

# **Emplazamiento de las Estaciones Meteorológicas de Superficie de la Red Nacional: un análisis espacial**

Amparo Rosario Pérez Salazar, José Alberto Balancán Soberanis  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Morelos, México  
rosario\_perez@tlaloc.imta.mx, balancan@tlaloc.imta.mx

## Introducción

Por las afectaciones del clima y el estado del tiempo, en todos los sectores de la sociedad, se requiere de la generación de mejores pronósticos del tiempo. En la actualidad, una de las herramientas más utilizadas para las predicciones meteorológicas son los modelos numéricos que emplean las ecuaciones de las leyes físicas que describen el comportamiento de la atmósfera.

El pronóstico del tiempo, en particular, se basa en análisis meteorológicos precisos. Todos los análisis demandan datos de observación confiables los cuáles se recogen de manera periódica en centros de análisis desde las redes de observación meteorológica. En el caso de los análisis meteorológicos, la exactitud, la resolución temporal y espacial de estos datos dependen del fin que se persiga. Por ejemplo, en la atmósfera pueden coexistir varios fenómenos meteorológicos de diferentes escalas que pueden extenderse de unos pocos kilómetros en escala horizontal, con una duración de varias horas, hasta otros que abarquen cientos de kilómetros en escala horizontal, con duración de días. Por lo tanto, la frecuencia y la separación de las observaciones deben ser las adecuadas para la obtención de datos que describan los cambios en el tiempo y en el espacio de un fenómeno meteorológico, con suficiente resolución para satisfacer las necesidades de los usuarios.

Así también, el emplazamiento de las estaciones meteorológicas debe ser representativo del área en la cual están ubicadas, es decir que las variables atmosféricas medidas en el lugar deben ser típicas del área. Deben tomarse en cuenta otros criterios tales como: el relieve y altitud de dicha área, delimitación por cuenca hidrológica, naturaleza del suelo, vegetación natural, cultivos, zonas urbanas e industriales, presencia de obstáculos naturales o artificiales, cercanía al observador y fácil acceso; sin embargo, es evidente que las condiciones en las que fueron originalmente instaladas las estaciones meteorológicas han experimentado modificaciones en los diferentes lugares del país.

## Objetivo

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un análisis espacial del emplazamiento de las Estaciones Meteorológicas de Superficie de la Red Nacional con la finalidad de conocer si sus datos son representativos y si la aportación de estos datos satisface las necesidades de los usuarios.

## Red Nacional de Observación Meteorológica de Superficie

Se necesitan redes de observación en el territorio nacional para la generación e interpretación de pronósticos locales, para la verificación de los avisos emitidos y para otras aplicaciones. En México la red de observación meteorológica la constituyen las redes de observación de superficie y de altura; y las redes de teledetección, como radares y satélites meteorológicos geoestacionarios y polares.

Actualmente, en cuanto a la red nacional de observación de superficie, ésta incluye 272 estaciones distribuidas en la República Mexicana, de las cuales 84 constituyen la red sinóptica de superficie (ESIMES) y las 188 restantes forman la red de estaciones meteorológicas automáticas (EMAS).

Como se ha mencionado, estas redes de observación, como generadoras de información para la modelación meteorológica, precisan estar ubicadas adecuadamente para obtener los datos que describan un fenómeno meteorológico.

### Cuenca Hidrográfica

La Cuenca Hidrográfica es una unidad natural definida por la existencia de una división de las aguas en un territorio dado; son unidades morfológicas superficiales cuyos límites quedan establecidos por la división geográfica principal de las aguas de las precipitaciones pluviales, conocida también como parteaguas, que teóricamente es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta, desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas.

### Regiones Hidrológicas

Una región hidrológica es el área territorial conformada en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos; normalmente está integrada por una o varias cuencas y sus límites son en general distintos en relación con la división política por estados y municipios.

### Metodología

En este trabajo, mediante el uso de los sistemas de información geográfica, se hace un análisis espacial del emplazamiento de la red de estaciones meteorológicas de superficie en la República Mexicana; atendiendo el reglamento técnico de la Organización Meteorológica Mundial (WMO No. 49) se analiza la densidad de las estaciones meteorológicas y su representatividad en el sitio en la cual está ubicada, es decir que las variables atmosféricas medidas en el lugar deben ser típicas del área.

La metodología empleada fue elaborar un archivo de la cobertura de las estaciones meteorológicas de superficie utilizando como unidad de estudio las cuencas contenidas en cada región hidrológica del país. Esto permitió visualizar la distribución espacial de las estaciones en cada región hidrológica y su densidad.

### Datos de las Estaciones

Se obtuvo la información de las EMAS y ESIMES de la página oficial del Servicio Meteorológico Nacional SMN <http://smn.cna.gob.mx/emas/> en un archivo en Excell. En la figura 1 se muestra el catálogo.

CONAGUA  
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA  
SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

smn.conagua

Listados de Estaciones

Mapa LLave

Selección de Imágenes

» Catálogo de Estaciones

[Lista de 188 Estaciones Meteorológicas Automáticas - EMAs y 84 Estaciones Sinópticas Meteorológicas Automáticas - ESIMES](#)

Administradas por la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional - CGSMN

Listado de 188 Estaciones Meteorológicas Automáticas - EMAs - instaladas en la República Mexicana con Transmisión Vía Satélite

**CONTACTO**

Tec. Emmanuel Álvarez Ramírez  
[emmanuel.alvarez@conagua.gob.mx](mailto:emmanuel.alvarez@conagua.gob.mx)  
 Teléfono: 01-(55)-26-36-46-00 ext: 3372

ESTADO	NOMBRE	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud	Inicio de Datos
AGUASCALIENTES	<a href="#">CALVILLO</a>	21°50'58"	102°42'44"	1618	15/11/2004
AGUASCALIENTES	<a href="#">PRESA 50 ANIVERSARIO</a>	22°11'21"	102°27'53"	2063	05/12/12
AGUASCALIENTES	<a href="#">SIERRA FRIA</a>	22°16'11"	102°36'31"	2976	08/12/12
BAJA CALIFORNIA	<a href="#">PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA)</a>	32°26'50"	116°54'30"	156	07/05/1999
BAJA CALIFORNIA	<a href="#">PRESA EMILIO LÓPEZ ZAMORA (ENSENADA)</a>	31°53'29"	116°36'12"	32	02/07/1999
BAJA CALIFORNIA	<a href="#">MEXICALI</a>	32°40'01"	115°17'27"	50	26/03/2000
BAJA CALIFORNIA	<a href="#">SAN QUINTÍN</a>	30°31'54"	115°56'14"	32	01/04/2000
BAJA CALIFORNIA	<a href="#">BAHÍA DE LOS ANGELES</a>	28°53'47"	113°33'37"	10	06/04/2000
BAJA CALIFORNIA	<a href="#">CATAVIÑA</a>	29°43'38"	114°43'09"	514	10/11/2004
BAJA CALIFORNIA	<a href="#">LA RUMOROSA</a>	32°16'20"	116°12'20"	1262	06/11/2004
BAJA CALIFORNIA	<a href="#">CONSTITUCION DE 1857</a>	32°02'31"	115°55'18"	1576	14/12/2012
BAJA CALIFORNIA SUR	<a href="#">SANTA ROSALÍA</a>	27°20'17"	112°16'10"	53	16/04/2000
BAJA CALIFORNIA	<a href="#">CD. CONSTITUCIÓN</a>	25°00'35"	111°29'48"	78	21/04/2000

Figura 1. Catálogo de Estaciones publicado por el SMN

Con el Sistema de Información Geográfica ArcGIS 10.2, usando el sistema de coordenadas GCS\_ITRF\_1992 con el DATUM D\_ITRF\_1992 y el Esferoide GRS\_1980, se generó un mapa de puntos que representan las EMAS y las ESIMES.

En la figura 2 se muestra el mapa de puntos de las EMAS sobre el modelo GCS\_ITRF\_1992. Se obtuvo un mapa similar para las ESIMES.

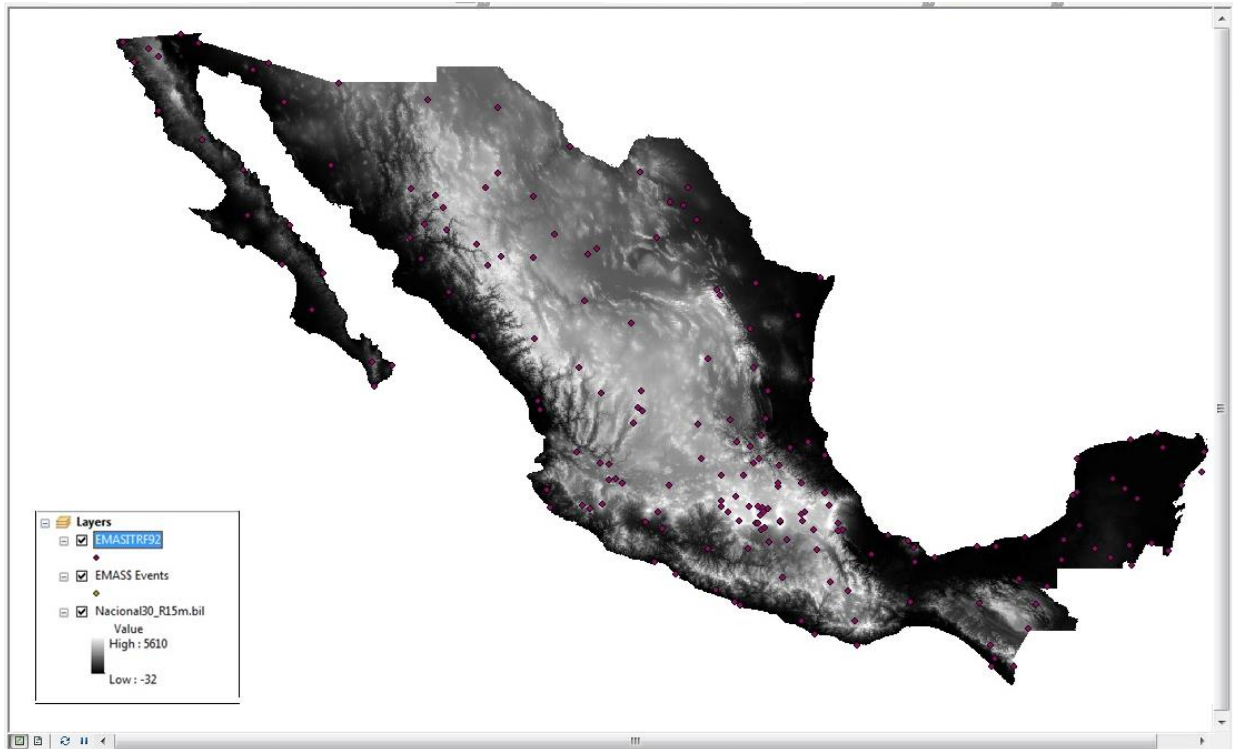


Figura 2. Mapa de puntos de las EMAs.

Se llevó a cabo la verificación de la ubicación de las EMAs y las ESIMES. Para esto se exportaron los archivos al formato *kml* utilizando las utilerías del ArcGIS para visualizarlos en *Google Earth* y compararlos con la ubicación de instalación que se despliega en *Google Maps*, en el enlace del catálogo de cada una de las estaciones publicadas por el SMN. Ver figura 3.



Ubicación de las Coordenadas Geográficas publicadas por el SMN en Google Earth

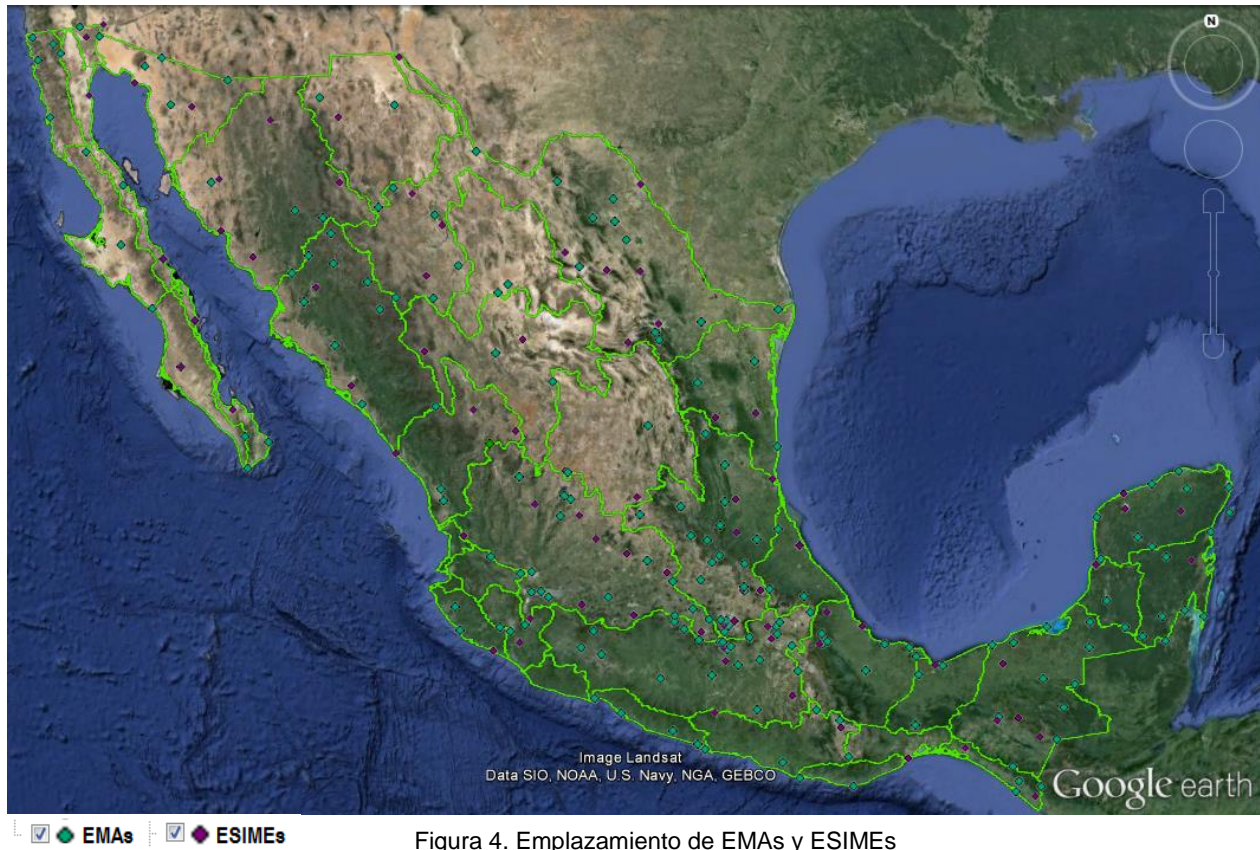
Fotografía de la estación instalada y ubicada en Google Maps por el SMN

Figura 3. Verificación de la ubicación de la EMA Mexicali mediante *Google Earth* y *Google Maps*

Se generó un mapa de puntos que representan las EMAs y las ESIMES con las coordenadas geográficas corregidas para aquellas estaciones que presentaron inconsistencia.

Considerando el hecho que la variabilidad horizontal de los datos observados en las estaciones meteorológicas es muy pequeña en comparación con la variabilidad espacial de la precipitación, se utilizó esta variable como la más representativa para el análisis espacial del emplazamiento de las estaciones. Así también, se utilizaron las regiones hidrológicas del país para encontrar la densidad de las estaciones meteorológicas y su representatividad.

Con este marco, se tomó la información del Atlas Digital del Agua de México para conocer las características de las regiones hidrológicas publicado por la Conagua. Utilizando los archivos shapefile de las regiones hidrológicas (fuente: Conagua) y los archivos generados con los puntos de las estaciones EMAs y ESIMES se exportaron al formato *kml* y se visualizaron en *Google Earth* para el análisis espacial. La proyección de las estaciones sobre las regiones hidrológicas se muestra en la figura 4.



## Resultados

En la figura 4 se visualiza la distribución espacial de las estaciones; sin embargo, pudiéramos considerar algunas regiones con poca representatividad por lo que se obtuvo la tabla 1, con la que se muestra la densidad por región hidrológica. En la tabla 2 se muestran las regiones hidrológicas en porcentajes por área, precipitación y densidad de EMAs y ESIMES para facilitar el análisis de densidad de estaciones.

Tabla 1. Distribución de EMAs y ESIMEs por Regiones Hidrológicas

	Nombre de región hidrológica	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitación normal anual 1971-2000 (mm)	Número de cuencas hidrológicas	No. de estaciones de EMAs	No. de estaciones de ESIMEs
1	B.C. Noroeste	26877	249	16	5	0
2	B.C. Centro-Oeste	41336	103	16	2	0
3	B.C. Suroeste	27896	184	15	3	1
4	B.C. Noreste	15695	190	8	0	1
5	B.C. Centro-Este	12684	101	15	2	1
6	B.C. Sureste	11608	274	14	3	2
7	Rio Colorado	7247	107	4	2	2
8	Sonora Norte	58843	304	5	4	2
9	Sonora Sur	139173	505	16	3	5
10	Sinaloa	103056	713	23	10	2
11	Presidio-San Pedro	51507	818	23	2	3
12	Lerma-Santiago	133848	723	58	16	11
13	Huicicila	4892	1 387	6	0	0
14	Rio Ameca	12539	1020	9	2	0
15	Costa de Jalisco	12971	1 175	11	3	1
16	Armeria-Coahuayana	17561	908	10	1	1
17	Costa de Michoacán	8816	888	6	0	0
18	Balsas	116421	952	15	22	5
19	Costa Grande de Guerrero	12713	1 234	28	4	1
20	Costa Chica de Guerrero	39875	1391	32	3	2
21	Costa de Oaxaca	10067	967	19	2	1
22	Tehuantepec	16351	821	15	1	1
23	Costa de Chiapas	11968	2 347	25	3	2
24	Bravo-Conchos	229929	453	37	16	10
25	San Fernando Soto La Mar.	54072	757	45	3	2
26	Pánuco	96997	892	77	22	8
27	Norte de Veracruz	25398	1 427	12	4	1
28	Papaloapan	57502	1460	18	9	3
29	Coatzacoalcos	29844	1 946	15	2	1
30	Grijalva-Usumacinta	103616	1709	83	12	4
31	Yucatán Oeste	21200	1 229	2	2	1
32	Yucatán Norte	55292	1091	0	9	3
33	Yucatán Este	39401	1 243	1	7	2
34	Cuencas Cerradas del Norte	88504	404	22	3	1
35	Mapimí	64466	361	6	3	0
36	Nazas-Aguanaval	89810	425	16	1	2
37	El Salado	87404	431	8	2	2
		1937382	31189	435	188	84

Tabla 2. Distribución de EMAs y ESIMes por Regiones Hidrológicas en porcentajes

	Nombre de región hidrológica	% del área total	% de la precipitación total	% EMAs	% ESIMes
24	Bravo-Conchos	11.8680	1.4524	8.51	11.90
9	Sonora Sur	7.1836	1.6192	1.60	5.95
12	Lerma-Santiago	6.9087	2.3181	8.51	13.10
18	Balsas	6.0092	3.0524	11.70	5.95
30	Grijalva-Usumacinta	5.3483	5.4795	6.38	4.76
10	Sinaloa	5.3193	2.2861	5.32	2.38
26	Pánuco	5.0066	2.8600	11.70	9.52
36	Nazas - Aguanaval	4.6356	1.3627	0.53	2.38
34	Cuencas Cerradas del Norte	4.5682	1.2953	1.60	1.19
37	El Salado	4.5115	1.3819	1.06	2.38
35	Mapimí	3.3275	1.1575	1.60	0.00
8	Sonora Norte	3.0372	0.9747	2.13	2.38
28	Papaloapan	2.9680	4.6811	4.79	3.57
32	Yucatán Norte	2.8540	3.4980	4.79	3.57
25	San Fernando Soto La Mar.	2.7910	2.4271	1.60	2.38
11	Presidio-San Pedro	2.6586	2.6227	1.06	3.57
2	B.C. Centro-Oeste	2.1336	0.3302	1.06	0.00
20	Costa Chica de Guerrero	2.0582	4.4599	1.60	2.38
33	Yucatán Este	2.0337	3.9854	3.72	2.38
29	Coatzacoalcos	1.5405	6.2394	1.06	1.19
3	B.C. Suroeste	1.4399	0.5900	1.60	1.19
1	B.C. Noroeste	1.3873	0.7984	2.66	0.00
27	Norte de Veracruz	1.3110	4.5753	2.13	1.19
31	Yucatán Oeste	1.0943	3.9405	1.06	1.19
16	Armeria-Coahuayana	0.9064	2.9113	0.53	1.19
22	Tehuantepec	0.8440	2.6323	0.53	1.19
4	B.C. Noreste	0.8101	0.6092	0.00	1.19
15	Costa de Jalisco	0.6695	3.7674	1.60	1.19
19	Costa Grande de Guerrero	0.6562	3.9565	2.13	1.19
5	B.C. Centro-Este	0.6547	0.3238	1.06	1.19
14	Río Ameca	0.6472	3.2704	1.06	0.00
23	Costa de Chiapas	0.6177	7.5251	1.60	2.38
6	B.C. Sureste	0.5992	0.8785	1.60	2.38
21	Costa de Oaxaca	0.5196	3.1005	1.06	1.19
17	Costa de Michoacán	0.4551	2.8472	0.00	0.00
7	Río Colorado	0.3741	0.3431	1.06	2.38
13	Huicicila	0.2525	4.4471	0.00	0.00

## Conclusiones

La metodología utilizada permitió visualizar la distribución espacial de las estaciones en cada región hidrológica y lo que se observó en cuanto a la separación y distribución de las estaciones por región hidrológica es que es inadecuada para algunas, como por ejemplo para las regiones

hidrológicas: 9 Sonora Sur, 34 Cuencas Cerradas del Norte, 35 Mapimí, 36 Nazas-Aguanaval y 37 El Salado. En estas regiones la separación entre las estaciones es superior a 100 km, por lo que los fenómenos meteorológicos que tengan menos de esa longitud en la escala horizontal no podrán ser detectados normalmente.

Mediante el análisis de la Tabla 2 se observó que no hay una representatividad en relación con la precipitación, es más proporcional con la extensión territorial. Y esto no resultaría incorrecto si también se hubiese considerado la precipitación, como por ejemplo observamos en la tabla 1 que la Región Hidrológica 24 Bravo – Conchos para los años 1971-2000 tuvo una precipitación normal anual de 453 mm y se tienen instaladas 16 EMAs y 10 ESIMEs. En comparación con la Región Hidrológica 13 Huicicila que para los mismos años tuvo una precipitación normal anual de 1387 mm y sin embargo no se instaló alguna estación automática en esta región.

En general se observa que para las regiones hidrológicas del centro del país hay más estaciones automáticas instaladas aun cuando su precipitación normal anual no sobrepase los 1000 mm como se observa para las regiones hidrológicas: 12 Lerma-Santiago, 18 Balsas y 26 Pánuco.

También cabe mencionar que actualmente los instrumentos para el geo-posicionamiento son de mayor precisión, por lo que se recomienda utilizarlos para verificar y publicar la posición correcta y tener una fuente de datos confiablemente georreferenciada.

Toda vez que se pretende mejorar el pronóstico meteorológico en México es necesario conocer los datos de los emplazamientos de los observatorios meteorológicos y su frecuencia de observación para que se elijan los adecuados que nos aporten a describir los cambios en el tiempo y en el espacio de los fenómenos meteorológicos en estudio.

## Bibliografía

Proyecto de Modernización del Servicio Meteorológico Nacional de México. Diagnóstico Institucional y Propuesta de Plan Estratégico 2010-2019. Consultoría Realizada con la Asistencia Técnica de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Febrero de 2010. Comisión Nacional del Agua.

Guía del Sistema Mundial de Observación. OMM-No. 488. Tercera Edición 2010.

Reglamento Técnico Documentos Fundamentales No. 2 Volumen 1. Normas meteorológicas de carácter general y prácticas recomendadas. OMM-No.49. Edición 2011. Actualización 2012.

Atlas Digital del Agua México 2012. Sistema Nacional de Información del Agua. Comisión Nacional del Agua.

Sitio Web del Servicio Meteorológico Nacional <http://smn.cna.gob.mx/emas/>

Localización Óptima de Estaciones Climatológicas y Observatorios en la República Mexicana. Jaime Collado y Víctor Toledo Abril 1992. Proyecto CA 9201. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.