3500	10	
10	12:05	19	5	9	98	38	45	3630	8	Paso de Cortés
11	12:30	19	5	22	98	38	49	3668	8	
12	12:35	19	5	52	98	39	4	3722	9	
13	12:40	19	6	28	98	38	39	3791	9	
14	12:45	19	7	1	98	38	45	3852	9	
15	12:50	19	7	26	98	38	58	3895	9	
16	12:55	19	7	9	98	39	4	3974	9	Altzomoni
17	14:50	19	7	58	98	39	5	3970	9	
18	14:53	19	7	11	98	39	10	4010	6	La Joya
19	16:30	19	8	20	98	38	39	4219		Punto más alto

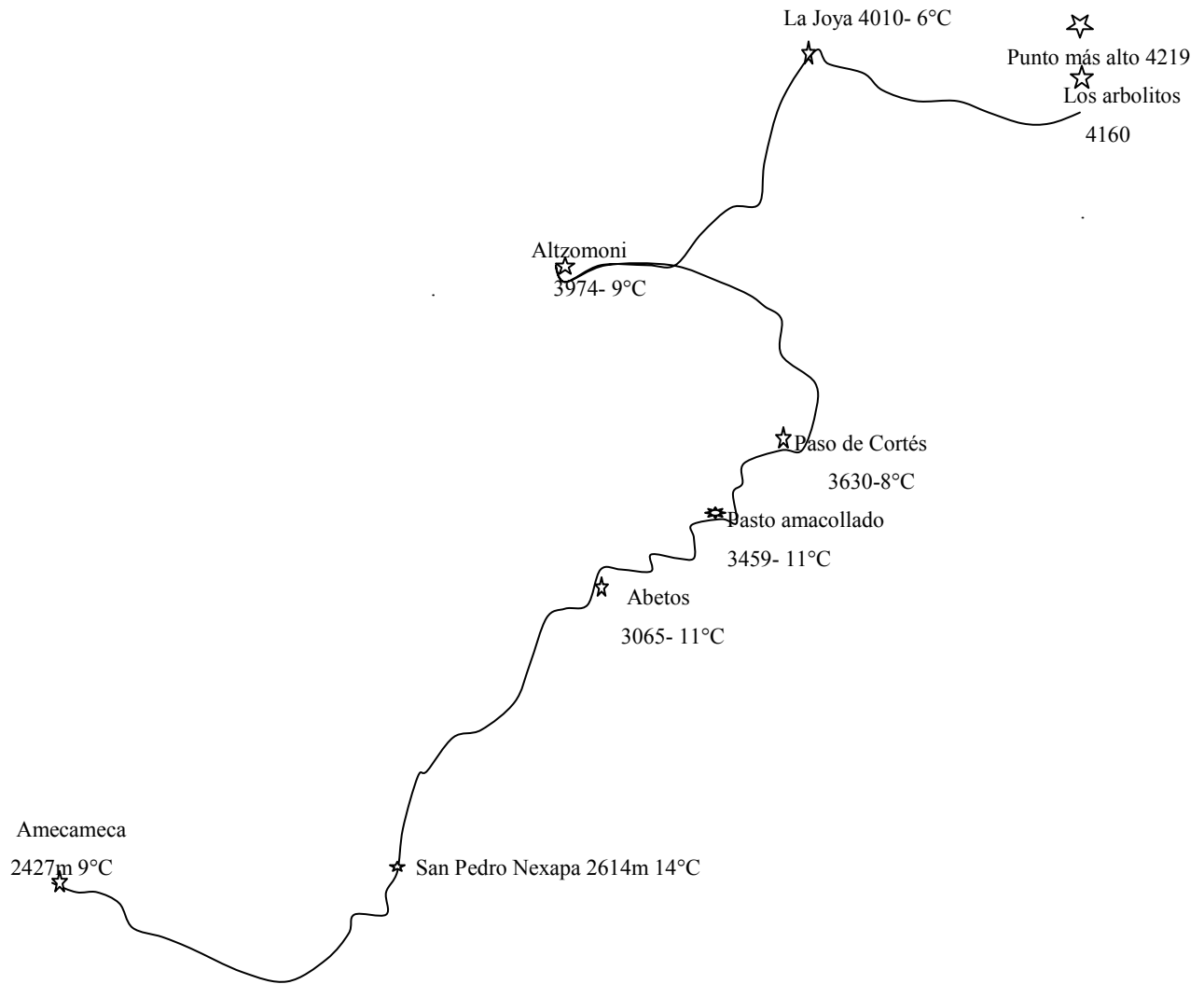


Figura 3.76 Itinerario, recorrido y puntos más destacados de la práctica 16 de noviembre 2008.

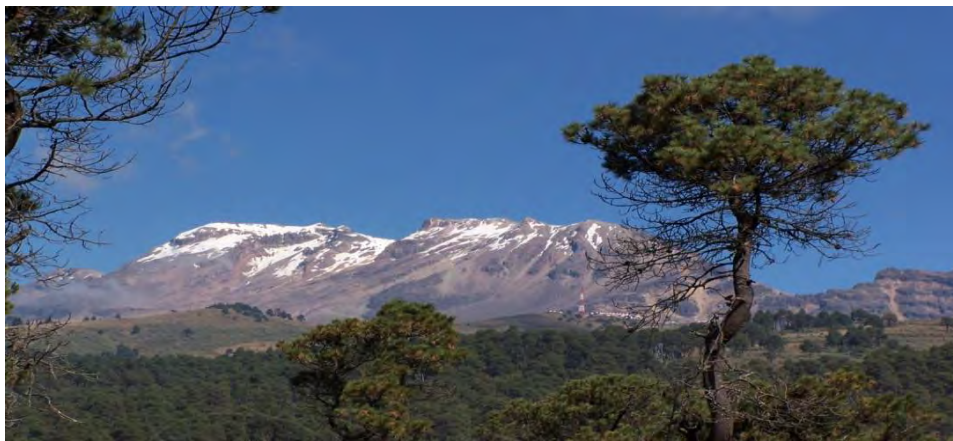


Figura 3.77 Iztaccihuatl desde San Pedro Nexapa, 16 de noviembre de 2008. Fuente: Islas.

En La Joya se observaron las evidencias del antiguo valle glaciar, con los escurrimientos, la erosión, las morrenas y la vegetación. Se ascendió por los pies del volcán hasta alcanzar una altura de 4,219 msnm (Figuras 3.78, 3.79 y 3.80).

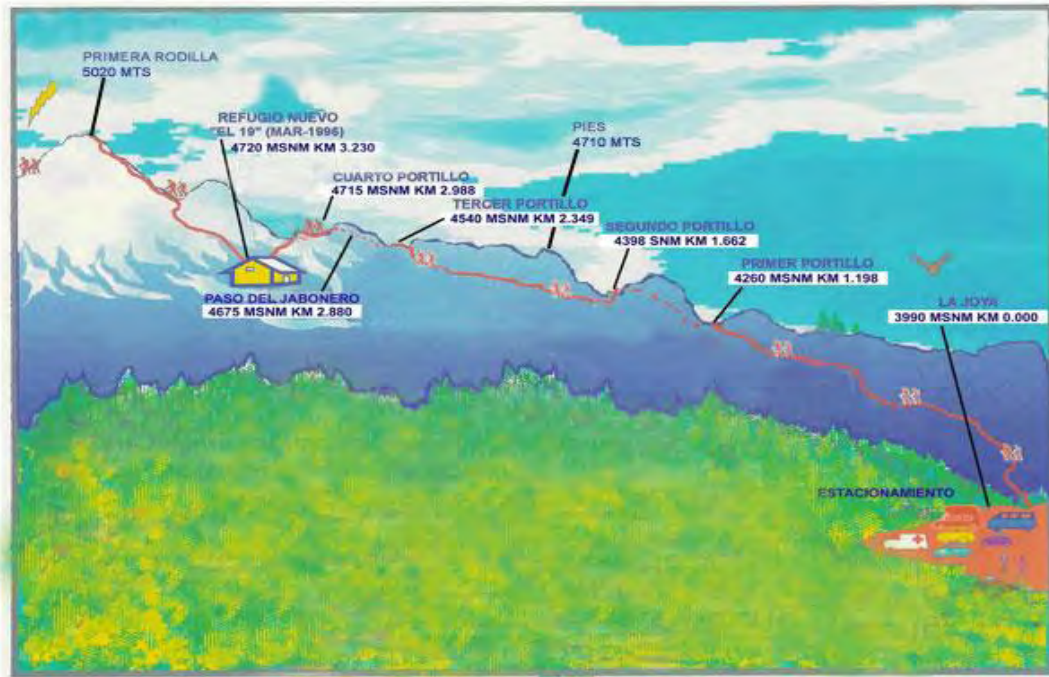


Figura 3.78 Ruta de ascenso al Iztaccíhuatl. Fuente: Miguel Ángel Cortés.

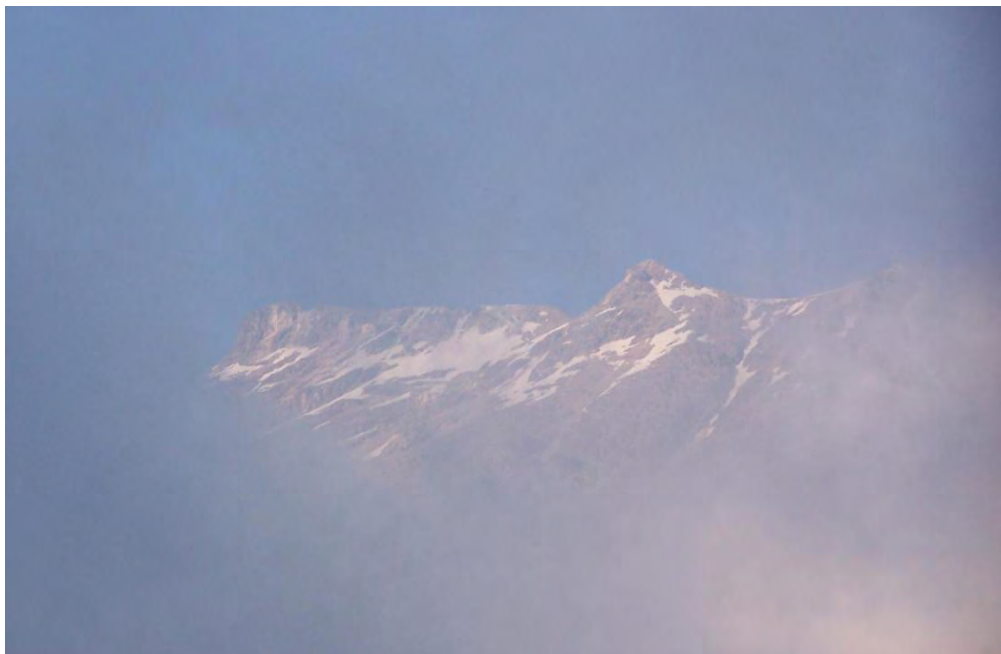


Figura 3.79 Vista del Iztaccíhuatl desde el punto más alto alcanzado. Fuente: Islas

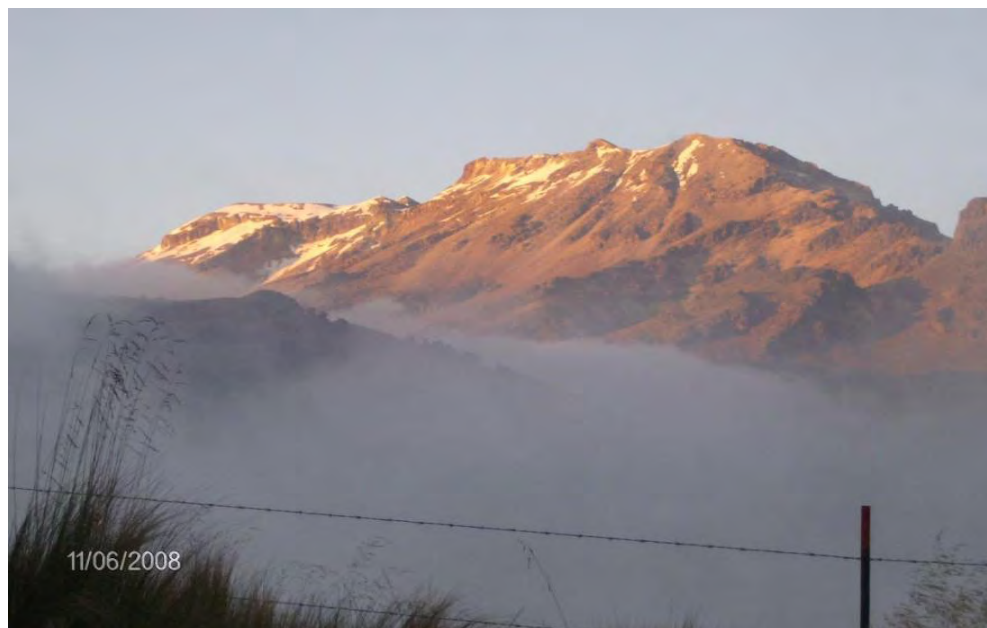


Figura 3.80 Vista del Iztaccíhuatl al atardecer 16 de noviembre de 2008. Fuente: Islas.

El 17 de diciembre de 2008 se acudió al Iztaccíhuatl; en esta ocasión se subió hasta Los Arbolitos (4,160 msnm). En La Joya se platicó con una persona de Amecameca, quien explicó que años anteriores a la erupción del Popocatepetl se hacía una misa en el volcán el día 12 de octubre a las 9 de la mañana, para lo cual había que salir del poblado desde las 5 de la mañana. También dijo que en 1979 fue el último año en que la nieve permaneció en todo el transcurso del año, además de contar varias anécdotas y proverbios sobre el volcán y la forma en que desde Amecameca sabían cómo estaba el tiempo en los volcanes. Una de estas formas es que cuando el cielo está aborregado o empedrado es presagio de la llegada de nieve a la sierra. Así mismo, dijo varios proverbios sobre el tiempo como “ojo al amanecer, tormenta al atardecer”.

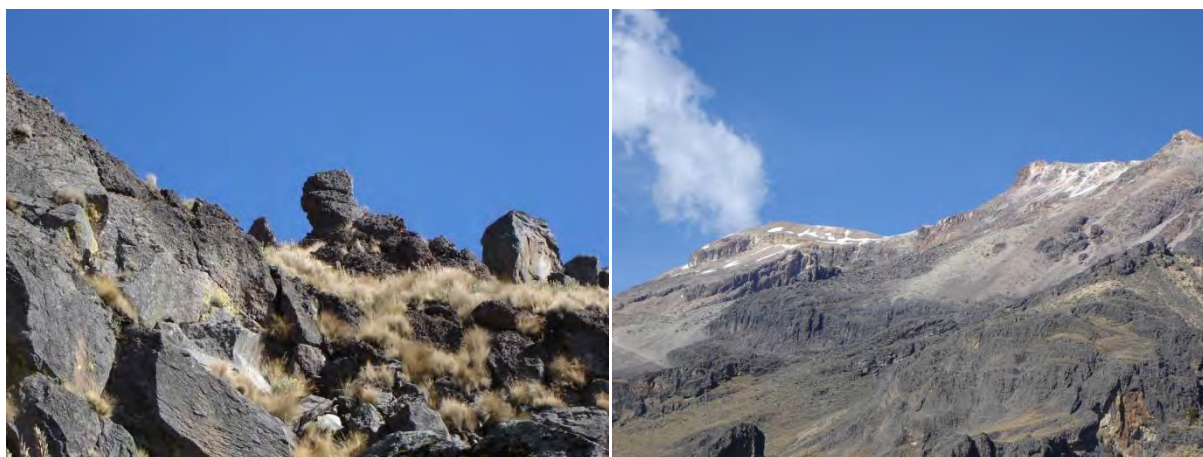


Figura 3.81 Iztaccíhuatl vista desde Los Arbolitos, 17 de diciembre de 2008. Fuente: Islas.

**Practica de campo.**

Lugar: Iztaccihuatl.

Fecha: domingo 25 de enero de 2009.

El objetivo de esta práctica fue llegar a las cascadas que se encuentran en la parte occidental del Iztaccihuatl desde donde desciende el valle de La Joya. En esta ocasión sólo fuimos cuatro compañeros, guiados por una geógrafa alpinista que nos condujo al lugar donde se suponía que encontraríamos las cascadas para ver el grado de humedad de la zona. Sin embargo, a pesar de que según las noticias periodísticas el día 15 y 16 de enero había caído aguanieve en el sur del Distrito Federal, no encontramos ninguna cascada, sólo un hilo de agua. Los volcanes, que desde Paso de Cortés se veían brillantes, en realidad sólo tenían una fina capa de hielo; según los guardaparques, la noche anterior se había dado una helada. En el trayecto hacia las cascadas se pudo constatar lo anterior y lo que de lejos parecía nieve, de cerca eran los pastos que se encontraban cubiertos de una película de hielo (Figura 3.82).



Figura 3.82 Pastos cubiertos de hielo y algunos manchones de nieve, 25 de enero de 2009 Iztaccihuatl. Fuente: Islas.

La temperatura más baja observada en este recorrido fue de 9.2°C y 45% de humedad, tomada en la ladera del mirador de La Joya, al lado de los pastos cubiertos de hielo. La altitud máxima que se alcanzó en esta ocasión fue de 4,131 msnm.

El 9 de febrero de 2009 se acudió a una conferencia y exposición de fotografías sobre “Las montañas nevadas de México y el cambio climático”, presentada por el alpinista Jorge Neyra en el auditorio La Pirámide de San Pedro de Los Pinos, Distrito Federal. En la exposición de fotografías sobre los glaciares del Iztaccihuatl se pudo observar claramente el retroceso continuo que éstos han presentado en los últimos años. Un punto

importante fue la mención que hizo el conferencista sobre la altitud del Iztaccíhuatl, pues afirma que ésta ha disminuido a causa del derretimiento de los glaciares, ya que de 5286 msnm que tenía, actualmente cuenta con 5,220 msnm en su parte más alta. En entrevista posterior no dio un argumento válido sobre la medida exacta de la altitud; sin embargo, dejó la inquietud sobre la posibilidad de que esto realmente esté ocurriendo, por lo que se trató de investigarla, para lo que se consultó bibliografía y a algunos alpinistas, pero no se encontró nada exacto, sólo las cifras que dan algunas investigaciones que van desde 5,286 msnm a 5,220 msnm.

El 22 de marzo de 2009 se realizó otro recorrido por La Joya y ascenso a los pies del Iztaccíhuatl; esta vez el objetivo principal fue el de observar el grado de acumulación de nieve y humedad que habían dejado las dos ligeras nevadas que se presentaron a principios de año (15 de enero y 22 de febrero). Así mismo, se entrevistaron a algunas personas que visitaban el lugar. En esta ocasión se tuvo la oportunidad de platicar con un ingeniero de la estación repetidora de radio- comunicación de Ixtapaluca, que visita el sitio de Altzomoni una vez por mes o por semana, pues en la estación está instalado su equipo de trasmisión. El ingeniero explicó que ha visto varias nevadas; en una ocasión, dijo, le tocó ver que granizó, llovió y nevó, todo en media hora aproximadamente. También comentó que en ocasiones, en los meses de julio y agosto, se ve el Iztaccíhuatl con más nieve que en el invierno, lo que podría ser una prueba de que nevara en la cima en esta época del año, pero esto es sólo una posibilidad.

En cuanto a las nevadas, con gran decepción se pudo ver que a pesar de que acababa de terminar la temporada invernal, los volcanes sólo tenían una poca de nieve en la cima (Figura 3.83).

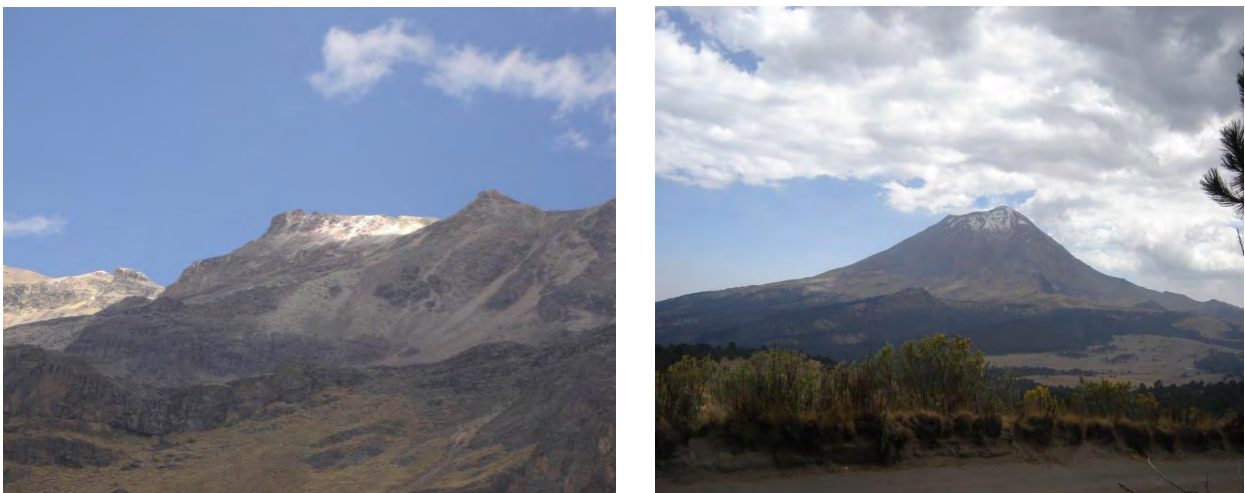


Figura 3.83 Iztaccíhuatl y Popocatépetl marzo de 2009. Fuente: Islas

El 21 de diciembre de 2009 se acudió a la Joya para observar las nevadas que en días anteriores habían ocurrido sobre la Sierra Nevada, las cuales, según los lugareños de Amecameca (taxistas y fotógrafo), se habían presentado desde principios del mes de noviembre. Al llegar a Paso de Cortés, tuvimos que esperar a que se vieran las condiciones en que estaba el camino a La Joya porque el día anterior había ocurrido otra ligera nevada. Después de una hora se abrió el paso y se pudo admirar en La Joya la nieve en todo su esplendor (Figura 3.84). El espesor de la capa fue de 7 cm; la temperatura más baja fue de 2.9°C y 49% de humedad. Aunque ligeras, estas nevadas han servido para recargar un poco los sistemas de captación de agua de donde se surte la población.



Figura 3.84 Nevada en el Iztaccíhuatl, 21 de diciembre de 2009. Fuente: Islas.

El día 20 de enero de 2010 se realizó la última visita de esta investigación a la Sierra Nevada, con el fin de observar los efectos de las nevadas que tuvieron lugar los días 15 y 16 de enero; sin embargo, en esta ocasión no hubo acceso a La Joya porque el camino estaba en muy malas condiciones por la afluencia turística de los días anteriores, así que solo se pudo observar la nieve desde el Paso de Cortés. Sin embargo, a pesar de que ya habían pasado cuatro días en que había caído la nevada, aún se podían ver manchones de nieve sobre la carretera desde el lugar conocido como Las Palomas, a 3,000 m de altitud aproximadamente, que es hasta donde llegó la nieve de acuerdo con las entrevistas realizadas al personal del parque y a un socorrista (Figura 3.85). En otro contexto, se entrevistó a una persona de Amecameca, quien dio una explicación amplia e interesante de las ceremonias y misas que se realizaban sobre el volcán Popocatepetl antes de su erupción, así como de los caballos que se alquilaban en el pueblo a los montañistas y alpinistas para llevar sus víveres en los ascensos a los volcanes; igualmente, dijo que desde Amecameca se alcanzaba a ver la nieve de manera

continúa en las cimas de los cerros intermedios entre el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl, que permanecían con mucha nieve.



Figura 3.85 Iztaccíhuatl y Popocatepetl nevados, 20 de enero de 2010. Fuente: Islas.

En febrero de 2010 se subió al Cerro Gordo, perteneciente a la Sierra de Guadalupe, en Santa Clara Coatitla, Ecatepec, Estado de México; desde aquí se pudieron observar las montañas cubiertas de nieve que rodean a la Ciudad de México; se distinguía la Sierra Ajusco-Chichinautzin con los picos San Miguel y Ajusco; en la Sierra de Las Cruces podía verse el Cerro San Miguel. En la Sierra Nevada el Popocatepetl, el Iztaccíhuatl, el Telapón y el Tláloc también se veían blancos (Figura 3.86). En los dos últimos la nieve duró aproximadamente dos semanas.

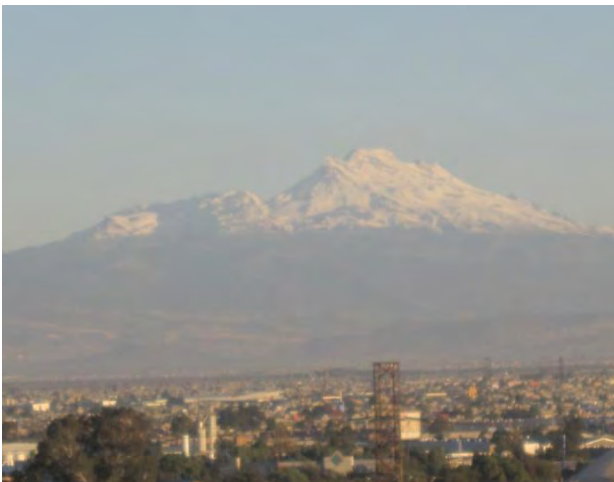


Figura 3.86 Vista de la Sierra Nevada desde el Cerro Gordo, Santa Clara, Ecatepec, Méx.



Otros lugares recorridos fueron la Colonia Manuel Ávila Camacho, en Ixtapaluca, Estado de México, donde se pudo tomar directamente la posición geográfica de la estación climatológica; Río Frío, Santa María del Monte y el cerro del Texcotzingo, en Texcoco; Santiago Xalixintla y San Nicolás de los Ranchos, Pue., al oriente de la Sierra Nevada.

En abril de 2010 se acudió al Nevado de Toluca; sin embargo, en esta ocasión sólo se logró llegar a las faldas del volcán, pero se consiguió entrevistar a los paseantes que iban de visita al lugar y a los habitantes del poblado de Raíces, que es el más próximo al Nevado. Algunos de los entrevistados (habitantes de la comunidad de Raíces), afirmaron que desde hace como diez años no se veía tanta nieve en el volcán como en el presente año (Figura 3.87), además de que en Raíces, en una ocasión la nieve alcanzó un metro de altura y que en 1992 llegó la nieve hasta San Juan de las Huertas. Esta fue la última salida a campo que se realizó para la presente investigación.



Figura 3.87 Nevado de Toluca, 2 de abril 2010. Fuente: Islas

## CONCLUSIONES

Desde fines del siglo pasado los glaciares de la Sierra Nevada han ido perdiendo su masa glacial que los conformaba, esto ha sido bien estudiado y documentado por diversos investigadores que han dando seguimiento de su retroceso continuo, hasta la extinción, de los glaciares del Popocatepetl en el año 2000-2001, mientras que los glaciares que aún le quedan al Iztaccihuatl presentan un retroceso muy acelerado, a tal grado, de que hace algunos años los especialistas pronosticaban su completa desaparición hacia el año 2020 ó 2030, pero hoy la estimación es para el año 2015 (Delgado, 2011). Los motivos de este retroceso son, de acuerdo con el especialista Hugo Delgado, son dos factores principales: por un lado, el periodo interglaciar en que nos encontramos y que no favorece la formación o conservación de esas masas de hielo y, por el otro, el aumento de temperatura, que en los últimos años se ha acentuado debido a la emisión de gases de efecto invernadero.

Sin embargo, en la climatología de estos lugares hay mucho por investigar para dar respuesta a las interrogantes de la variabilidad climática local y su posibilidad de adaptación ante los cambios, entre ellas, la necesidad de saber si el número de días con nevada que caen sobre los glaciares son los mismos que en otros periodos, así como su intensidad y espesor, además de estudiar los distintos parámetros que conforman la climatología como la temperatura, la precipitación, el albedo, el viento, etc.

Dentro de este contexto, en el presente trabajo se trató, en primer lugar, de investigar el origen de las nevadas y los sistemas de tiempo asociados que las favorecen, así como su importancia y beneficios que prestan sobre todo a los glaciares de la Sierra Nevada. Así, siguiendo los reportes meteorológicos de los estados del tiempo en los últimos años se ha podido apreciar que los principales fenómenos atmosféricos asociados que intervienen en la precipitación en forma de nieve en el centro del país son las masas de aire de origen polar ártico y marítimo que vienen cargadas de humedad y temperatura fría; estos sistemas de tiempo asociados con los frentes fríos, los nortes y las vaguadas utilizan la energía proporcionada por la corriente de chorro que en algunos años intensifica su desplazamiento hacia el sur, en los que puede dar origen a una depresión aislada en los niveles altos de la atmósfera provocando una baja profunda que origina la gota fría y la tormenta invernal; estos sistemas son los que han ocasionado algunas de las nevadas más intensas tanto en el norte como en el centro del país, por ejemplo, la nevada de enero de 1967 y las de enero de 2010. En cuanto a la importancia y beneficio que las nevadas tienen sobre La Sierra Nevada, se ha podido documentar que la nieve es la principal fuente de recarga de los glaciares y éstos los principales surtidores del agua tanto en la

parte superficial como en la recarga de los mantos acuíferos, por lo que su desaparición afectará de manera directa a la población asentada en las laderas de la sierra, además del impacto ecológico que repercutirá tanto en el clima local como en el de toda la zona. La nevada es un fenómeno estacional que se seguirá presentando en mayor o menor frecuencia e intensidad pero si junto con otros elementos climáticos como la temperatura y la humedad no logran mantener los pocos glaciares que quedan sobre la sierra éstos difícilmente se recuperarán y su desaparición será inminente.

En la investigación histórica y hemerográfica de las nevadas en el centro del país a través de las diferentes épocas se identifica la ocurrencia de grandes eventos que tuvieron lugar tanto en la época prehispánica como en la colonial, en las que se aprecia la magnitud y la frecuencia de las nevadas y que aún considerando la percepción exagerada de de la población por el impacto y los daños que causaba el fenómeno por los escasos medios de protección con que contaban, la descripción refleja que se trataba de eventos muy intensos y excepcionales, diferentes a los que ocurrieron en el siglo XX, con excepción de la nevada de 1967, que fue un fenómeno extraordinario, que cubrió la mitad del país y la capital, sin que a la fecha se presente otro evento de igual magnitud en esta zona. Por otra parte, la información de nevadas registradas en el observatorio de Tacubaya durante el siglo XX refleja una ligera tendencia a la baja.

El análisis de días con nevada de acuerdo con los datos de las estaciones climatológicas de los estados del centro del país (1935-1989), se realizó por métodos estadísticos y mediante un sistema de información geográfica (SIG) en el que también se introdujeron los años con nevada reportados por todas las estaciones recopiladas. Los resultados proyectados por este sistema fueron que, por un lado, existe una amplia correlación entre las nevadas y la altitud, y por otra parte, la distribución espacial de este fenómeno demuestra a las estaciones ubicadas en las zonas de alta montaña es donde se da el mayor número de eventos, como en las estaciones Monte Alegre, con 16 días de nevada en 1980 y Villa del Carbón con 12 días en 1958; ambas estaciones consideradas de alta montaña por su altitud. A su vez, los meses de mayor incidencia de eventos son enero y febrero en las estaciones Loma Alta, Chignahuapan, Pue., con 10 días de nevada en enero de 1972 y Loma Alta, Zinacantepec, Méx., con 7 días de nevada en febrero de 1980. La temperatura mínima extrema en las estaciones alrededor de la Sierra Nevada, en general, después de la década de los 80 presentan tendencia al aumento, lo que paradójicamente evitaría algunos riesgos por temperaturas bajas; sólo en las dos estaciones más altas ubicadas sobre esta sierra, Río Frío y Hueyatlaco, su tendencia es al descenso, pero se trata del periodo comprendido entre 1940 y 1980 y ambas estaciones ya no funcionan. Por otra parte, según el resultado de la precipitación invernal y sus anomalías, en las laderas de la Sierra Nevada se ha estado dando en los últimos años una disminución clara de la precipitación de la temporada invernal con el predominio de anomalías negativas.

La tendencia de nevadas en la estación Nevado de Toluca, que se pudo realizar de manera más sistematizada por la información que presenta, es de una disminución en el número de días de nevada, que se hace más evidente a partir de 1993; el año con mayor número de eventos corresponde a 1976 con 67 días. En cuanto a la precipitación, los resultados indican que aunque en la total anual el decremento no es muy significativo, al hacer la estimación únicamente de la precipitación en la temporada invernal la tendencia al descenso es más evidente, así como el predominio de las anomalías negativas. De igual manera, fue posible detectar algunos años con una gran correlación entre la precipitación y el número de nevadas de la temporada invernal. Sin embargo, en cuanto al análisis de la temperatura en esta estación, no se encontró un incremento considerable que explicara la causa directa de la falta de nevadas sobre la zona. Esto puede sugerir que existen otras condiciones meteorológicas aparte de la condición de temperatura que pudo haber cambiado para condicionar la disminución en el número de nevadas tales como la humedad del aire, el tipo de cobertura vegetal, el albedo y condiciones meteorológicas particulares que ya no se presentan como en la primera mitad del siglo XX. Al respecto se sugieren mayores análisis dentro del campo de la Climatología Sinóptica para identificar dichos cambios y tendencias en las últimas cinco décadas.

Se realizaron una serie de encuestas, entrevistas y trabajo de campo con los que se alcanza a percibir la opinión que la sociedad tiene sobre las nevadas y su tendencia. El resultado obtenido tanto en la aplicación de las encuestas como de las entrevistas a las personas que han tenido alguna relación con este fenómeno es de que las nevadas han disminuido en los últimos años tanto en frecuencia como en intensidad; prueba de ello, es la escasez de agua que sufren las personas asentadas en los poblados de las faldas de la sierra, que se abastecen de los deshielos de los glaciares.

Los resultados generales de este estudio tanto en la investigación de eventos por medio de datos instrumentales como en la investigación hemerográfica y la percepción que la población tiene sobre la ocurrencia del fenómeno, indican una tendencia significativa a la baja en el número de eventos de nevada, sobre todo en la última década; sin embargo, en algunos años con fenómeno de El Niño se ha podido observar que la frecuencia de este evento en el centro del país es mayor tanto en la presencia del evento como en su intensidad y se han llegado a cubrir de nieve las principales montañas de la Sierra Nevada.

Es necesario ampliar la red de observación de alta montaña en México que pueda dar cuenta del comportamiento atmosférico para el seguimiento de eventos extremos. En este estudio se utilizaron datos de estaciones cercanas a las Sierra Nevada pero el número de estaciones por arriba de los 2500 msnm es limitado. Se recomienda continuar con estudios de temperatura a partir de datos satelitales o de climatología

de radiosondeos (diversos niveles de presión en la vertical) para identificar sistemas de tiempo en niveles medios y altos que potencian la existencia de corrientes en chorro y puntos de condensación y congelación para diversos eventos históricos y recientes.

El cambio de cobertura vegetal es uno de los factores que modifican la línea de condensación y formación de nieblas y nieve; sin embargo, hacen falta estudios que verifiquen esta hipótesis en los sistemas de alta montaña en México. De igual manera, se recomienda realizar más estudios que analicen los impactos que tendrán los sistemas con la desaparición de los glaciares, principalmente sobre la población asentada alrededor de la Sierra Nevada.

Como resultado final de este trabajo se concluye que, de acuerdo a los resultados obtenidos, las nevadas en el centro del país han disminuido tanto en el número de eventos como en su intensidad, lo que sumado al ascenso de la temperatura mínima que se está dando alrededor de la Sierra Nevada y la disminución de la precipitación invernal en esta zona pueden ser las principales causas del retroceso de los glaciares.

Este estudio podría ser el inicio de un programa de investigación acerca de las nevadas. Falta mucho por hacer y se espera continuarla con otras alternativas y recursos o que al menos se logre despertar el interés en los jóvenes por investigar un fenómeno tan extraordinario como la nevada.

## REFERENCIAS

### FUENTES BIBLIOGRÁFICAS.

- Barriendos, M.** (1999). La Climatología histórica en el marco geográfico de la antigua monarquía hispana. En: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona.
- Burns, E.** (2006). Hacia el Ordenamiento Ecológico de la Sierra Nevada. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Burroughs W.J. et al.** (1998). Observar el tiempo. Ed. Planeta, Barcelona, España.
- Cagliani, M.** (2006). Medidas antiguas y modernas. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Buenos Aires.
- Castro, J.** (1979). Microfísica de nubes. Subdirección de Investigación y Tecnología de Apoyo. S.A.R.H. y Departamento de Física, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N.
- Cenapred** (2001). Diagnóstico de Peligros e Identificación de Desastres en México. Secretaría de Gobernación.
- Cenapred** (2010). Tormentas severas. Riesgos Hidrometeorológicos. Secretaria de Gobernación.
- Cenapred-UNAM** (1995). Volcán Popocatepetl. Estudios realizados durante la crisis de 1994-1995. Secretaría de Gobernación.
- Clicom (CLImat COMputing project)** (marzo 2010) Servicio Meteorológico Nacional.
- CNA** (2008) Bases de datos de la Gerencia de aguas superficiales e ingeniería de ríos (GASIR).
- Cortez, M.** (1998). El ciclo anual de la actividad convectiva en México con base en el análisis de valores medios para 5 días de OLR. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. Tesis de maestría.
- Delgado, H.** (1986). Los glaciares de México, metodologías para su estudio. Instituto de Geofísica, UNAM, México.
- Delgado, H.** (1996). Los glaciares del Popocatepetl: ¿huéspedes efímeros de la montaña? En; Ciencias, Revista de la Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Delgado, H.** (2011). Posible desaparición de glaciares del volcán Izataccíhuatl en 2015. En: Boletín UNAM\_DGCS-064, Ciudad Universitaria, enero 2011.
- Desinventar** (2005). Base de Datos de LA RED (Red Latinoamericana de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina), México.
- Diaz, H. Eischeid, J. Duncan, CH. And Bradley, R.** (2003). Variability of freezing levels, melting season indicators, and snow cover for selected High-elevation and continental regions in the last 50 years. University of Massachusetts.
- El Faro** (2009). Boletín informativo de la Investigación Científica. Ciudad Universitaria año VIII, no. 96.
- Escobar, A.** (2004). Desastres Agrícolas en México. Catálogo Histórico II. Siglo XIX (1822-1900).FCE, CIESAS, México.

- García, V. et al.** (2003). Desastres Agrícolas en México, Catálogo Histórico (Tomo I). Épocas prehispánica y colonial (958-1822) CIESAS, FCE. México.
- González, J.** (2006) Las nevadas en Madrid entre 1995-2006 en; Revista del Aficionado a la Meteorología, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, España.
- Griffiths, J.** (1985) Climatología aplicada. Publicaciones Cultural, México.
- H. Ayuntamiento Municipal de Huauchinango** (1978). Anales de Huauchinango, Pue.
- Hernández, M. y Granados, D.** (2006). El parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl-Zoquiapan y el impacto ecológico-social de su deterioro, en Revista Chapingo, Serie ciencias forestales y del ambiente, julio-diciembre, año/vol 12 número 002, UACH.
- IMTA** (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2006). Extractor Rápido de información climática ERIC III. Jiutepec, Mor. México.
- INEGI** (2008). Archivo climatológico del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Jáuregui, E** (2000). El clima de la Ciudad de México. Instituto de Geografía, UNAM y Plaza y Valdés editores. México.
- Jáuregui, E.** (1979). La variabilidad climática en los registros instrumentales de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM.
- Jáuregui, E.** (2003). Algunos conceptos modernos sobre la circulación general de la atmósfera. Investigaciones Geográficas. Instituto de Geografía. UNAM.
- Kaser, G.** (1999). A review of the modern fluctuations of tropical glaciers. Global and Planetary Change. Institut für Geographie, Austria.
- Knight, P.** (2007) Glacier Science and environmental change. Blackwell publishing, Garsington Road, Oxford, Australia.
- Lloid J.** (2007). Wather, The forced of nature that shape our world. Parragon Publishing Book.
- Llorente, F.** (2004). Meteorología. Las nubes, adornos en los cielos. Instituto Nacional de Meteorología, España.
- Lorenzo, J.L.** (1964). Los glaciares de México. Monografías del Instituto de Geofísica, UNAM, México.
- Luna, M.** (2002). Estudios Glaciológicos en el volcán Iztaccihuatl. Facultad de Ingeniería, UNAM, Tesis profesional.
- Luna, M. y Llorente, J.** (2004). Papilionoidea (Lepidoptera: Rhopalocera) de la Sierra Nevada, México. FES Zaragoza, UNAM.
- Magaña V.** (2004). Los impactos de EL Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Pembu. UNAM.
- Martín, J. y Olcina, J.** (1996). Tiempos y climas mundiales. ed. oikos-tau. España
- Martín, L. F.** (2003). Las gotas frías/DANAS, Ideas y conceptos básicos. Instituto Nacional de Meteorología. España.
- Méndez, J. et al.,** (2008): Análisis de tendencias de precipitación en México (1920-2004) en: Revista de Investigaciones Geográficas, número 065. UNAM.

- Montero, I.** (2004). Atlas arqueológico de la alta montaña mexicana, Semarnat, Comisión Nacional Forestal. México.
- Mosiño P. y García E.** (1974). The Climate of Mexico. World survey of climatology, in Bryson, vol.II. London.
- Ortega del Valle S.** (2001). Las Variaciones Climáticas en la Región Central de México, Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, UNAM, Tesis de Licenciatura.
- Pruppacher, H. R.** (1980). Microphysics of clouds and Precipitation. Reidel Publishing Company.
- Rivera, A.** (1998). Los glaciares de México. En; revista Elementos No. 30, Vol.5, Universidad Autónoma de Puebla.
- Rogers, R.** (1989). Física de las nubes, Ed. Reverté, Barcelona, España.
- Sánchez, A. y López, L.** (2003). Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal en: Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica 47-71, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Steiner D. et al.** (2008). Sensitivity of European glaciers to precipitation and temperatura. Institute of Geography, Climatology and Meteorology, University of Bern, Switzerland.
- Tibol, R.** (1981). Hermenegildo Bustos, pintor del pueblo. CONACULTA Ed. Era, México.
- Upadhyay, D.** (1995). Cold Climate Hydrometeorology. Ed. Eiley, John & Sons, Incorporated. New Delhi.
- Vázquez, L.** (2004) Investigaciones de los glaciares y del hielo de los polos. En: Los cambios climáticos del cuaternario y las glaciaciones. publicaciones SEMARNAT e INE. México D.F.
- Vázquez, L.** (2008). Huellas del pasado en las altas montañas. En: revista de Ciencia y Desarrollo, CONACYT julio 2008. Mexico.
- Vidal R.** (2001), Climatología de los inviernos en México, tesis doctoral, Postgrado de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

#### FUENTES HEMEROGRÁFICAS

- El Economista:** <http://eleconomista.com.mx/node/238666>
- El Sol de Toluca:** 29 de enero de 2007,2010
- El Sol de Hidalgo** <http://www.oem.com.mx/elsoldehidalgo>
- El Universal:** 11 de enero 1967, 2006, 2007, mayo 2008,2009,2010
- Excélsior** 11: de enero 1967
- La Jornada:** 1998, 2001,2004,2005,2006,2007,2008,2009,2010.
- Reforma:** 1995, 1996, 1997, 1999, 2002, 2003, 2004, marzo, abril, junio 2008
- Novedades.** <http://www.novedades.com.mx/> 1996
- El Financiero:** <http://www.elfinanciero.com.mx/> 2009
- La Crónica:** <http://www.cronica.com.mx/opinion.php> diciembre 2005,2008, 2010
- Ovaciones 2007:** <http://www.ovaciones.com/> 4 de noviembre 2007
- El Informador.** <http://www.elinformador.com.mx/>
- Notimex.** <http://notimex.com.mx/>2004,2005,2006,2007,2009
- Agencia MTV.** <http://diarioportal.com/2010/01/04/piscis-123/>
- La Hora Guatemala.** <http://www.lahora.com.gt/notas.php?key>
- Milenio.** <http://impreso.milenio.com/Nacional/2011/01/29/>
- Noticias Televisa:** <http://www.esmas.com/noticierotelevisa/>
- Universo. El periódico de los universitarios.** <http://www.uv.mx/universo/385/central.htm>.



## FUENTES ELECTRÓNICAS

**Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México:** <http://www.aeropuertomexico.com/>  
**Ceja A. L. :** <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php>: <http://tachiblog.com>  
**El café en Cuetzalan.** [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/laac/moran\\_r\\_g/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/laac/moran_r_g/capitulo3.pdf)  
**CECYT:**[http://www.cecyl10.ipn.mx/public\\_html/oferta\\_educativa/diagnostico/historia\\_diagnostico.html](http://www.cecyl10.ipn.mx/public_html/oferta_educativa/diagnostico/historia_diagnostico.html)  
**CFE.** Conceptos hidrometeorológicos (2008): <http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/Meteorologico>.  
**CIESAS:** <http://www.ciesas.edu.mx/Publicaciones/diccionario/>  
**SENEAM** Clave\_METAR <http://www.seneam.gob.mx>  
**CNA.** Aguas superficiales: <http://www.Conagua.gob.mx/>  
**CONABIO:**<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalización/docts>  
**Conanp (2009).**Listado de especies del parque nacional Izta-Popo-Zoquiapan. <http://iztapopo.Parque Nacional Nevado de Toluca>. <http://conanp.gob.mx/pdf/>.  
**Global terrestrial Network for Glaciers:** <http://gtn-g.org>  
**INEGI:** <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/datosgeogra/.cfm-2003,2005,2006>.  
**IPCC:** <http://www.ipcc.ch/ipccreports/climate-changes-2007>  
**NASA:**<http://www.nasa.gov/audience/forstudents>  
**NOAA:** <http://www.hpc.ncep.noaa.gov/international/turbc.shtml>  
**OMM.** Organización Meteorológica Mundial: [http://www.wmo.int/pages/index\\_es.html](http://www.wmo.int/pages/index_es.html).  
**Neyra J.reportaje:** <http://www.xpmexico.com/index.php?module=>  
**Gobierno Municipal de Amecameca (2003).** Plan de Desarrollo Urbano de Amecameca 2003: [http://seduv.edomexico.gob.mx/planes\\_municipales/amecameca/](http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/amecameca/)  
**Real Academia de la Lengua Española:** <http://www.rae.es/rae.html,2001>  
**SMN:** <http://smn.cna.gob.mx/> 2007,2008, Comunicado de Prensa 020-11 de 31 de enero de 2011.  
**UNESCO:** [waterportal@unesco.org](mailto:waterportal@unesco.org)  
**Digital, Universidad de Rutgers:** <http://www.digital.com/ciencia/la-ultima-decada>

## COMUNICACIÓN PERSONAL

**Baumgardner:** Darrel CCA. Entrevista, noviembre 2009  
**Castillo C:** SMN. Entrevista 2009.  
**Hernández Unzón A.** SMN. Entrevista junio 2009.  
**Serratos A.** SMN. marzo 2010.  
**Vega Mosis:** Tiemporo de Amecameca. Entrevista julio 2008.

# ANEXOS

## ANEXO 1

### ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS POR ESTADO

#### 09. DISTRITO FEDERAL

ID_CLICOM	NOMBRE DE ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
09001	AEROPUERTO INTERNACIONAL OBS	19.43944444	-99.07416667	2234
09002	AJUSCO	19.21722222	-99.20500000	2920
09003	AQUILES SERDAN 46	19.46500000	-99.18333333	2255
09007	CINCEL 42 (COL SEVILLA)	19.40000000	-99.11666667	2250
09009	COL. AGRICOLA ORIENTAL	19.39944444	-99.07500000	2235
09011	COL. DEL VALLE (SMN)	19.39777778	-99.16666667	2245
09013	COL. MOCTEZUMA (SMN)	19.42611111	-99.09888889	2235
09016	CUAJIMALPA	19.35000000	-99.30000000	2283
09019	DESIERTO DE LOS LEONES	19.31305556	-99.30916667	3040
09020	DESV. ALTA AL PEDREGAL	19.29694444	-99.24888889	2470
09021	EGIPTO 7	19.46388889	-99.18611111	2247
09022	EL GUARDA	19.13444444	-99.17305556	2990
09023	GUADALUPE INN	19.35138889	-99.18611111	2270
09024	HACIENDA PEÑA POBRE	19.29972222	-99.19916667	2290
09025	HACIENDA LA PATERA	19.51277778	-99.15944444	2240
09026	MORELOS 77	19.36666667	-99.08333333	2240
09027	JARDIN BOTANICO	19.42333333	-99.19222222	2240
09030	LA VENTA CUAJIMALPA	19.33472222	-99.31055556	2850
09032	MILPA ALTA	19.19222222	-99.02305556	2420
09034	MOYOGUARDA	19.25000000	-99.10000000	2260
09035	COL SN JOSE INSURGENTES	19.36666667	-99.18333333	2260
09036	COLONIA MARTE	19.39527778	-99.09777778	2235
09037	PRESA ANSALDO	19.32055556	-99.22027778	2400
09039	PRESA TACUBAYA	19.39722222	-99.21250000	2340
09040	SAN BORJA 726	19.38333333	-99.16666667	2250
09041	SAN FCO. TLALNEPANTLA	19.19666667	-99.12861111	2620
09042	S. GREGORIO ATLAPULCO	19.21666667	-99.08333333	2250
09048	CENTRAL TACUBAYA (OBS)	19.40361111	-99.19611111	2308
09051	TLAHUAC	19.26277778	-99.00361111	2240
09052	UNIDAD MODELO	19.36666667	-99.11666667	2259
09054	GENERAL ANAYA	19.36666667	-99.16666667	2240
09056	IXTACALCO	19.37750000	-99.12833333	2235
09058	VERTEDOR MILPA ALTA	19.19222222	-99.02305556	2455
09067	MONTE ALEGRE	19.21666667	-99.28333333	3450

**13. ESTADO DE HIDALGO**

ID_CLICOM	NOMBRE DE ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
13001	ACAYUCA	20.02972222	-98.84194444	2440
13002	APAN (DGE)	19.70944444	-98.44916667	2496
13006	CIUDAD SAHAGUN	19.77166667	-98.58055556	2450
13007	CORRALEJO	19.63333333	-98.66666667	2820
13008	EL MANANTIAL	19.85166667	-98.93638889	2290
13009	EPAZOYUCAN	20.01722222	-98.63555556	2460
13012	HUICHAPAN	20.37138889	-99.64888889	2200
13013	IXMIQUILPAN (SMN)	20.48222222	-99.21916667	1700
13015	S AGUSTIN METZQUITITLAN	20.51888889	-98.63750000	1421
13016	MINERAL DEL MONTE	20.13972222	-98.67166667	2710
13017	MINERAL DEL CHICO	20.21527778	-98.73111111	2360
13019	MOLANGO	20.78333333	-98.71666667	1650
13020	NOPALA	20.01527778	-98.71222222	2340
13022	PACHUCA (OBS)	20.12833333	-98.74750000	2425
13025	PROGRESO	20.24305556	-99.18888889	2000
13026	ALFAJAYUCAN	20.40250000	-99.34861111	1890
13028	SAN MIGUEL ALLENDE	19.87361111	-98.40444444	2550
13029	SAN LORENZO ZAYULA	19.98750000	-98.29833333	2350
13030	SAN RAFAEL MAZATEPEC	19.86472222	-98.35583333	2536
13031	SANTIAGO TULANTEPEC	20.04444444	-98.36833333	2180
13034	TENANGO DE DORIA (SMN)	20.33750000	-98.22555556	1700
13035	TEZONTEPEC (SMN)	20.19250000	-99.27250000	2000
13037	TLANALAPAN	19.81777778	-98.60416667	2450
13039	TOLCAYUCA	19.95777778	-98.92277778	2380
13041	TULANCINGO (OBS)	20.08416667	-98.35722222	2213
13042	ZACUALTIPAN (SMN)	20.64666667	-98.65500000	1980
13043	ZEMPOALA	19.91500000	-98.66972222	2450
13044	ZIMAPAN	20.73694444	-99.38194444	1780
13045	APAN (SMN)	19.70944444	-98.45000000	2490
13047	TEZONTEPEC (DGE)	20.20222222	-99.34333333	2320
13048	TLANCHINOL (SMN)	20.98777778	-98.66000000	1550
13050	ZACUALTIPAN (DGE)	20.64388889	-98.65305556	1980
13051	JACALA	20.87777778	-99.20833333	2330
13059	ACATLAN	20.59166667	-98.75722222	2140
13061	ALCHOLOYA	20.22500000	-98.45277778	2110
13064	CHAPANTONGO	20.28444444	-99.41222222	2120
13065	ENCARNACION	20.87388889	-99.21000000	2380
13067	EL ALAMO	20.44027778	-98.57388889	1960

13068	EL SALTO	19.94444444	-99.28527778	2150
13071	EL TAJO	20.46250000	-98.67638889	1300
13072	E.T.A. 27 NOPALA	20.21666667	-99.75000000	2164
13076	JONACAPA	20.43916667	-99.53250000	2300
13077	METZTITLAN	20.59611111	-98.76305556	1340
13079	PRESA EL GIRON	20.06444444	-98.65166667	2420
13081	PRESA GOLONDRINAS	20.43611111	-99.37638889	1900
13082	PRESA LA ESPERANZA	20.06444444	-98.34500000	2200
13083	PRESA MADERO	20.32333333	-99.72166667	2200
13085	PRESA TEZOYO	19.72500000	-98.39916667	2560
13093	VENADOS	20.47166667	-98.66888889	1400
13096	ATOTONILCO	20.28166667	-98.66000000	2220
13104	CHAPULHUACAN (SMN)	21.13222222	-98.87166667	940
13109	ETA. 385 S. DE ANAYA	20.38138889	-98.96333333	2040

**15. ESTADO DE MEXICO**

ID_CLICOM	NOMBRE DE ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
15001	ACAMBAY	19.95666667	-99.84583333	2550
15004	ALMOLOYA DEL RIO (DGE)	19.15555556	-99.49166667	2610
15005	AMANALCO DE BECERRA	19.25194444	-100.01972222	2340
15007	AMECAMECA DE JUAREZ (DGE)	19.14055556	-98.77222222	2480
15008	ATENCO (DGE)	19.54388889	-98.91277778	2240
15009	ATLACOMULCO (SMN)	19.79750000	-99.87444444	2565
15010	ATOTONILCO	19.46305556	-99.77666667	2550
15011	ATARASQUILLO	19.31805556	-99.46805556	2690
15015	AMECAMECA DE JUAREZ	19.12777778	-98.76277778	2480
15017	COATEPEC DE LOS OLIVOS	19.38472222	-98.84611111	2400
15018	COL. M AVILA CAMACHO	19.32750000	-98.76361111	2900
15020	CHALCO	19.25833333	-98.89583333	2240
15025	EJIDO LLANO GRANDE	19.57277778	-99.66500000	2550
15026	ENYEJE	19.56388889	-99.85750000	2550
15027	EL SALITRE	19.50000000	-99.30000000	2480
15030	HACIENDA LA Y	19.40500000	-99.56305556	2570
15032	HUEHUETOCA	19.84861111	-99.21250000	2258
15033	HUIXQUILUCAN	19.36111111	-99.35083333	2710
15036	IXTLAHUACA	19.56416667	-99.76000000	2540
15037	JIQUIPILCO	19.55916667	-99.60777778	2827
15039	JUCHITEPEC	19.08694444	-98.88472222	2860
15040	GRAN CANAL KM. 2+120	19.60972222	-99.06000000	2250
15045	LA MARQUESA	19.29861111	-99.36861111	3050

15049	LERMA	19.28472222	-99.51194444	2570
15050	LOS REYES LA PAZ	19.35777778	-98.99166667	2330
15051	LOS VELAZQUEZ	19.42388889	-99.86944444	2580
15053	MAGDALENA CHICHICASPA	19.41805556	-99.32277778	2550
15055	MAQUIXCO	19.78416667	-98.83222222	2580
15057	MIMIAPAN	19.44305556	-99.46444444	2935
15058	MOLINITO	19.45361111	-99.23833333	2300
15059	MOLINO BLANCO	19.47750000	-99.22083333	2300
15062	NEVADO DE TOLUCA	19.11861111	-99.78138889	4162
15063	NUEVA SANTA ELENA	19.41111111	-99.69944444	2600
15066	PALIZADA	19.50750000	-100.09777778	2650
15070	PRESA BEOCKMAN	19.76916667	-100.14027778	2900
15071	PRESA EL TIGRE	19.78027778	-99.68638889	2700
15072	PRESA EMBAJOMUY	19.71027778	-99.94527778	2670
15073	PRESA GUADALUPE	19.62333333	-99.28222222	2300
15074	PRESA LA CONCEPCION	19.69500000	-99.30166667	2385
15076	PRESA TEPETITLAN	19.66277778	-99.95444444	2600
15077	PRESA TOTOLICA	19.45277778	-99.28361111	2380
15079	PUENTE ANDARO	19.90805556	-100.02333333	2370
15080	ATLAUTLA REPETIDORA TV	19.02722222	-98.78055556	2350
15082	RIO FRIO	19.34750000	-98.66861111	3000
15085	SAN BARTOLO DEL LLANO	19.52444444	-99.74138889	2540
15087	SAN FELIPE DEL PROGRESO	19.52916667	-99.94500000	2570
15089	SAN FCO.TLALCILCALPA	19.29277778	-99.76750000	2755
15090	SN.JERONIMO XONACAHU	19.73694444	-98.94055556	2270
15091	SN.JOSE TEPETLAOXTOC	19.60000000	-98.68333333	2810
15093	SAN LORENZO MALACOTA	19.64694444	-99.61333333	2625
15094	SAN LUIS AMECA	19.19027778	-98.87083333	2400
15095	SAN LUIS AYUCAN	19.49527778	-99.36777778	2750
15099	SAN MATEO ACUITLAPILCO	19.76361111	-99.04416667	2250
15102	SAN ONOFRE	19.69194444	-100.09527778	2760
15103	SAN PEDRO NEXAPA	19.08361111	-98.73833333	2620
15104	SAN PEDRO POTLA	19.85500000	-99.96777778	2450
15105	SAN PEDRO TECHUCHULCO	19.11444444	-99.52083333	2580
15106	SAN RAFAEL	19.20777778	-98.75777778	2600
15108	SANTA MARIA DEL MONTE	19.30611111	-99.82472222	2900
15109	STA.M.MAGDALENA CAHUACAN	19.63750000	-99.41388889	2750
15111	SANTA MARIA NATIVITAS	19.58194444	-99.60833333	2780
15112	SANTIAGO YECHE	19.70388889	-99.70583333	2690
15113	SANTIAGO TIANGUISTENCO	19.18055556	-99.46833333	2620
15119	TEMOAYA	19.46972222	-99.59305556	2670

15120	TOMA TECOMATEPEC	18.94666667	-99.71777778	2208
15122	TENAGO DEL VALLE	19.10694444	-99.61722222	2600
15126	TOLUCA (OBS)	19.29111111	-99.71416667	2726
15127	TOTOLICA S. BARTOLO	19.46583333	-99.24555556	2300
15128	TULTENANGO	19.81194444	-100.08138889	2578
15131	VILLA DE ALLENDE	19.36666667	-100.08333333	2900
15132	VILLA DEL CARBON	19.71666667	-99.46666667	2755
15133	PRESA VILLA VICTORIA (CFE)	19.45722222	-99.99194444	2580
15134	VIVERO LA PAZ	18.89416667	-99.64305556	1900
15135	XOCHIHUACAN	19.62305556	-98.67444444	2750
15139	ATLACOMULCO (DGE)	19.79583333	-99.88111111	2565
15141	E.T.A.32 TLALPITZAHUATL	19.33166667	-98.90333333	2300
15142	SAN MARCOS TLAZALPAN	19.78583333	-99.71777778	2745
15149	SAN LORENZO HUITZIZILAPA	19.39750000	-99.44833333	2745
15156	SAN MIGUEL JAGÜEYES	19.83583333	-99.28083333	2288
15158	SAN PEDRO DE LOS BAÑOS	19.66916667	-99.83083333	2545
15163	TEXCOCO (SMN)	19.51666667	-98.88333333	2278
15164	TOLUCA (OFICINAS)	19.29166667	-99.63055556	2638
15167	EL TEJOCOTE	19.44333333	-98.90277778	2485
15174	PALO MANCORNADO	19.29250000	-99.92222222	3000
15176	ALMOLOYA DEL RIO (SMN)	19.17305556	-99.59166667	2572
15183	EL ORO	19.80916667	-100.12944444	2740
15185	PRESA EL MOLINO	20.12694444	-99.74055556	2500
15187	PRESA HUAPANGO	20.05444444	-99.69027778	2555
15190	SAN ILDEFONSO	20.19750000	-99.95638889	2300
15193	PRESA TAXHIMAY	19.84166667	-99.40750000	2230
15199	MINA VIEJA	19.55611111	-99.94750000	2880
15207	EL MOLINO II	19.26666667	-99.75000000	2750
15208	POZO CUATRO	19.71055556	-99.83027778	2575
15210	SAN JUAN TOTOLAPAN	19.52972222	-98.72666667	2750
15225	JILOTEPEC	19.95805556	-99.53166667	2500
15229	LOMA ALTA	19.17194444	-99.80611111	3432
15230	PALO AMARILLO	19.65000000	-100.21666667	3080
15232	SAN BARTOLO DEL PROGRESO	19.10638889	-99.41027778	2750
15233	SAN NICOLAS MAVATI	19.58666667	-99.94555556	2910
15238	SANTA MARIA DEL LLANO	19.51472222	-99.72861111	2540
15245	LA JORDANA	19.79611111	-99.99500000	2630
15252	ATLAUTLA E-9	19.02722222	-98.78055556	2350
15255	IXTLAHUACA VILLADA E-30	18.92027778	-99.80111111	2174
15259	AGUA BENDITA	18.98472222	-99.85638889	2820
15261	EL JASMIN	20.02083333	-99.88000000	2650

15287	LA COMUNIDAD D-8	19.13472222	-99.93000000	2500
15288	ECATZINGO E-8	18.95583333	-98.75277778	2250
15292	SAN FCO.TEPEXOXUCA E-20	19.05638889	-99.54833333	2630
15293	SAN JUAN LAS HUERTAS	19.23750000	-99.76416667	2840
15294	SAN PEDRO TLANIXCO E-18	19.06666667	-99.65000000	2800
15296	SAN SEBASTIAN E-27	18.97388889	-99.48472222	2045
15300	STA. MARTHA E-29	19.06027778	-99.38083333	2820
15307	SAN BARTOLOME D-5	19.00444444	-99.67416667	2450
15312	COL.ALVARO OBREGON	19.37777778	-99.49583333	2580
15313	SAN PEDRO ZICTEPEC	19.03444444	-99.57722222	2550
15319	ASERRADERO DE LA ROSA	18.90388889	-99.69055556	2680
15390	HUEYATLACO	19.08333333	-98.65000000	3557
15391	IXTA-POPO	19.09555556	-98.64305556	3682

## 21. ESTADO DE PUEBLA

ID_CLICOM	NOMBRE DE ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
21008	AQUIXTLA (CFE)	19.79583333	-97.93611111	2310
21009	ALCOMUNGA	18.43055556	-97.02500000	2200
21021	CAPULUAQUE	19.79166667	-97.76111111	2180
21025	CHILCHOTLA (CFE)	19.25500000	-97.18277778	2220
21029	COLONIA TEMEXTLA	19.62194444	-97.68111111	2410
21031	CUESTA BLANCA (DGE)	18.85861111	-97.46305556	2360
21032	CUETZALAN DEL PROGRESO	20.03888889	-97.52222222	1000
21036	EL CARMEN	20.09000000	-98.14000000	2185
21038	EL PROGRESO	19.38527778	-97.28916667	2455
21039	GUADALUPE POTREROS	18.87416667	-97.32416667	2570
21042	HONEY (CFE)	20.25000000	-98.20000000	2100
21043	HUAHUAXTLA (CFE)	19.91555556	-97.60722222	1625
21046	HUEJOTZINGO	19.16194444	-98.40638889	2270
21047	IXTACAMAXTITLAN (CFE)	19.62277778	-97.81416667	2175
21051	JOPALA (CFE)	20.19694444	-97.80972222	725
21052	ALCHICHICA	19.41194444	-97.39388889	2380
21053	SAN BERNARDINO LAGUNAS	18.60388889	-97.27250000	2446
21054	LA FUNDICION (CFE)	19.85000000	-97.81666667	1565
21056	LA TRINIDAD	19.28583333	-97.21361111	2650
21059	OYAMELES	19.71416667	-97.54750000	2650
21066	PUEBLO NUEVO (CFE)	19.95555556	-98.11111111	2670
21067	QUIMIXTLAN (CFE)	19.26361111	-97.14805556	2070
21069	S ANTONIO ARROYO PRIETO	19.54500000	-97.83250000	2140
21072	SAN DIEGO TEXMELUCAN	19.01972222	-97.45055556	2570



21073	SAN ISIDRO CANOAS ALTAS	18.98277778	-97.35222222	3040
21074	SAN JUAN ACATENO (CFE)	19.87638889	-97.36722222	1600
21077	SAN LUIS ATEXCAC (DGE)	19.34638889	-97.45611111	2420
21081	SANTA CRUZ COYOTEPEC	19.02333333	-97.56694444	2460
21084	TELPATLAN	18.52805556	-97.14472222	2400
21086	TEPEACA	18.98111111	-97.89694444	2220
21089	TEPEYAHUALCO	19.49333333	-97.49222222	2340
21090	TEZIUTLAN CFE	19.82916667	-97.36250000	2000
21091	TEZIUTLAN SMN	19.83027778	-97.35000000	1961
21095	TLACHICHUCA	19.14222222	-97.42000000	2590
21098	TLATLAUQUITEPEC (CFE)	19.91944444	-97.46388889	2025
21100	VISTA HERMOSA	19.12972222	-97.73333333	2560
21103	ZACAPOAXTLA (SMN)	19.87166667	-97.58833333	1820
21104	ZACAPOAXTLA (DGE)	19.89111111	-97.59111111	1700
21105	ZACATEPEC	19.26611111	-97.53361111	2360
21107	ZACATLAN	19.96000000	-97.96000000	2100
21111	SANTIAGO ZAUTLA	19.71444444	-97.67277778	1940
21117	GUADALUPE VICTORIA	19.29138889	-97.34194444	2425
21118	HUAUCHINANGO	20.19250000	-98.05916667	1520
21119	LIBRES (SMN)	19.50027778	-97.75805556	2430
21122	ORIENTAL	19.37722222	-97.61805556	2350
21126	LOMA ALTA (CFE)	19.82972222	-97.99305556	2150
21127	XICOTEPEC DE JUAREZ	20.29361111	-97.96027778	1179
21129	FRANCISCO I. MADERO	19.61472222	-97.50111111	2585
21136	ACAJETE	19.11250000	-97.95611111	2430
21140	CHIGNAHUAPAN (DGE)	19.83944444	-98.03277778	2300

**29. ESTADO DE TLAXCALA**

ID_CLICOM	NOMBRE DE ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
29001	ACHICHAPA	19.55000000	-98.65000000	2800
29002	APIZACO	19.41555556	-98.14000000	2410
29003	ATLANGA SAN JOSE	19.55555556	-98.20305556	2480
29006	CUAULA	19.60111111	-98.64888889	2600
29008	ESTOYITO	19.56666667	-98.63333333	2700
29010	HUEYOTLIPAN	19.47194444	-98.34527778	2560
29011	HUAMANTLA	19.31583333	-97.91111111	2520
29012	LA GLORIA (CFE)	19.62055556	-97.98000000	2750
29015	MAZAPA	19.53888889	-98.55611111	2714
29017	NANACAMILPA (SMN)	19.48333333	-98.53333333	2734
29021	S.ANDRES BUENAVISTA	19.56972222	-98.27000000	2560
29022	SAN BUENAVENTURA	19.60000000	-98.31666667	2532

29024	SANCTORUM	19.49250000	-98.47194444	2740
29025	SAN MARCOS	19.59694444	-98.63194444	2540
29026	ZITLALTEPEC	19.19972222	-97.90750000	2370
29027	TOCATLAN	19.38861111	-98.02138889	2390
29028	SOMBRERITO	19.53333333	-98.65000000	2860
29029	TEMONTITLA	19.56666667	-98.46666667	2540
29032	TLAXCO	19.59250000	-98.12555556	2530
29034	ZOQUIAPAN	19.58472222	-98.47805556	2500
29035	CALPULALPAN	19.58611111	-98.56388889	2520
29038	E.T.A. 72 NATIVITAS	19.23333333	-98.30000000	2240
29043	E.T.A. 161 XOCOYUCAN	19.30722222	-98.37277778	2220
29045	SANTIAGO TETLA	19.44055556	-98.10333333	2440

## ANEXO 2

### CUESTIONARIOS

#### PERCEPCION DE NEVADAS SOBRE LA SIERRA NEVADA: POPOCATÉPETL E IZTACCÍHUATL

##### CUESTIONARIO 1

1. ¿Cuántas nevadas ha visto sobre la Sierra Nevada, Popocatepetl o Iztaccíhuatl?  
R. Muchas
  2. ¿Cuándo fue la última nevada que vió?  
R: En este año, el mes pasado
  3. ¿Cuántas veces cae nieve en el año?  
R. De 3-5
  4. ¿Considera que ha habido en los últimos años igual o menos nevadas?  
R. Un poco menos
  5. ¿Por qué?  
R. Porque ya no hace mucho frío
  6. ¿Ha hecho menos frío en invierno?  
R. Sí
  7. ¿Ha llovido menos en el invierno?  
R. Sí
  8. ¿Ha habido más calor en el verano?  
R. Sí
  9. ¿El agua que baja de la sierra es menos o más en los últimos años?  
R. Menos
  10. ¿Ha visto si la nieve ya no llega a los límites que llegaba antes?  
R. No sé
  11. La nevada de 1967 ¿la vivió?  
R. Sí
  12. ¿Cuál fue su impresión?  
R. Se veían muy bonitos los cerros cubiertos de nieve
  13. ¿Ha subido a ver la nieve de cerca?  
R. No
- Sra. edad aproximada 65 años. Amecameca.

## CUESTIONARIO 2

### PERCEPCION DE NEVADAS SOBRE LA SIERRA NEVADA: POPOCATÉPETL E IZTACCÍHUATL

1. ¿Cuántas nevadas ha visto sobre la Sierra Nevada, Popocatepetl o Iztaccíhuatl?  
\_\_\_\_ Muchas, hace como 20 años, y desde entonces cada vez son menos frecuentes, teniendo quizá una por año.
2. ¿Cuándo fue la última que vio? ¿Puede precisar la fecha?  
\_\_\_\_ En enero de 2000 \_\_\_\_
3. ¿Cual es la percepción que tiene de las nevadas en los últimos años? Menos o más nevadas o igual número de ellas a través del año?  
\_\_\_\_ Menos nevadas, y la nieve desaparece muy rápido, no dura ni ocho días
4. Si ha habido menos ¿A qué cree que se debe?  
\_\_\_\_ Deforestación, incremento de la temperatura.
5. ¿Ha aumentado la temperatura en el invierno?  
\_\_\_\_ Sí \_\_\_\_\_
6. ¿No hay suficiente humedad en el aire?  
\_\_\_\_ Justamente \_\_\_\_\_
7. ¿Ha habido más calor en el verano?  
\_\_\_\_ Sí \_\_\_\_\_
8. ¿Qué evidencias claras se pueden dar sobre la disminución de las nevadas?  
\_\_\_\_ No se cubren las grietas por donde antes se podía ascender al volcán; las zonas de escala en hielo han desaparecido porque la falta de hielo ha provocado que las piedras se suelten \_\_\_\_\_
9. La intensidad de las nevadas ¿es la misma? \_No.  
\_\_\_\_
10. ¿Ha visto caer granizo a esas altitudes? ¿en qué época del año?  
\_\_\_\_ Sí, y aguanieve, generalmente cuando las lluvias son más intensas como mayo-julio
11. ¿La lluvia se ha hecho más frecuente?  
\_\_\_\_ Sí y muy intensa, y han aumentado las tormentas eléctricas \_\_\_\_\_
12. ¿Ha visto si la nieve ya no llega a los límites que llegaba antes?  
\_\_\_\_ Sí, la nieve cada vez se encuentra más arriba en la montaña
13. Recuerda la nevada de enero de 1967 ¿Cuál fue su impresión?  
\_\_\_\_ X \_\_\_\_\_
14. ¿Qué cree que ocurrirá en el futuro inmediato respecto a las nevadas y a los Glaciares de la Sierra Nevada?  
\_\_\_\_ Creo que van a ser menores las nevadas y con poca cantidad de nieve y los glaciares van a desaparecer \_\_\_\_\_
15. ¿Practica alguna actividad sobre las montañas, desde cuando?  
\_\_\_\_ Alpinista desde los nueve años de edad \_\_\_\_\_

Geógrafa y alpinista.