



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN GEOCIENCIAS

Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Morelia

ANÁLISIS DE LAS FLUCTUACIONES DE LA
SUPERFICIE DEL LAGO DE CUITZEO PARA
EL PERIODO DE 1997 A 2021 UTILIZANDO
PERCEPCIÓN REMOTA, SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y MÉTODOS
ESTADÍSTICOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN GEOCIENCIAS

P R E S E N T A

ARANTXA JIMÉNEZ ANGELES

DIRECTOR DE TESIS: DR. MANUEL EDUARDO MENDOZA
CANTÚ

MORELIA, MICHOACÁN

FEBRERO, 2024



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.



ESCUELA
NACIONAL
de ESTUDIOS
SUPERIORES
10
años
(2011-2021)
UNIDAD MORELIA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD MORELIA
SECRETARÍA GENERAL
SERVICIOS ESCOLARES

MTRA. IVONNE RAMÍREZ WENCE

DIRECTORA

DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

PRESENTE

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **sesión ordinaria 08** del **Comité Académico de la Licenciatura en Geociencias** de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), Unidad Morelia, celebrada el día **21 de septiembre de 2023**, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para la presentación del Trabajo Profesional de la alumna **Arantxa Jiménez Angeles** de la Licenciatura en **Geociencias**, con número de cuenta **314019901**, con el trabajo titulado: "**Análisis de las fluctuaciones de la superficie del Lago de Cuitzeo para el periodo de 1997 a 2021 utilizando percepción remota, sistemas de información geográfica y métodos estadísticos**", bajo la dirección como tutor del **Dr. Manuel Eduardo Mendoza Cantú**.

El jurado queda integrado de la siguiente manera:

Presidente:	Dr. Iván Franch Pardo
Vocal:	Dra. Erna Martha López Granados
Secretario:	Dr. Manuel Eduardo Mendoza Cantú
Suplente:	Dra. Berenice Solís Castillo
Suplente:	Dr. Alejandro César Valdés Carrera

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Morelia, Michoacán a 16 de noviembre de 2023.

DRA. YUNUEN TAPIA TORRES
SECRETARIA GENERAL

CAMPUS MORELIA

Antigua Carretera a Pátzcuaro N° 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta
58190, Morelia, Michoacán, México. Tel: (443)689.3500 y (55)5623.7300, Extensión Red UNAM: 80614
www.enesmorelia.unam.mx



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN GEOCIENCIAS

Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Morelia

**ANÁLISIS DE LAS FLUCTUACIONES DE LA
SUPERFICIE DEL LAGO DE CUITZEO PARA
EL PERIODO DE 1997 A 2021 UTILIZANDO
PERCEPCIÓN REMOTA, SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y MÉTODOS
ESTADÍSTICOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN GEOCIENCIAS

P R E S E N T A

ARANTXA JIMÉNEZ ANGELES

**DIRECTOR DE TESIS: DR. MANUEL EDUARDO MENDOZA
CANTÚ**

MORELIA, MICHOACÁN

FEBRERO, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA
COORDINACIÓN DE LA LICENCIATURA EN GEOCIENCIAS

Comité Académico
OFICIO: CALGC/039/2023
ASUNTO: Asignación de jurado

MÉD. MÓNICA CORTÉS GONZÁLEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES
ENES, Unidad Morelia
P R E S E N T E

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **sesión ordinaria 08** del **Comité Académico de la Licenciatura en Geociencias** de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad Morelia celebrada el día **21 de septiembre del 2023**, acordó aprobar la **asignación de jurado** para el examen profesional **de la alumna** Arantxa Jiménez Angeles con número de cuenta 314019901, quien presenta el manuscrito titulado: "Análisis de las fluctuaciones de la superficie del Lago de Cuitzeo para el periodo de 1997 a 2021 utilizando percepción remota, sistemas de información geográfica y métodos estadísticos", bajo la dirección como **tutor** del Dr. Manuel Eduardo Mendoza Cantú.

El jurado queda integrado de la siguiente manera:

Presidente: Dr. Iván Franch Pardo
Vocal: Dra. Erna Martha López Granados
Secretario: Dr. Manuel Eduardo Mendoza Cantú
Suplente 1: Dra. Berenice Solís Castillo
Suplente 2: Dr. Alejandro César Valdés Carrera

Asimismo, informo a usted y a los honorables miembros del jurado, que el Comité Académico aprobó un plazo de hasta 30 días hábiles para recibir la revisión del manuscrito correspondiente a la opción de titulación seleccionada, y en su caso, el voto aprobatorio.

Sin más por el momento me despido y aprovecho para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Morelia, Michoacán, a 25 de septiembre de 2023.



DR. ORLANDO HERNÁNDEZ CRISTÓBAL
REPRESENTANTE DEL COMITÉ ACADÉMICO

C.c.p. Dra. María del Río Francos, Coordinadora del Área de Ciencias Físicas,
Matemáticas y de las Ingenierías, ENES Unidad Morelia.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, CAMPUS MORELIA

Antigua Carretera a Pátzcuaro N° 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta

C.P. 58190, Morelia, Michoacán, México.

www.enesmorelia.unam.mx

Agradecimientos institucionales

A la Universidad Nacional Autónoma de México y Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia por ofrecerme una educación de calidad que me ayudo a mi crecimiento personal y profesional.

A la Licenciatura en Geociencias y profesores de la licenciatura, por brindarme las herramientas necesarias para mi formación como licenciada.

Al proyecto Dendrogeomorfología y evaluación de peligros en ambientes de montañas con clave IN108719, y al proyecto Dendrogeomorfología: desarrollo e implementación de un esquema para cartografiar y evaluar peligros geomorfológicos en zonas montañosas intertropicales de México con clave IN110222 ambos financiados por DGAPA-PAPIIT, por otorgarme una beca para la realización de este trabajo.

A mi asesor de tesis el Dr. Manuel Eduardo Mendoza Cantú, por su gran apoyo, paciencia y disposición durante todo el proceso.

A los miembros del jurado el Dr. Iván Franch Pardo, la Dra. Erna Marta López Granados, el Dr. Manuel Eduardo Mendoza Cantú, la Dra. Berenice Solís Castillo y al Dr. Alejandro César Valdés Carrera, por su tiempo y sugerencias para mejorar este trabajo.

Agradecimientos personales

A mi madre Erika, quien con su amor, motivación y apoyo he alcanzado este gran logro, sin ella nada de esto sería posible.

A mi padre Enrique, quien me inculcó el gusto por las ciencias y el amor por las montañas, quien siempre será mi más grande maestro.

A mis abuelitos Gilda, Malena y Oscar, por creer en mí y siempre brindarme todo el apoyo para alcanzar mis metas.

A mi esposo Thomas, por amarme, apoyarme y recordarme siempre de lo que soy capaz.

A mis amigos, por sus consejos, risas y todas las aventuras que vivimos juntos durante la universidad.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	3
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	5
1.1 Justificación	7
1.2 Preguntas de investigación.....	9
1.3 Hipótesis	9
1.4 Objetivos.....	10
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	11
2.1 Los Lagos en México	11
2.2 Percepción remota (PR).....	13
2.2.1 Elementos de la percepción remota.....	14
2.3 Sistemas de información geográfica (SIG).....	17
2.3.1 Componentes de los SIG	19
CAPÍTULO 3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	21
3.1 Área de estudio.....	21
3.2 Clima	23
3.3 Hidrología	24
3.4 Suelos.....	25
3.5 Cobertura y uso de suelo.....	26
3.6 Geología.....	28
3.7 Paleoambientes	31
3.8 Geomorfología.....	34
CAPÍTULO 4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	36

4.1 Descarga de datos meteorológicos (temperatura y precipitación)	37
4.2 Estimación de datos faltantes	39
4.2.1 Algoritmo MissForest.....	40
4.2.1 Metodología para completar series de tiempo mensuales cuando no existen estaciones adyacentes	41
4.3 Descarga de imágenes satelitales.....	42
4.4 Cálculo de la superficie del lago por año.....	45
4.5 Análisis estadístico.....	46
4.5.1 Análisis de series de tiempo	46
4.5.2 Análisis de tendencia	46
4.5.3 Análisis de correlación	49
CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
5.1 Estimación de datos faltantes (precipitación y temperatura media).....	50
5.1.1 Precipitación	50
5.1.2 Temperatura media	54
5.3 Análisis de series de tiempo	57
5.3.1 Series de tiempo de precipitación	57
5.3.2 Series de tiempo de temperatura.....	62
5.3 Análisis de tendencia	68
5.2 Superficie del lago	70
5.4 Análisis de correlación	76
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES	79
REFERENCIAS	81
ANEXOS.....	91

Lista de figuras

Figura 1. Elementos de un sistema de percepción remota por satélite	14
Figura 2. Secciones del espectro electromagnético.	15
Figura 3. Estructura de un SIG	18
Figura 4. Área de estudio.....	22
Figura 5. Mapa de hidrología de la cuenca de Cuitzeo	25
Figura 6. Mapa generalizado de suelos dentro de la cuenca de Cuitzeo.	26
Figura 7. Mapa de tipos de cobertura y uso de suelo en la cuenca de Cuitzeo.	28
Figura 8. Patrón de fallas normales localizadas en el área de estudio	30
Figura 9. Litología de la cuenca de Cuitzeo.	31
Figura 10. Estratigrafía del núcleo extraído y los niveles inferidos con base en diatomeas, comparación con el registro obtenido en los lagos de Pátzcuaro y Zacapu	33
Figura 11. Mapa de geomorfología.	35
Figura 12. Diagrama de flujo del método de la investigación.....	36
Figura 13. Mapa de localización de las estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación.....	38
Figura 14. Gráfica de agregación de los datos faltantes de la precipitación de cada estación.....	51
Figura 15. Matriz de correlación entre estaciones de los datos de precipitación sin completar.....	52
Figura 16. Gráfico de correlación de los datos completados donde se observan los diagramas de dispersión de los datos de precipitación de ambas estaciones con la recta de ajuste en color rojo, en el medio se muestran los histogramas de cada variable con la línea de distribución, y por último se muestran las correlaciones entre variables en donde los asteriscos rojos indican si es una correlación significativa.	53
Figura 17. Gráfica de agregación de los datos faltantes de la temperatura media de cada estación.....	54
Figura 18. Matriz de correlación entre estaciones de los datos de temperatura sin completar.....	55

Figura 19. Gráfico de correlación de los datos completados donde se observan los diagramas de dispersión de los datos de temperatura de ambas estaciones con la recta de ajuste en color rojo, en el medio se observan los histogramas de cada variable con la línea de distribución, y por último se muestran las correlaciones entre variables en donde los asteriscos rojos indican si es una correlación significativa.	56
Figura 20. Número de años con precipitación media anual menor a la precipitación media global por estación.	58
Figura 21. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación Huandacareo.	58
Figura 22. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación El Colegio.	59
Figura 23. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación Cuitzeo.	59
Figura 24. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación Álvaro Obregón.	60
Figura 25. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación Jesús del Monte.	60
Figura 26. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación Huingo.	61
Figura 27. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación Morelia.	61
Figura 28. Número de años con temperatura media anual mayor a la temperatura media global por estación.	63
Figura 29. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación Huandacareo.	64
Figura 30. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación El Colegio.	64
Figura 31. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación Cuitzeo.	65
Figura 32. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación Álvaro Obregón.	65
Figura 33. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación Jesús del Monte.	66
Figura 34. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación Huingo.	66
Figura 35. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación Morelia.	67
Figura 36. Valores de la superficie calculada del lago en km ² desde 1997 a 2021.	71
Figura 37. Gráfica de la variación de la superficie del lago vs la temperatura media por año de cada estación.	74
Figura 38. Gráfica de la variación de la superficie del lago vs la precipitación por año de cada estación.	75

Lista de tablas

Tabla 1. Estaciones con los tipos de clima ordenadas de Norte a Sur.	23
Tabla 2. Descripción del tipo de cobertura y uso del suelo.	27
Tabla 3. Unidades de relieve generalizadas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo.	34
Tabla 4. Estaciones seleccionadas para el estudio.	38
Tabla 5. Datos de las imágenes descargadas por año.	44
Tabla 6. Descripción de la significancia de la prueba Mann-Kendall.	48
Tabla 7. Resultados de la prueba Mann-Kendall para datos de precipitación.....	68
Tabla 8. Resultados de la prueba Mann-Kendall para datos de temperatura.	69
Tabla 9. Resultados de la interpretación de imágenes satelitales.	70
Tabla 10. Matriz de correlación entre la precipitación y temperatura antecedente con la superficie del lago.....	78

RESUMEN

Los lagos continentales son extremadamente importantes tanto para los seres humanos como para la vida silvestre. Los lagos son un recurso abundante de agua para la industria, la pesca, y es necesario para el mantenimiento de la riqueza y abundancia de especies que conforman un ecosistema. El de Cuitzeo es el segundo lago más grande de México y debido a su poca profundidad se reconoce como uno de los humedales más importantes del país para la conservación de la biodiversidad. El lago se encuentra dentro de una cuenca de tipo endorreico en la región fisiográfica conocida como Sistema Volcánico Transversal y en la región hidrológica Lerma-Chapala, específicamente, se localiza en noroeste del estado de Michoacán y al sureste del estado de Guanajuato entre los paralelos 19°53'15" y 20°04'30" de latitud norte y los meridianos 100°50'20" y 101°19'30" de longitud oeste, a una altitud aproximada de 1,830 msnm. Dentro de la cuenca se desarrollan diversos ecosistemas que proveen numerosos servicios ambientales a la población, por lo que el lago y su cuenca poseen gran importancia en materia ambiental, social, cultural y económica. El lago se ha visto afectado por las actividades antropogénicas que se realizan en los centros urbanos localizados dentro de la cuenca y se pueden observar los signos de deterioro, tales como erosión, reducción de la cobertura forestal, sobreexplotación de sus recursos y eutrofización del cuerpo de agua.

El objetivo de este trabajo es analizar y describir las fluctuaciones de la superficie del agua en el lago de Cuitzeo para el periodo de 1997 a 2021, interpretando imágenes satelitales, realizando un análisis de las series de tiempo de precipitación y temperatura, así como un análisis de correlación. El estudio se apoyó de técnicas de percepción remota (PR), sistemas de información geográfica (SIG) y análisis estadísticos. Se utilizaron los datos de temperatura media y precipitación de siete estaciones meteorológicas localizadas dentro de la cuenca, las cuales presentaron datos faltantes que se calcularon utilizando el software Rstudio. Para el análisis de imágenes satelitales se utilizaron imágenes Landsat 4-5 TM (1997-2001), Landsat 7 ETM (2002-2015) y Sentinel (2016-2021).

Los resultados de esta investigación indican que el lago presentó años secos en 1998, 2001, 2002 y 2017 los cuales se reflejan, principalmente, en el vaso oriente del lago. En el

año 2021 la superficie con menor extensión del espejo de agua fue de 75.8 km²; y la mayor extensión de su superficie se registró en el año 1999, cubriendo un área de 306 km². El análisis de series de tiempo sugiere que las superficies del lago de Cuitzeo varían a lo largo del tiempo, y que estos cambios muestran relación con el comportamiento de la precipitación y la temperatura media anual del año antecedente. Sin embargo, al no existir una correlación significativa, la reducción de la superficie del lago en los últimos años también puede ser atribuible al incremento poblacional y del uso del agua dentro de la cuenca de Cuitzeo.

ABSTRACT

Continental lakes are extremely important for humans and wildlife alike. Lakes are water resource for industry, fishing, and are necessary for the maintenance of the wealth and abundance of species that constitute an ecosystem. Cuitzeo Lake is the second largest lake in Mexico and is recognized as one of the most important wetlands in the country for biodiversity conservation because of its shallow depth. The lake is located within an endorheic basin in the physiographic region known as the Transversal Volcanic System and in the Lerma-Chapala hydrological region. Specifically, it is located in northwestern Michoacán state and southeastern Guanajuato state between parallels 19°53'15" and 20°04'30" north latitude and meridians 100°50'20" and 101°19'30" west longitude, at an altitude of approximately 1,830 meters above sea level. The lake and its watershed are home to diverse ecosystems that provide numerous environmental services to the population, which is why the lake and its watershed are of great environmental, social, cultural, and economic importance. Anthropogenic activities in the urban centers located within the basin have affected the lake and signs of deterioration can be observed, such as erosion, reduction of forest cover, overexploitation of its resources, and eutrophication of the water body.

The objective of this work is to analyze and describe water surface fluctuations in Lake Cuitzeo for the period 1997 to 2021, interpreting satellite images, analyzing the time series of precipitation and temperature, as well as a correlation analysis. Remote sensing (RS) techniques, geographic information systems (GIS) and statistical analysis were used in the study. Mean temperature and precipitation data from seven meteorological stations located along the basin were used, where missing data were calculated using Rstudio software. Images from Landsat 4-5 TM (1997-2001), Landsat 7 ETM (2002-2015) and Sentinel (2016-2021) were used for satellite image analysis.

The results of this research indicate that the lake presented a dry period in the years 1998, 2001, 2002 and 2017 and it is mainly identified in the eastern section of the lake. The smallest surface area of the water mirror was recorded in the year 2021 where the lake covered 75.8 km²; and the largest surface area was recorded in the year 1999 covering an

area of 306 km². Time series analysis suggests that the surfaces of Lake Cuitzeo change over time and these variations are related to the previous year's precipitation and mean annual temperature. Trend analysis demonstrated that precipitation and temperature have a decreasing trend, but it is not significant; therefore, the reduction in lake surface area can be attributed to increased population and water use of Lake Cuitzeo in recent years.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

Los lagos continentales son extremadamente importantes tanto para los seres humanos como para la vida silvestre; son un recurso de agua para la industria, la pesca, y es necesario para el mantenimiento de la riqueza y abundancia de especies que conforman un ecosistema. Los lagos también juegan un papel importante al influir en los patrones climáticos locales y regionales (Karmakar y Mavukkandy, 2013). En los últimos años se han visto afectados significativamente por las actividades humanas las cuales han provocado la pérdida y fragmentación del hábitat, presencia de especies invasoras y una afluencia de contaminantes biológicos y químicos que causan impactos ambientales importantes (CNDH, 2018). Actualmente, los lagos presentan un nuevo desafío resultado del cambio climático; el aumento de la temperatura del planeta se ha incrementado con los años y como consecuencia ha provocado la disminución de los niveles del agua en los grandes lagos (ELPC, 2019).

El lago de Cuitzeo localizado en la porción central de México, se considera un lago activo desde una perspectiva geológica y es uno de los sistemas lacustres más antiguos del centro de México (Israde et al., 2010). Junto con los lagos de Pátzcuaro, Zirahuén y Zacapu forma parte del grupo de cuencas endorreicas del Sistema Volcánico Transversal (Israde y Garduño, 1999). Como objeto geográfico se clasifica como un humedal por sus aguas someras, almacena agua la mayor parte del tiempo, pero hay periodos donde puede desecarse casi por completo (Vekerdy y Mendoza, 2010; Bocco et al., 2012). El agua del lago proviene de los escurrimientos superficiales de la cuenca, principalmente de los ríos Grande de Morelia, Queréndaro y Zinapécuaro, del agua de lluvia que precipita directamente sobre el lago, y de las aguas termales de los manantiales que se encuentran dentro del mismo y en sus alrededores. Las únicas salidas del agua son causadas por la evaporación y actividades antropogénicas (Cram et al., 2010).

A lo largo de su historia la cuenca del lago de Cuitzeo ha sufrido transformaciones en su cobertura y uso de suelo, principalmente causado por la influencia de los asentamientos humanos (Mendoza et al., 2002). El principal y más grande de los asentamientos es la

ciudad de Morelia en donde habita la mayoría de la población de la zona, la ciudad depende ampliamente del recurso hídrico de la cuenca de Cuitzeo; sin embargo, los desechos de la ciudad son los principales contaminantes de la cuenca y los efectos se ven reflejados principalmente en el lago de Cuitzeo (Bocco et al., 2012). Actualmente las aguas del lago reciben un continuo aporte de compuestos inorgánicos como fosfatos, nitratos y desechos industriales y urbanos, que no permiten la recuperación del ciclo biológico de sus aguas (Vargas et al., 2012).

Las fluctuaciones que se presentan en los lagos continentales generalmente no son monitoreadas debido a que se encuentran en lugares remotos o en países en vías de desarrollo, que no cuentan con la infraestructura para este tipo de estudios. Por estas razones, las técnicas de teledetección como la altimetría satelital aparecen como herramientas muy útiles (Mercier et al., 2002). La variabilidad de las superficies ocupadas por cuerpos de agua, tales como lagos y mares interiores puede ser identificada, monitoreada a partir del uso y análisis de imágenes satelitales. La tecnología de teledetección ofrece formas efectivas de observar la dinámica del agua superficial. En comparación con las mediciones *insitu* tradicionales. La percepción remota es mucho más eficiente debido a su capacidad para monitorear continuamente la superficie de la Tierra en múltiples escalas (Mendoza et al., 2006; Huang et al., 2018). Por lo que, este trabajo tiene como objetivo calcular la superficie del agua del lago de Cuitzeo y analizar las variables climáticas de la cuenca.

1.1 Justificación

El lago de Cuitzeo es el segundo lago más grande de México, alberga a cientos de especies y es considerado el humedal más grande e importante del país (Villaseñor, 1994). Forma parte de las regiones decretadas por la Comisión Nacional para el Estudio y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) por considerarse una región de alta biodiversidad, de uso por sectores y amenazada (Bocco et al., 2012). Dentro de la cuenca se desarrollan diversos ecosistemas que proveen numerosos servicios ambientales a la población, por lo que el lago y su cuenca poseen gran importancia en materia ambiental, social, cultural y económica. Es un recurso de suma importancia para el sustento de los pescadores y sus familias, y contribuye a la irrigación de diversos cultivos básicos de la zona geográfica (Vargas et al., 2012).

El lago se ha visto afectado por las actividades antropogénicas que se realizan en los centros urbanos localizados dentro de la cuenca y se pueden observar los signos de deterioro, tales como erosión, reducción de la cobertura forestal, sobreexplotación de sus recursos y eutrofización del cuerpo de agua. La contaminación del agua ha sido ocasionada por el uso de agroquímicos, la descarga de aguas negras, así como de los contaminantes de origen industrial provenientes de la ciudad de Morelia. Todo esto ha provocado una degradación ambiental, social y económica en la región (Bravo et al., 2008). En los últimos años, el lago ha presentado niveles bajos en el agua que se han asociado al cambio climático y a los efectos antropogénicos. Anteriormente la desecación del lago se asociaba a la deforestación de los bosques que provocaban un cambio en el uso del suelo y por lo tanto la erosión de este (Mendoza et al., 2006).

Debido a que recientemente se ha hecho más visible la disminución del nivel del agua en el lago, los habitantes de la región que dependen de este recurso hídrico, han mostrado gran preocupación. Por otro lado, la salud de las personas se ha visto afectada por las tolvaneras promovidas por su desecación, las cuales transportan los contaminantes depositados en los sedimentos (Regalado et al., 2019; Regalado y Ortiz, 2021).

Por lo anterior, es importante realizar estudios hidrológicos que consisten en la determinación predictiva del comportamiento del agua. Estos estudios permiten elaborar

un plan de manejo del agua de este recurso hídrico. Sin embargo, en México como en muchas otras regiones del mundo, las redes hidrometeorológicas son poco densas o inexistente debido a los altos costos para el mantenimiento y operación de los equipos, y para el desarrollo de las bases de datos, por lo que normalmente los datos de las estaciones meteorológicas son inconsistentes. Particularmente dentro de la cuenca de Cuitzeo la mayoría de las estaciones presentan datos faltantes.

En el lago no existe un monitoreo constante del nivel del agua por lo que no se tienen los datos exactos de cuanto ha disminuido el nivel del agua cada año. La obtención de información sobre la dinámica del lago puede ser útil para crear estrategias de manejo adecuado del agua del lago de Cuitzeo.

1.2 Preguntas de investigación

- ¿Es posible conocer las variaciones de las superficies del Lago de Cuitzeo analizando imágenes satelitales Landsat y Sentinel?
- ¿Las variaciones de la superficie se relacionan con datos de temperatura y precipitación de las estaciones hidrometeorológicas cercanas?

1.3 Hipótesis

La relación entre la precipitación y temperatura, con la distribución de las superficies del lago de Cuitzeo incrementarán la comprensión de la dinámica del lago durante el periodo de 1997 a 2021.

1.4 Objetivos

Objetivo general

Analizar las fluctuaciones de la superficie del agua en el lago de Cuitzeo para el periodo de 1997 a 2021 a partir de la interpretación de imágenes satelitales.

Objetivos particulares

- Identificar las características geológicas, geomorfológicas y climáticas del área de estudio.
- Reconocer el patrón anual de las superficies (profundidades) del lago durante la época de secas.
- Analizar el comportamiento de las series de tiempo de los datos de precipitación y temperatura de las estaciones hidrometeorológicas ubicadas dentro de la cuenca de Cuitzeo.
- Realizar una correlación entre los datos de precipitación y temperatura con la superficie del agua en el lago.

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 Los Lagos en México

El agua es un elemento indispensable para la vida. Su existencia en la superficie terrestre tiene múltiples funciones para la existencia de todos los seres vivos. Es esencial para garantizar la salud del ser humano que requiere del agua tanto para ingerirla como para el aseo personal y la preparación de alimentos (CNDH, 2018).

En la actualidad, factores como el crecimiento urbano y poblacional, el cambio en los patrones de una sociedad de consumo y la industrialización han generado una demanda excesiva de recursos naturales. El modelo de desarrollo económico implantado en el mundo genera un aprovechamiento desmedido y desigual del agua, del suelo, de los bosques y de los alimentos que se producen. El ciclo hidrológico se ha visto afectado críticamente por estos factores y se ve reflejado en fenómenos como sequías prolongadas, ciclones y huracanes cada vez más intensos, olas de calor y frío, así como incendios por la falta de humedad en los suelos (López, 2021). Otra de las grandes preocupaciones a nivel mundial es la repercusión del cambio climático en los recursos hídricos. Se prevé que los efectos serán extensos, pero de diferente signo de una región a otra, conforme a la latitud, altitud y condiciones orográficas. En el caso de México se prevén importantes disminuciones en la precipitación y el escurrimiento, lo que ocasionará un incremento en las condiciones de escasez y mayor presión sobre los recursos hídricos en esas regiones, lo cual se verá reflejado en los grandes reservorios de agua como los lagos. En diversas regiones del mundo y de México, se registran condiciones de escasez que se espera incrementen, aún sin cambio climático, por efecto del crecimiento demográfico esperado, la creciente concentración urbana, la contaminación de cuerpos de agua y la sobreexplotación de los recursos hídricos (Martínez y Patiño, 2012).

Los niveles de agua de los lagos fluctúan naturalmente como resultado del desequilibrio estacional o de largo plazo entre las cantidades de agua que ingresan por precipitación, escorrentía y aguas subterráneas, y por el agua que sale por evaporación y desagüe. Sin

embargo, la explotación humana de los recursos hídricos conduce a un aumento de las fluctuaciones de los niveles de agua, a veces siendo más visibles que los efectos naturales (Zohary y Ostrovsky, 2011). Los factores típicos provocados por el hombre incluyen la contaminación del agua y de los sedimentos con sustancias tóxicas y aporte de nutrientes excesivos, la introducción de especies no autóctonas y las alteraciones en las características físicas del entorno local (Leira y Cantonati, 2008).

Los lagos someros, muchas veces, son considerados humedales como objeto geográfico. Los humedales se definen como tierras de transición entre ecosistemas terrestres y acuáticos donde el nivel freático suele estar en la superficie o cerca de ella o la tierra está cubierta por aguas poco profundas. Los humedales son áreas cubiertas por agua de forma periódica, estacional o permanente, algunos humedales incluso pueden desecarse casi en su totalidad en tiempos de sequía (Vekerdy y Mendoza, 2010; Kumar y Kanaujia, 2014). Los humedales desempeñan un papel insustituible mundialmente en la regulación del clima, el mantenimiento del ciclo hidrológico, la protección de la diversidad de los ecosistemas y en salvaguardar el bienestar humano. Así como en otros cuerpos de agua, los efectos de las actividades humanas y de los factores naturales, el área de humedales en el mundo ha ido disminuyendo y la calidad de los humedales se ha ido deteriorando (Xu et al., 2019).

La ubicación de México entre dos regiones biogeográficas (neártica y neotropical), así como su relieve y su amplia zona litoral influenciada por los océanos Pacífico y Atlántico, propician la heterogeneidad de suelos, climas y ecosistemas, que a su vez inciden en el desarrollo de una gran variedad de tipos de lagos y humedales. México posee aguas continentales relativamente limitadas en extensión y volumen, pues constituyen tan solo el 0.1 % del total de las reservas del mundo (Alcocer et al., 2015). Los grandes lagos se encuentran en el centro de México, dentro del Sistema Volcánico Transversal, en donde los cuerpos de agua se pueden dividir en los siguientes grupos de acuerdo con los factores que influyeron en su formación: 1) Lagos tectónicos, 2) Lagos vulcanotectónicos 3) Lagos cratéricos 4) Ríos y 5) Cuerpos de agua artificiales (Israde y Mendoza, 2019).

El agua que almacenan los lagos en México es sólo el 6.38% del total del agua que precipita en el territorio. De acuerdo con el cálculo realizado por la CONAGUA en el periodo de 1981-2010, México recibe 1,449,471 millones de metros cúbicos de agua al año en forma de precipitación en donde el 72.15% se evapotranspira y regresa a la atmósfera; y el 24.77% escurre por ríos y arroyos (CONAGUA, 2018).

Como ya se mencionó anteriormente, los cuerpos de agua son de suma importancia para preservar la vida por lo cual es importante su monitoreo. En el caso de México, los lagos no cuentan con un monitoreo constante por lo cual es importante implementar otras herramientas que ayuden a recopilar información para un periodo de tiempo y así poder observar el comportamiento de estos grandes lagos. Recientemente, los campos de la percepción remota y los sistemas de información geográfica (SIG) se están expandiendo muy rápidamente y los métodos se adaptan constantemente a nuevos campos de aplicación, como lo es la hidrología (Aggarwal, 2005).

2.2 Percepción remota (PR)

Durante los últimos años, la percepción remota se ha convertido en una fuente viable de observaciones, particularmente en partes del mundo donde las redes de monitoreo *in situ* son escasas. La percepción remota se puede definir en términos generales como la recopilación de datos e interpretación de información sobre un objeto, área o evento sin estar en contacto físico con el objeto (Kairu, 1982; QiuHong et al., 2009). El proceso de percepción remota implica la detección y medición de radiaciones de diferentes longitudes de onda reflejadas o emitidas por objetos o materiales distantes que se traduce en información sobre el objeto o en procesos relacionados con el objeto, en el caso de la observación de la Tierra, este objeto es la superficie terrestre (de Sherbinin et al., 2002; De Jong et al., 2004).

La percepción remota activa y pasiva se utilizan para describir la forma en que los sensores recogen los datos. Uno de los factores clave en la elección entre sensor pasivo y activo es la fuerza relativa de la señal potencial que cada sistema debe medir. Los sensores pasivos no disponen de una fuente de radiación propia y son sensibles a la

radiación de origen natural, normalmente la luz solar reflejada o la energía emitida por un objeto terrestre y los sensores activos tienen una fuente de radiación incorporada (De Jong et al., 2004). Las aeronaves y los satélites son las plataformas comunes para la detección remota de la tierra y sus recursos naturales. Hay una serie de elementos en un proceso de percepción remota importantes para una operación exitosa.

2.2.1 Elementos de la percepción remota

La obtención de datos de percepción remota comprende diferentes etapas (Figura 1), y cada una de ellas es importante para la recopilación de información sobre las propiedades de los objetos y de los fenómenos de la superficie terrestre. El diseño y la utilización de los sistemas de percepción remota deben ir precedidos de numerosas consideraciones en función de las aplicaciones específicas (De Jong et al., 2004).

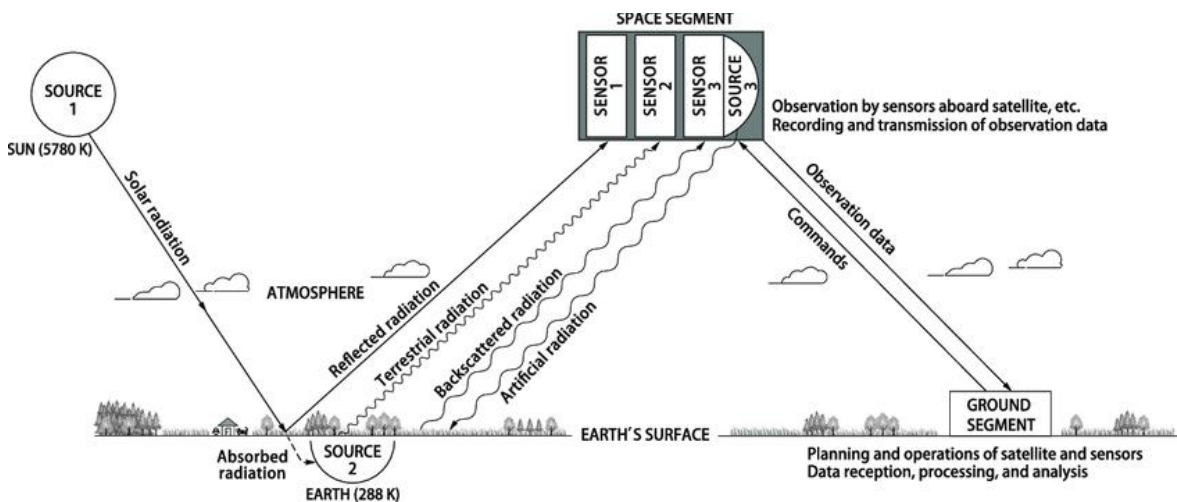


Figura 1. Elementos de un sistema de percepción remota por satélite. Fuente: Kaku, K., 2018.

La fuente de energía o iluminación puede generarse de manera externa o interna, dentro de la detección el Sol es la fuente de energía más importante. La energía también puede generarse artificialmente y usarse para recopilar información sobre los objetos y fenómenos, como flashes o haces de energía utilizados en el radar (detección y medición de radio).

La transmisión de energía desde la fuente hasta la superficie de la tierra se propaga en forma de ondas de energía a la velocidad de la luz (300.000 km por segundo). Tal propagación de energía se llama Radiación Electromagnética (EMR). Las ondas de energía varían en tamaño y frecuencia. Según el tamaño de las ondas y la frecuencia, el espectro electromagnético se divide en rayos gamma, rayos X, rayos ultravioleta, rayos visibles, rayos infrarrojos, microondas y ondas de radio (Figura 2) (Bellouin y Yu, 2022).

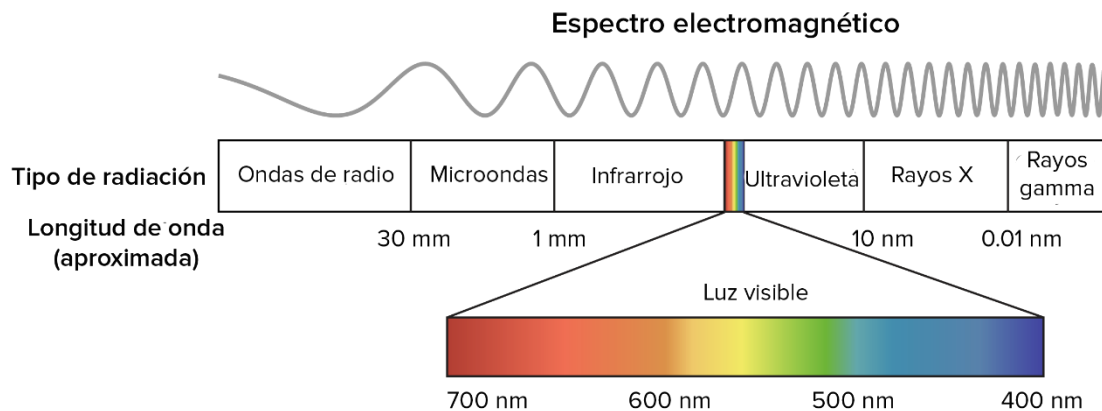


Figura 2. Secciones del espectro electromagnético.

Nota. Imagen modificada de "Espectro electromagnético", de Inductiveload Academy Imagen (CC BY-SA 3.0) y "Espectro EM", de Philip Ronan (CC BY-SA 3.0) por Khan Academy (<https://es.khanacademy.org>). CC BY-SA 3.0.

Una vez que la energía llega a la superficie de la tierra interactúa con los objetos, la interacción va a depender de las propiedades tanto del objetivo como del radiación. Esto conduce a la absorción, transmisión, reflexión o emisión de energía de los objetos. Todos los objetos varían en su composición, formas de apariencia y otras propiedades. Dependiendo de las características del objetos será diferente la respuesta de la energía recibida en las diferentes regiones del espectro. Cuando la radiación del Sol llega a la superficie de la Tierra, parte de la energía en longitudes de onda específicas es absorbida y el resto de la energía es reflejada por el material de la superficie. Las únicas dos excepciones a esta situación son si la superficie de un cuerpo es un reflector perfecto o un cuerpo negro verdadero (de Sherbinin et al., 2002; De Jong et al., 2004).

Después de que la energía es dispersada por el objeto en la tierra, un sensor recolecta y registra la radiación electromagnética. Un sensor se caracteriza por sus propiedades espectrales (número y ubicación de las bandas), su altitud y trayectoria orbitales, su anchura de barrido y su resolución espacial. La resolución espacial se mide en términos del tamaño de un píxel proyectado sobre el terreno (de Sherbinin et al., 2002).

La energía registrada por el sensor debe transmitirse, a menudo en formato electrónico, a una estación de recepción y tratamiento para eliminar los errores causados durante la recopilación donde los datos se procesan en una imagen (impresa o digital). La información obtenida se puede almacenar en un SIG y posteriormente ser utilizada para diversos tipos de estudios o aplicaciones (Joseph, 2005; Martensson, 2011).

2.3 Sistemas de información geográfica (SIG)

Un SIG es una herramienta ampliamente utilizada para el procesamiento de datos espacio-temporales, se define como, un sistema de información que proporciona herramientas para recolectar, integrar, administrar, analizar, modelar y mostrar datos que hacen referencia a una representación cartográfica precisa de objetos en el espacio (Mennecke y Crossland, 1996; Mendoza y Reyes, 2011). Se utiliza como una plataforma colaborativa para la visualización, el análisis y el cálculo de datos espacio-temporales. SIG es el nombre de un dominio de información genérico que puede procesar datos espaciales, aespaciales o no espaciales y espaciotemporales pertenecientes a los objetos que ocurren en topografía, batimetría y espacio (Panigrahi, 2014). Los SIG están integrados por cuatro elementos: el módulo de entrada de datos (selección y captura), el módulo de manejo de datos (almacenamiento, recuperación, base de datos geográficos), el módulo de análisis de datos (modelamiento, reglas o normas de análisis, monitoreo) y el módulo de salida de la información (productos generados, intermedios o finales) (Bocco et al., 1991; Mendoza y Reyes, 2011).

Los campos de aplicación de los SIG son innumerables y variados, pueden ser utilizados para la navegación, la industria pesquera, agricultura, planeación del territorio, impactos ambientales, geología, planificación hidrológica, entre otros (Bravo, 2000; Mendoza y Reyes, 2011; Flores y Fernández, 2018; Ershad, 2020).

Desde la perspectiva computacional, un SIG consiste en un tipo especial de programa informático capaz de almacenar, editar, procesar y presentar datos e información geográfica en forma de mapas. Los datos espaciales se refieren a los objetos geográficos de interés del mundo real, como calles, edificios, lagos y países, y sus respectivas ubicaciones. Además de la ubicación, cada uno de estos objetos también posee ciertos rasgos de interés o atributos, como un nombre, número de pisos, profundidad o población (Mendoza y Reyes, 2011).

Los programas computacionales (SIG) realizan un seguimiento de los datos espaciales y de atributos y nos permite vincular los dos tipos de datos para crear información y facilitar el

análisis. Una forma popular de describir un SIG es visualizándolo de forma horizontal en donde cada una de las capas representa un tema geográfico diferente, como elementos acuáticos, edificios y carreteras, y cada capa se apila una encima de otra (Campbell y Shin, 2012). Se pueden combinar diferentes capas de datos a través de un SIG para representar mapas digitales realistas e integrados de la superficie de la Tierra (Figura 3).

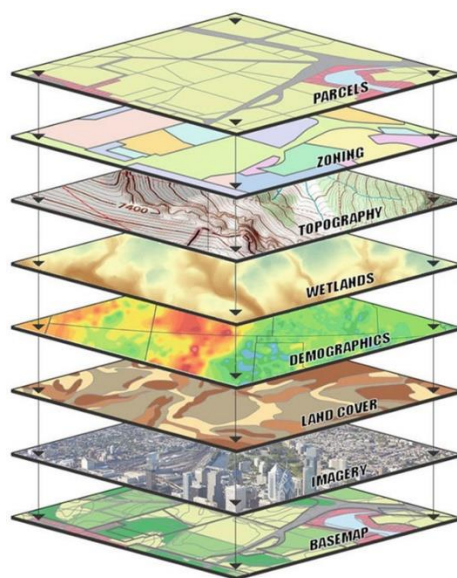


Figura 3. Estructura de un SIG. Fuente: Kolios et al., 2017.

Para generar datos especialmente para una comunidad en particular es muy común que se recurra a técnicas de interpretación de fotografías aéreas y/o de imágenes obtenidas desde satélites. Estas técnicas, denominadas en conjunto de percepción remota, se conocen comúnmente como fotointerpretación, utilizando estereoscopios, para poder apreciar las características tridimensionales de las formas del relieve, o bien como clasificación de cobertura del terreno, mediante el tratamiento computarizado de imágenes (Bocco, 2003).

2.3.1 Componentes de los SIG

Los SIG tienen principalmente 5 componentes: equipo de cómputo, programa de cómputo, datos, personas y métodos (Mendoza y Reyes, 2011).

El equipo de cómputo consiste en el sistema informático en el que se ejecutará el programa de cómputo (SIG). El equipo de cómputo es la computadora en la que opera un SIG. El programa de cómputo se ejecuta en diferentes tipos de equipos de cómputos, desde un servidor de computadora centralizado hasta computadoras de escritorio y en configuraciones independientes o en red. El equipo de cómputo se relaciona con los dispositivos utilizados por los usuarios finales, como dispositivos gráficos o trazadores y escáneres. El almacenamiento y la manipulación de datos se realizan utilizando una variedad de procesadores (Ershad, 2020).

El programa de cómputo ayuda a consultar, editar, ejecutar y mostrar datos del SIG. Utiliza un sistema de gestión de bases de datos relacionales (RDBMS) para almacenar los datos. Lista de algunos programas de SIG como: ArcGis, ArcView 3.2, QGIS, SAGA GIS. Un programa de SIG ayuda a crear mapas digitales y administra sus atributos numéricos, de texto y multimedia asociados.

Las personas son un elemento importante de los SIG, son quienes administran el sistema y desarrollan planes para aplicarlos a los problemas del mundo real. Los usuarios de los SIG van desde especialistas técnicos que diseñan y mantienen el sistema hasta aquellos que lo utilizan para ayudarlos a realizar su trabajo diario (Hussain, 2016).

Los métodos se refieren a un plan bien diseñado y reglas comerciales con las que opera un SIG. Son los modelos y prácticas operativas únicas para cada organización. La recolección de datos y la introducción de la misma en el sistema, requiere de una gran calidad de diseño y trabajo, una capacitación intensiva y un control frecuente para vigilar la calidad (Ershad, 2020).

Los datos son el elemento clave de un SIG, y también el elemento más costoso, estos datos deben tener calidad para que la resolución del problema en un estudio sea lo más

acertada posible. Los datos geográficos y los datos tabulares relacionados pueden recopilarse o comprarse a un proveedor de datos comercial. Un SIG integrará datos espaciales con otros recursos de datos. Los datos geográficos se almacenan básicamente en dos formatos principales: vector y raster (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2006; Mendoza y Reyes, 2011).

CAPÍTULO 3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Área de estudio

El lago de Cuitzeo se localiza al noroeste del estado de Michoacán y al sureste del estado de Guanajuato entre los paralelos 19°53'15" y 20°04'30" de latitud norte y los meridianos 100°50'20" y 101°19'30" de longitud oeste, a una altitud aproximada de 1,830 msnm (Figura 4). Se encuentra dentro de una cuenca de tipo endorreico en la región fisiográfica conocida como Sistema Volcánico Transversal y en la región hidrológica Lerma-Chapala (Cram et al., 2010). La cuenca de Cuitzeo tiene una extensión de 4,000 km² que comprende 23 municipios del estado de Michoacán y 5 municipios del estado de Guanajuato (Bocco et al., 2008). La región del lago de Cuitzeo está situada en la parte sur de la Altiplanicie Mexicana y ocupa la porción más baja de la cuenca cerrada de Cuitzeo, rodeada al sur por elevaciones que forman parte del Sistema Volcánico Transversal en la porción de las sierras Tarasca y Oztumatlán; al sureste por las de Mil Cumbres y Ucareo; y al norte limita con la región del Bajío que suministra de agua el río Lerma. Se localiza al sur del paralelo 20º Norte, en la zona intertropical (Cram et al. 2010).

El lago de Cuitzeo es uno de los cuerpos de agua continental con mayor extensión, cubriendo una superficie de 300 km², siendo el segundo lago más grande de México, después del lago de Chapala (Mendoza et al., 2010). El lago se subdividió en dos grandes vasos, el vaso oeste mantiene pocos centímetros de profundidad en promedio de 0.76 m y en el vaso este la profundidad máxima es de 1.85 m (Israde et al., 2002). Se considera un lago somero debido a su poca profundidad y se reconoce como uno de los humedales más importantes del país para la conservación de la biodiversidad. El agua del lago proviene de los escurrimientos superficiales de la cuenca, principalmente de los ríos Grande de Morelia, Queréndaro y Zinapécuaro, del agua de lluvia que precipita directamente sobre el lago, y de las aguas termales de los manantiales que se encuentran dentro del mismo y en sus alrededores. (Mendoza et al, 2005; Mendoza et al., 2006; Bocco et al., 2012). Actualmente el lago se encuentra fragmentado por dos barreras, una artificial que es la carretera federal 43 y la autopista Morelia-Salamanca, y una natural

formada por la vegetación hidrófila que se ha favorecido con el aporte de nutrientes provenientes de las aguas negras que llegan al lago.

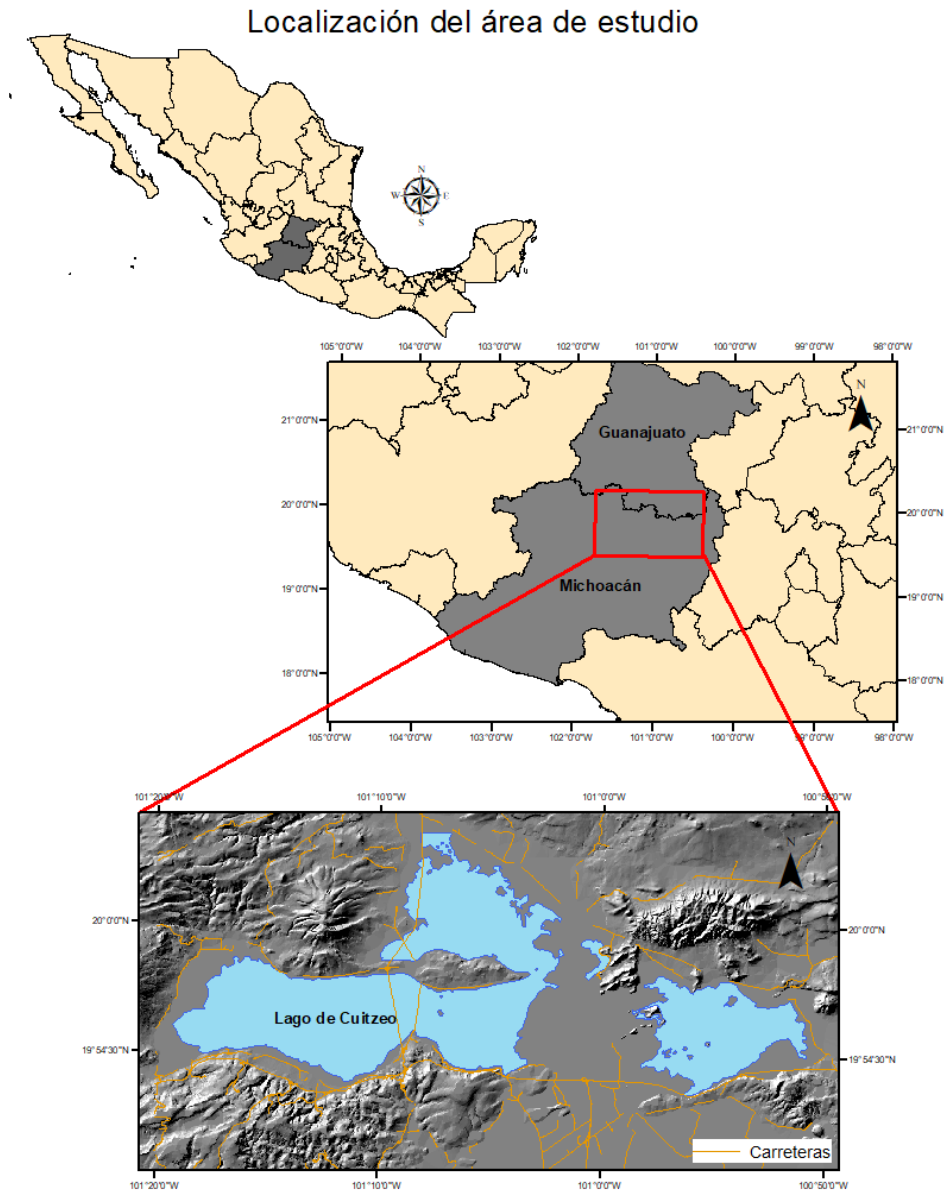


Figura 4. Área de estudio.

3.2 Clima

La distribución espacial de la precipitación y la temperatura indican que el área de estudio se ubica en una zona transicional entre los climas templado-secos a climas templado húmedo que se debe al relieve (Mendoza, 2002).

Mendoza y Carlón (2007), describieron el clima de acuerdo con los registros de las estaciones localizadas dentro de la cuenca y utilizando la clasificación de Köppen modificada por García (2004) (Tabla 1). En el cual caracterizan el clima en general como templado subhúmedo con lluvias en verano (Cb).

Tabla 1. Estaciones con los tipos de clima ordenadas de Norte a Sur. (Modificado de Mendoza y Carlón, 2007)

Estación	Clima	Descripción
Huandacareo	Cb(wo)(w)(i')g	Clima templado seco con lluvias en verano
Cuitzeo	Cb(wo)(w)(i')g	Clima templado seco con lluvias en verano
Huingo	Cb(w1)(w)(i')g	Clima templado subhúmedo intermedio con lluvias en verano
Zinapécuaro	Cb(w1)(w)(e)g	Clima templado subhúmedo intermedio con lluvias en verano
Álvaro Obregón	Cb(wo)(w)(i')g	Clima templado seco con lluvias en verano
Presa Malpais	Cb(wo)(w)(i')g	Clima templado seco con lluvias en verano
San Sebastián Queréndaro	Cb(wo)(w)(i')g	Clima templado seco con lluvias en verano
Cuitzillo Grande	Cb(wo)(w)(i')g	Clima templado seco con lluvias en verano
Morelia (centro)	Cb(wo)(w)(i')g	Clima templado seco con lluvias en verano
Jesús del Monte	Cb(w1)(w)(i')g	Clima templado subhúmedo intermedio con lluvias en verano
Cointzio	Cb(w1)(w)(i')g	Clima templado subhúmedo intermedio con lluvias en verano
Santiago Undameo	Cb(w2)(w)(i')g	Clima templado húmedo con lluvias en verano
Acuitzio del Canje	Cb(w2)(w)(i')g	Clima templado húmedo con lluvias en verano

Las temperaturas medias anuales varían entre los 12 a 18°C, en los meses más fríos la temperatura puede variar entre los 3 a 18°C, y las temperaturas más altas se registran en los meses de abril, mayo y junio con temperaturas entre los 20 a 22° C; mientras que las precipitaciones se concentran en julio y agosto.

En la cuenca predominan precipitaciones de 600 a 800 mm anuales. La lluvia aumenta sobre las sierras que rodean el lago. En la parte más baja se reciben de 800 a 1,000 mm y a mayor altitud, la precipitación es superior a 1,200 mm anuales.

3.3 Hidrología

La cuenca de Cuitzeo es una cuenca de tipo endorreica formada por los movimientos tectónicos y la actividad volcánica durante el Plioceno y el Pleistoceno, la dinámica hidrológica se define en función de la morfología, el patrón estructural y la homogeneidad del sustrato hidrológico.

La hidrología se caracteriza principalmente por corrientes intermitentes y algunas permanentes o perennes, entre las que sobresalen los ríos Grande de Morelia y Zinapécuaro; ambos drenan el 45% de la superficie de la cuenca. El patrón de drenaje en la porción elevada de la cuenca es dendrítico a subdendrítico (Figura 5), la mayor densidad de escurrimientos se localiza hacia la porción elevada del sur de esta, mientras que en la porción norte son escasos con una red de drenaje poco desarrollada, al igual que en el sector centro-oriental con vulcanismo reciente (Mendoza, 2002; Cram et al., 2010).

Mapa hidrológico de la cuenca de Cuitzeo

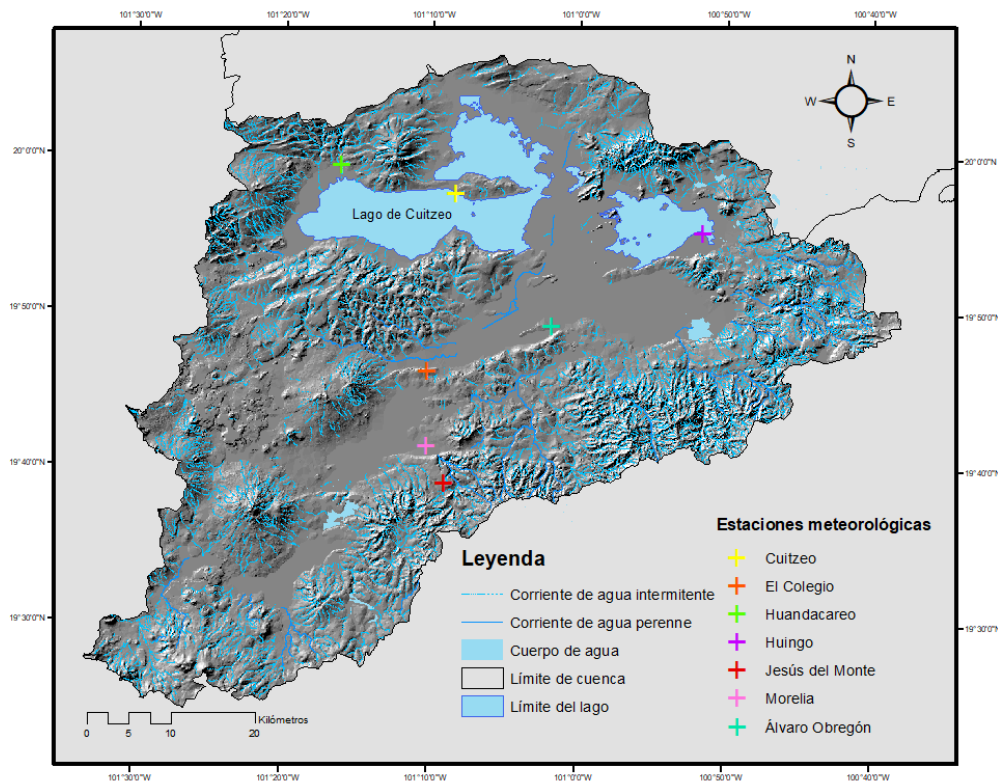


Figura 5. Mapa de hidrología de la cuenca de Cuitzeo.

3.4 Suelos

Los suelos presentes en el área derivan principalmente de materiales volcánicos en diversas etapas de desarrollo sobre estructuras geológicas asociadas a la formación del cinturón volcánico; el uso de suelo es principalmente agrícola y pecuario.

Los suelos que predominan en la cuenca están constituidos por materiales con texturas finas principalmente, como: Vertisoles, Luvisoles, Andosoles y Acrisoles (Figura 6). Los Vertisoles se encuentran principalmente en la porción centro y norte de la cuenca, la cual tiene menor amplitud de relieve. Los Luvisoles se encuentran en la sección este, sobre domos volcánicos; y en la sección centro-oeste en piedemontes volcánicos (Mendoza, 2002).

Mapa de suelos de la cuenca del lago de Cuitzeo

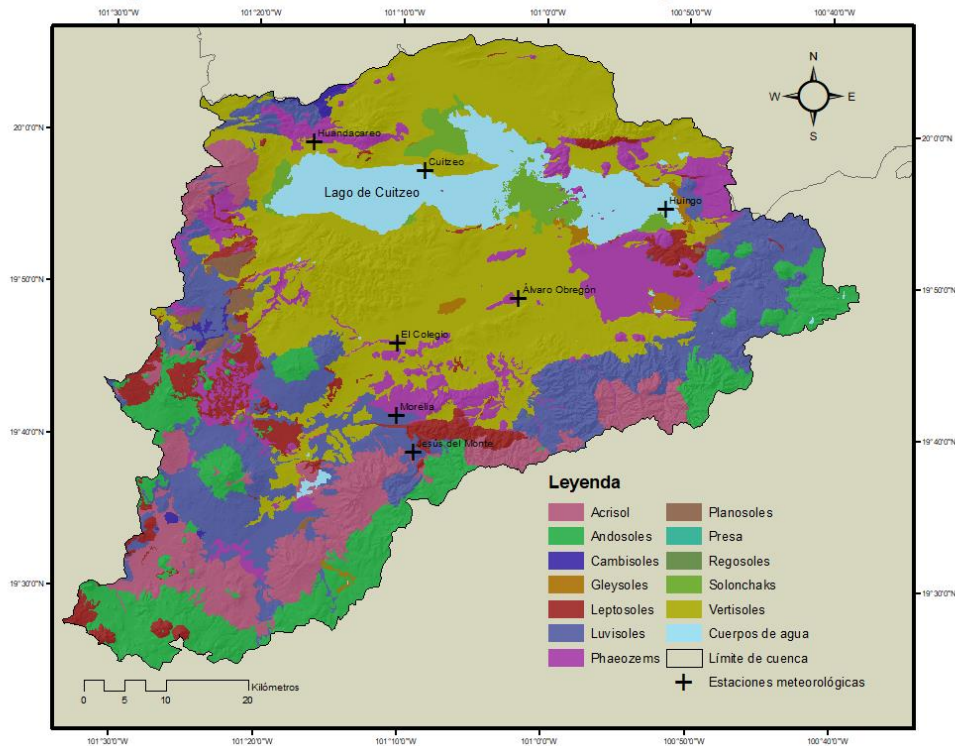


Figura 6. Mapa generalizado de suelos dentro de la cuenca de Cuitzeo.

3.5 Cobertura y uso de suelo

Dentro de la cuenca de Cuitzeo predominan las coberturas de origen antrópico como son los pastizales, cultivos de temporal y riego, y las plantaciones forestales, cubriendo un 50% de la superficie de la cuenca. Le siguen las coberturas de tipo arbóreo y arbustivo como los bosques con un 19% y los matorrales con un 13%. Los asentamientos humanos ocupan el 5% del total de la cuenca (Figura 7) (Lopez et al., 2006; Correa et al., 2014).

De acuerdo con Correa et al., 2014, quienes realizaron una descripción de los tipos de cobertura, señalan que en los bosques predominan principalmente arbóreas de coníferas, bosques de encino y bosques mixtos; en los matorrales predomina el bosque tropical caducifolio; y en la vegetación acuática se encuentran principalmente el tular y el carrizal (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción del tipo de cobertura y uso del suelo. (Modificado de Correa et al., 2014).

Tipos de Cobertura	Descripción
Bosques cerrados	Asociaciones arbóreas de coníferas (pino, oyamel, cedro blanco) bosques de encino y bosques mixtos. El dosel ocupa más del 90% de su superficie.
Bosques abiertos y semiabierto	Asociaciones arbóreas de coníferas (pino, oyamel, cedro blanco) bosques de encino y bosques mixtos. El dosel ocupa entre el 60%-90% de su superficie.
Matorrales	Asociación vegetal dominada por arbustos. En general corresponde a matorrales secundarios de bosque tropical caducifolio. El dosel ocupa entre el 60%-90% de su superficie.
Pastos halófitos	Vegetación herbácea entre 10 cm-60 cm de altura aproximadamente, asociada a zonas de desecación del lago.
Vegetación acuática	Los tipos más comunes corresponden al tular y al carrizal.
Plantaciones forestales	Superficies arboladas en su mayoría por especies exóticas como el eucalipto.
Pastizales inducidos y cultivos	Vegetación herbácea dominante mezclada con áreas ocupadas por frutales, cultivos de secano y cultivos con riego artificial.
Cuerpos de agua	Masas de agua de origen natural como el lago Cuitzeo y artificiales como presas y reservorios.
Asentamientos humanos	Áreas residenciales agregadas, comerciales, servicios y carreteras.

Mapa de tipos de cobertura y uso de suelo de la cuenca del lago de Cuitzeo

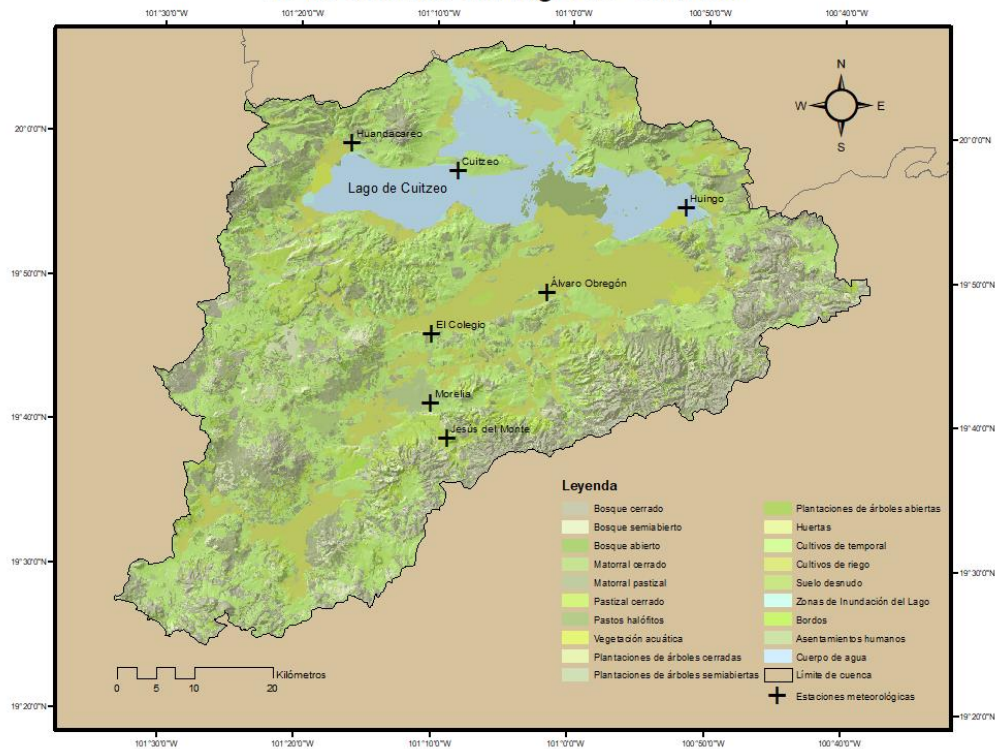


Figura 7. Mapa de tipos de cobertura y uso de suelo en la cuenca de Cuitzeo.

3.6 Geología

El sistema lacustre de Cuitzeo se ubica en el sector central del Sistema Volcánico Transversal (SVT), que a su vez pertenece al brazo oriental del sistema del arco circunpacífico (Israde y Garduño, 1999). El SVT es un arco volcánico que se encuentra sobre el margen suboccidental de la Placa de Norteamérica formado por la subducción de las Placas Rivera y Cocos, a lo largo de la Trincheras de Acapulco. Su origen se debe al desplazamiento de las placas Pacífico hacia el noroeste, Norteamérica hacia el occidente, Cocos hacia el noreste y Caribe hacia el oriente durante el Mioceno medio al Plioceno temprano, lo que provocó el levantamiento y fracturamiento de la corteza, facilitando así su formación. Es el arco volcánico más grande del Neógeno en Norte América con una extensión de 16,000 km² y una longitud de casi 1000 km entre las coordenadas 18 ° 30 ' y 21 ° 30'N en el centro de México; se divide en tres secciones: oriental, central y occidental. Tiene una orientación E-W, que se limita al este con el

Rift del Golfo de California y al oeste con el basamento oceánico del Golfo de México (Ferrari et al., 2012).

Dentro del Sistema Volcánico Transversal se encuentra el Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (CVMG) que se extiende en un área de 40, 000 km² y se compone por más de mil pequeños volcanes monogenéticos y algunos volcanes de tamaño medio. Las principales estructuras volcánicas son conos de escoria y conos cineríticos, también se encuentran flujos de lava, maares y domos. El mayor volumen de magma en el área proviene de los 300 volcanes de tamaño medio que se distribuyen en todo el CVMG. Los conos cineríticos que se encuentran en el norte son más antiguos que los del sur, lo cual sugiere una migración de la actividad volcánica en dirección SW (Ban et al., 1992; Hasenaka et al., 1985).

Dentro del CVMG se encuentra la cuenca del Lago de Cuitzeo que comenzó a desarrollarse en el Mioceno medio (≤ 12 Ma), esta cuenca forma parte de una serie de depresiones tectónicas alineadas en dirección E-O en las que se han establecido sistemas lacustres, algunos de ellos ya desaparecidos por efecto del vulcanismo y la tectónica que han contribuido a su colmatación (Israde et al., 2002; Garduño et al., 2009; Israde et al., 2010). La cuenca tectónica subsidente del lago de Cuitzeo ha sido rellenada por un espesor de más de 1200 metros de depósitos aluviales y vulcano-sedimentarios que sugieren una elevada tasa de subsidencia sucesiva al basculamiento Plio-pleistoceno.

La región en donde se encuentra la cuenca se divide en tres secciones estructurales; el sector oriental está formado por el graben de Acambay, el sector central está definido por la falla Venta de Bravo y el sector occidental está definido por el área comprendida entre Morelia y Los Azufres que se caracteriza por fallas normales de orientación general E-W pertenecientes al sistema Morelia-Maravatío-Acambay. Las fallas de este sector pueden medir más 25 km de longitud y con una altura promedio de los escarpes menor a 100 m. Todos los elementos estructurales en la cuenca están delimitados por fallas NE-SW y E-W que conforman semigrabens basculados hacia el sur (Figura 8) (Israde et al., 2002; Quintero, 2002).

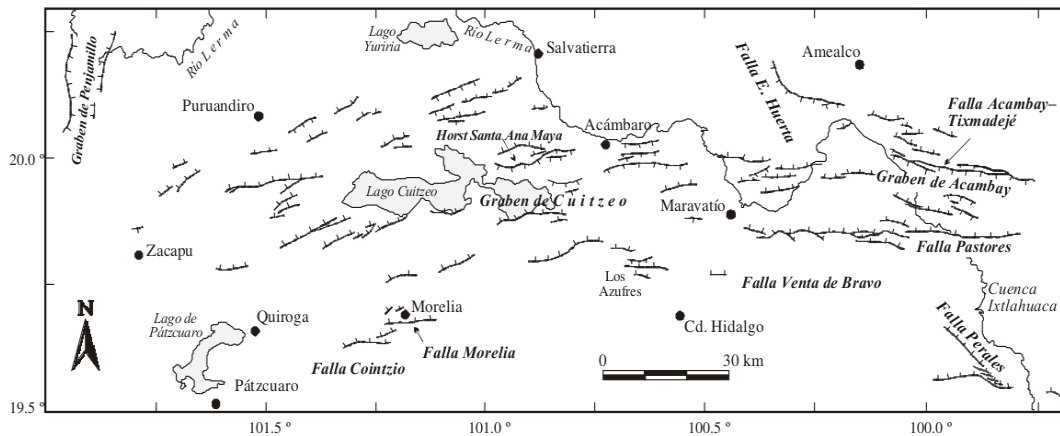


Figura 8. Patrón de fallas normales localizadas en el área de estudio. Fuente: Quintero, 2002.

Los fechamientos obtenidos en el basamento andesítico y en los flujos piroclásticos de la cima de los depósitos lacustres al sur del lago actual, sugieren que el antiguo lago de Cuitzeo se desarrolla a partir de los *ca.* 7 millones de años (Neógeno) hasta *ca.* 2 millones de años (Suter et al., 2001; Israde et. al, 2001).

La litología de la cuenca de Cuitzeo está conformada principalmente por rocas volcánicas (Figura 9). La planicie al norte del lago se conforma por sedimentos lacustres recientes, productos piroclásticos del Holoceno, por andesitas y basaltos del Pleistoceno, basaltos y riolitas del Plioceno, riolitas e ignimbritas del Mioceno Superior, así como andesitas y basaltos del Mioceno Medio (SGM, 1999). Al este se aprecian aluviones y lahares del Holoceno, basaltos del Pleistoceno, ignimbritas riolíticas, andesitas y basaltos del Plioceno pertenecientes al sistema geotérmico de los azufres (SGM, 1998). Al sur, lo limita la secuencia volcánica del Oligoceno- Mioceno de Mil Cumbres orientada este-oeste que comprende una secuencia de depósitos andesíticos, dacíticos, ignimbriticos y basálticos con edades entre los 18 a 23 Ma. Sobre esta secuencia se encuentran depósitos de lavas andesíticas fracturadas y flujos piroclásticos riolíticos del Mioceno. Al oeste, está limitado por el volcán Quinceo con edades menores a 570,000 años, en sus productos efusivos se observan impresiones de mazorcas con edades inferiores a 3,500 años (Israde et al., 2001; Gómez, 2012).

Mapa litológico de la cuenca del lago de Cuitzeo

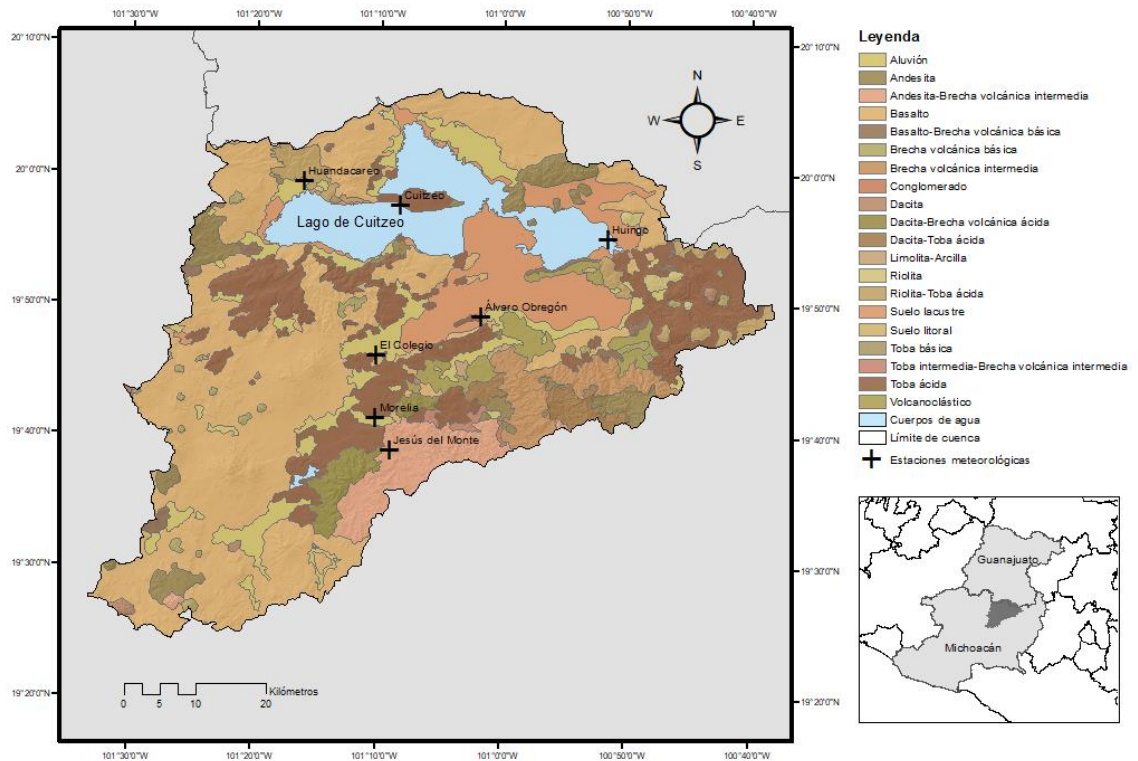


Figura 9. Litología de la cuenca de Cuitzeo.

3.7 Paleoambientes

De acuerdo con la descripción de Israde et al. 2010, durante el periodo de ca. 130 ka y 90 ka a.P que pertenece al final del último interglacial, el lago de Cuitzeo era poco profundo y contenía aguas cálidas en donde había un amplio desarrollo de plantas acuáticas. La presencia de yeso en los sedimentos de este periodo sugiere un clima más seco que el actual. En la vegetación, predominaba el bosque de pino-encino y elementos herbáceos derivados de un ambiente húmedo. Desde el comienzo de este intervalo se infiere que las condiciones climáticas fueron aumentando en humedad, hasta alcanzar condiciones más húmedas que las actuales.

Posteriormente, durante el periodo de ca. 98 ka a ca. 93.5 ka. A.P., que corresponde al inicio del último glacial, continua un ambiente húmedo. La reducción del polen y la

dominancia de componentes del bosque de pino sugiere un periodo más frío y con poca productividad biológica. La presencia de minerales como el cuarzo y la anortita, indican erosión a partir de la actividad volcánica en la región (Israde et al., 2010).

Los paleoindicadores durante el periodo de ca. 93 ka a 53 ka a.P. que corresponde a la última glaciación sugieren un clima seco con algunos periodos de disturbio volcánico.

En el periodo de 53 ka a 35 ka a.P. que incluye parte de la última glaciación. Las condiciones sugieren un clima semiseco en las partes bajas de la cuenca. El lago, adquiere un tirante de agua más alto que en los periodos anteriores y la presencia de especies perifíticas indican que hubo constantes fluctuaciones en el lago para este periodo (Israde et al., 2010).

Durante el intervalo de ca 35 ka a 18 ka a.P. que incluye la última glaciación, el lago continúa fluctuando y presenta un deterioro ambiental debido a la gran actividad volcánica de este periodo. Posterior a este periodo el lago y la cuenca adquieren las características actuales (Figura 10) (Israde et al., 2010).

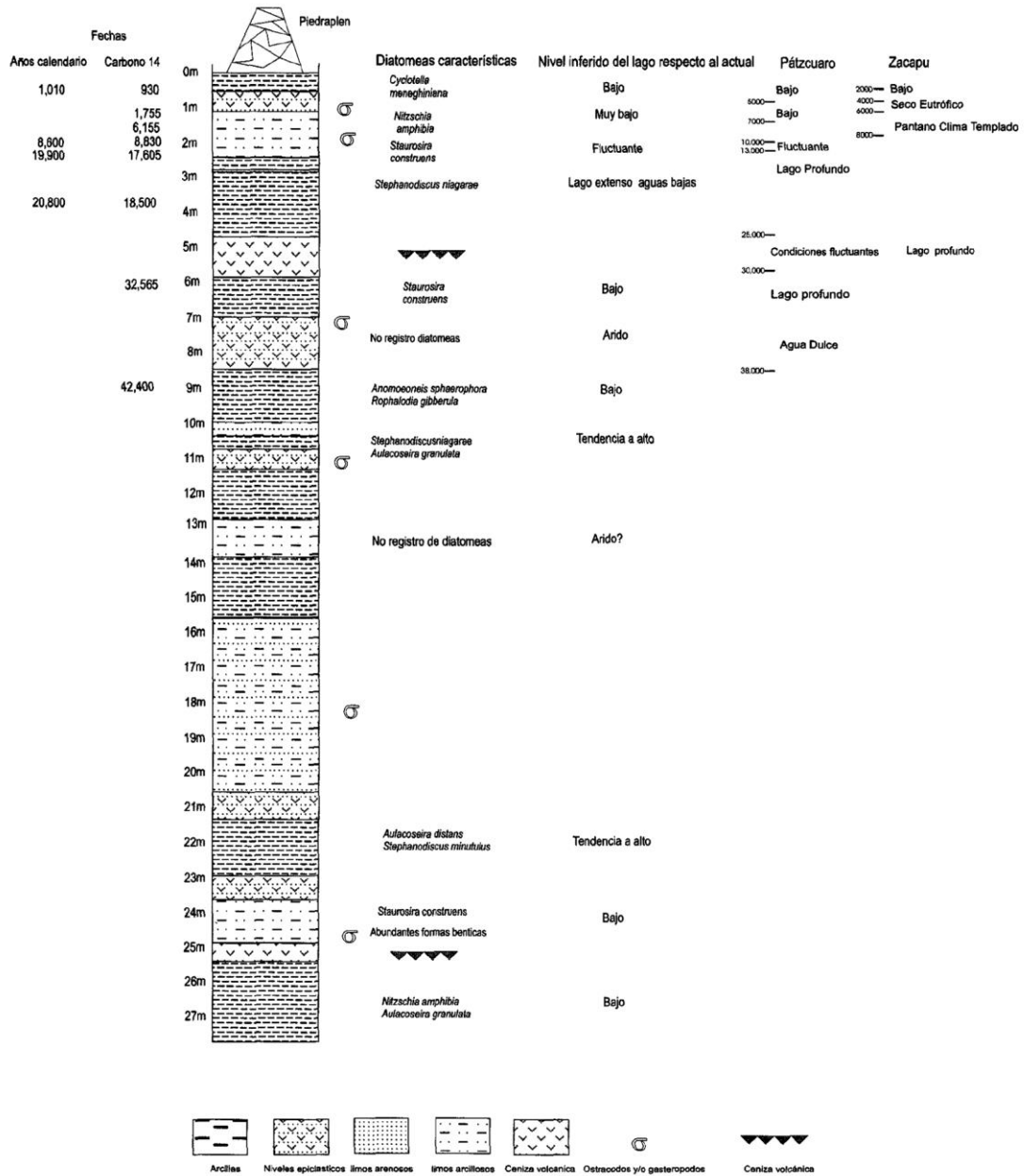


Figura 10. Estratigrafía del núcleo extraído y los niveles inferidos con base en diatomeas, comparación con el registro obtenido en los lagos de Pátzcuaro (Bradbury, 2000) y Zacapu (Metcalfe, 1992; Fritz et al., 2001). Tomada de Israde et al., 2002.

3.8 Geomorfología

La cuenca es una unidad hidrológica mayormente de baja amplitud de relieve, la altitud varía desde 1,830 hasta los 3,420 msnm (Figura 11). Sin embargo, el 90% de la cuenca se localiza por debajo de los 2,500 msnm. Las pendientes varían principalmente entre 0 y 20° (90%) (Tabla 3) (Mendoza, 2002).

Tabla 3. Unidades de relieve generalizadas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo. (Modificado de Mendoza, 2002).

Relieve generalizado	Área en km²	Área %
Planicie fluvio-lacustre	585.79	14.55
Planicie fluvial	6.9	0.17
Planicie lacustre inundable	136.39	3.39
Planicie lacustre inundable con vegetación acuática	39.17	0.97
Planicie inundable con depósitos de sal	8.71	0.22
Piedemonte superior	57.24	1.42
Piedemonte medio	196.32	4.88
Piedemonte inferior	94.95	2.36
Piedemonte no diferenciado	169.59	4.21
Valle amplio	11.87	0.29
Valle estrecho	9.25	0.23
Colada de lava	40.15	1
Cono volcánico	33.65	0.84
Elevaciones aisladas	17.86	0.44
Laderas muy suaves y suaves	1320.91	32.81
Laderas inclinadas y escarpadas	710.53	17.65
Mesa volcánica	215.26	5.35
Superficie cumbral	49.22	1.22

Mapa geomorfológico de la cuenca del lago de Cuitzeo

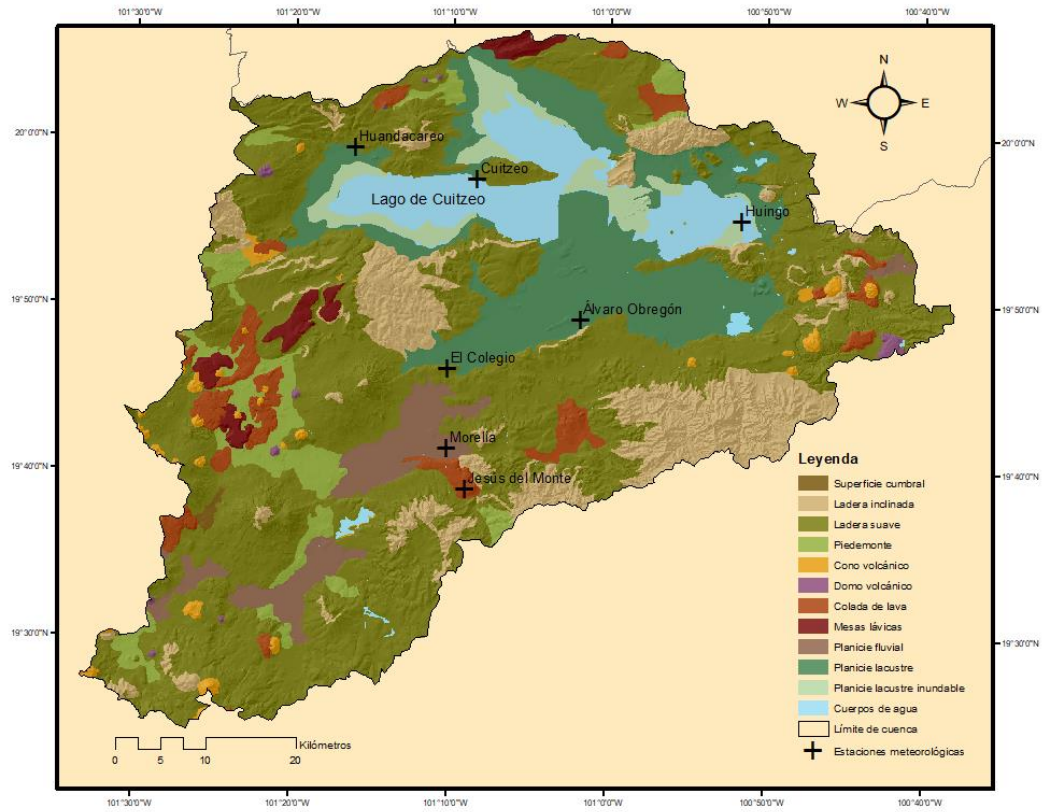


Figura 11. Mapa de geomorfología.

CAPÍTULO 4 MATERIALES Y MÉTODOS

Dentro de la cuenca de Cuitzeo se encuentran 23 estaciones meteorológicas; sin embargo, no todas cuentan con un registro de datos completo por lo que para este trabajo se eligieron las estaciones con mayor registro de datos de precipitación y de temperatura. En este trabajo se realizó una homogenización de datos utilizando métodos estadísticos para completar los datos faltantes.

Se propuso la siguiente metodología (Figura 12) con la finalidad de obtener la superficie del lago con un método indirecto donde se pudiera incorporar la información disponible.

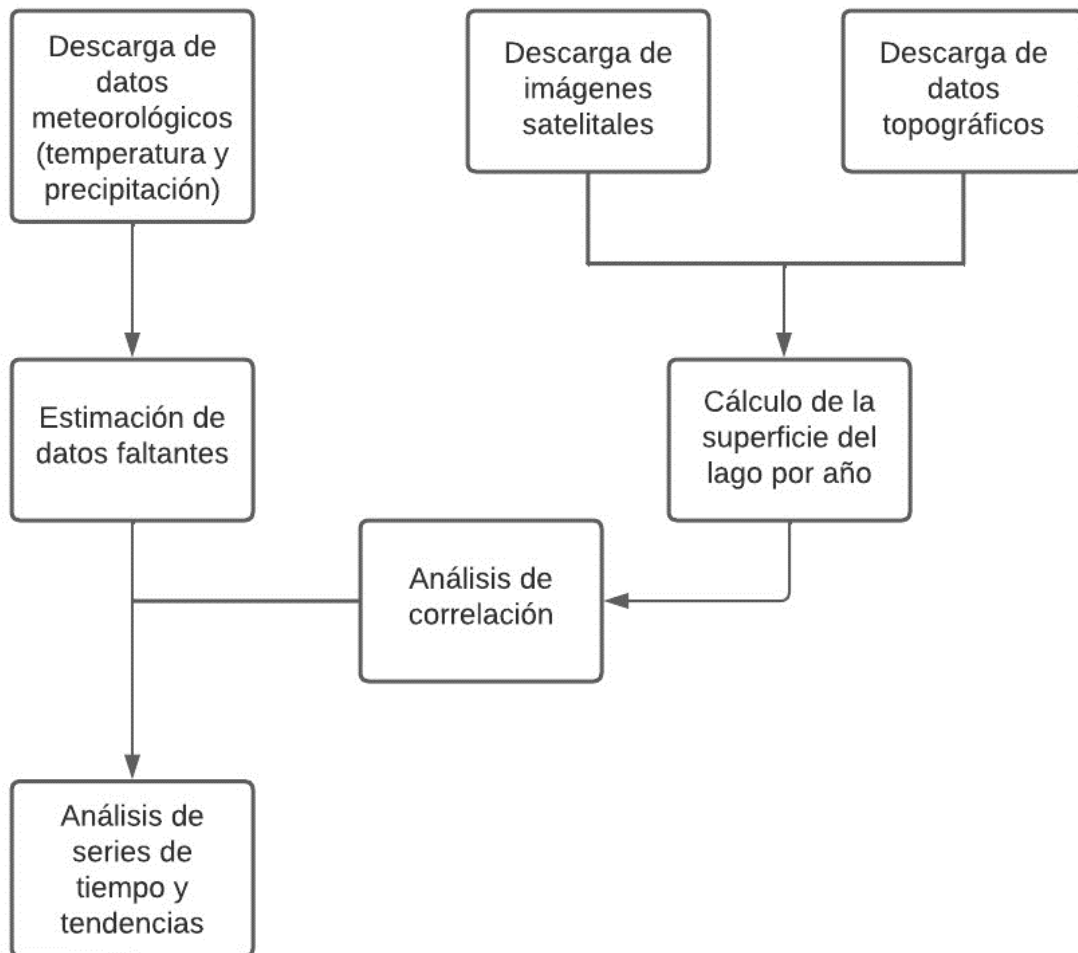


Figura 12. Diagrama de flujo del método de la investigación.

4.1 Descarga de datos meteorológicos (temperatura y precipitación)

Las observaciones meteorológicas se utilizan para la preparación en tiempo real de análisis meteorológicos, pronósticos y avisos de tiempo severo, para el estudio del clima, para operaciones locales dependientes del clima (por ejemplo, operaciones de vuelo de aeródromos locales, trabajos de construcción en tierra y en el mar), para hidrología y meteorología agrícola, y para realizar investigaciones meteorológicas y climatológicas (OMM, 1996).

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos. Las estaciones climáticas deben ubicarse espacialmente en lugares que representen las características físicas de las cuencas. El número de estaciones y su ubicación dependen, de varios factores, entre estos figuran el tamaño de la cuenca, el tipo de precipitación que domina en el área, la forma de la precipitación, variabilidad altitudinal, topografía y de la cobertura vegetal y uso del suelo

Las estaciones dentro de la cuenca se asientan principalmente en zonas con baja pendiente, en las zonas bajas de la cuenca y principalmente en zonas agrícolas y pecuarias. Las estaciones que se encuentran en áreas de mayor pendiente y altitud no cuentan con un buen registro meteorológico. En general, la cuenca se encuentra medianamente monitoreada con respecto los parámetros de precipitación y temperatura (Mendoza et al., 2005).

Para ese trabajo se descargaron los datos de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas (CONAGUA, 2019) ubicadas dentro del área de estudio o cercanas a ella (Figura 13). Se seleccionaron las estaciones con el mayor número de años de registro, debido a que muchas de las estaciones presentan ausencia de datos en sus registros lo cual puede causar inconsistencias en el análisis (Tabla 4).

Para cada estación seleccionada se descargaron los datos mensuales de temperatura media y precipitación.

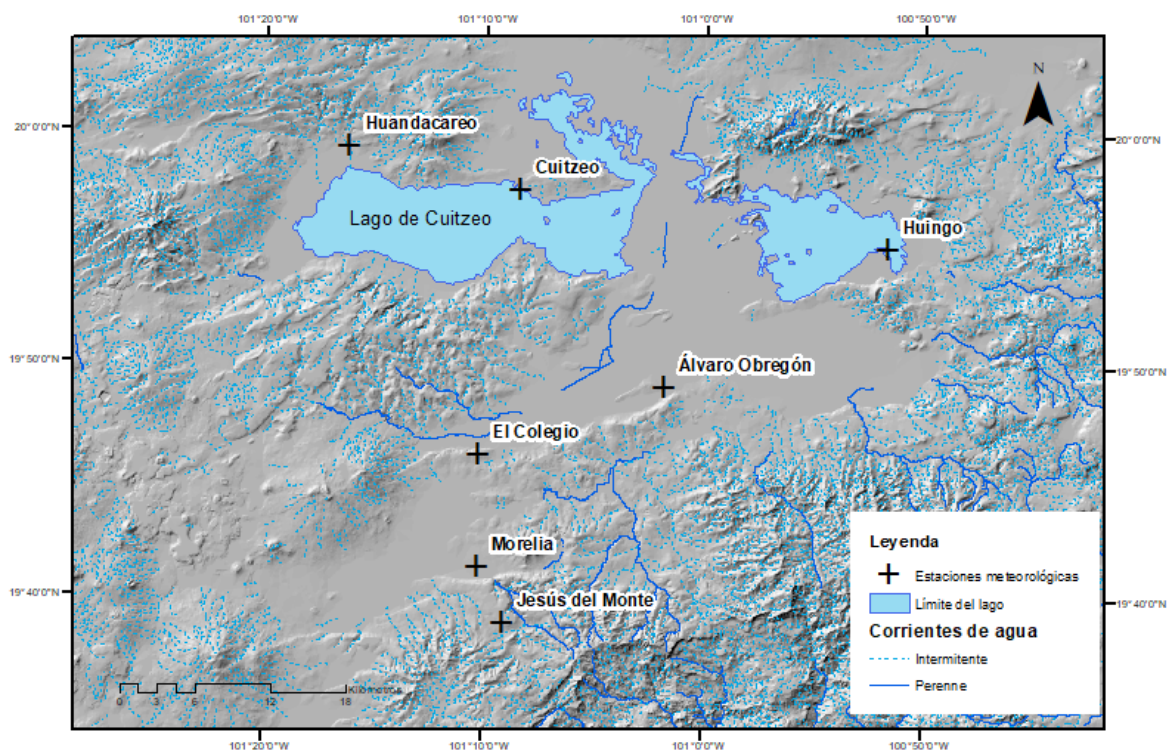


Figura 13. Mapa de localización de las estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación.

Tabla 4. Estaciones seleccionadas para el estudio. P: precipitación, T(m): Temperatura media.

Estación	Clave	Coordenadas	Altitud (msnm)	Años de registro	Datos faltantes P	Datos faltantes T(m)
Cuitzeo	16027	19.96N - 101.14W	1,831	1923-2019	107	119
Morelia	16081	19.69N - 101.17W	1,908	1947-2019	9	16
Álvaro Obregón	16091	19.82N - 101.03W	1,840	1966-2019	20	48
Huandacareo	16250	19.99N - 101.27W	1,851	1982-2017	63	63
Huingo	16052	19.92N - 100.86W	1,921	1941-2015	19	19
Jesús del Monte	16055	19.65N - 101.15W	2,180	1935-2019	23	24
El Colegio	16512	19.77N - 101.17W	1,880	1986-2019	33	33

4.2 Estimación de datos faltantes

Las investigaciones hidrológicas y de modelado deben ser precisas por lo cual se requieren series de datos con registros continuos y completos. La precisión de varios análisis hidrológicos, como el análisis del presupuesto hídrico, la modelización de inundaciones, los estudios de cambio climático, la gestión de sequías, la programación del riego y la gestión del agua depende en gran medida de la estimación correcta de la distribución espacial de las variables. Sin embargo, las series de datos de lluvia presentan datos faltantes por mal funcionamiento de los pluviómetros o falta de medición que interrumpe la consistencia y continuidad de los registros históricos. La red de estaciones meteorológicas suele ser escasa en el campo porque el número de estaciones en una región suele estar restringido por factores económicos, logísticos y geológicos, por lo que es necesario desarrollar, aplicar y evaluar métodos de estimación de los datos faltantes para representar su comportamiento espaciotemporal a nivel mensual (Goovaerts, 2000; Cruz et al., 2018).

Los datos faltantes de una estación se pueden completar por diferentes métodos estadísticos que van a depender de diferentes factores, como la cantidad de datos faltantes y la distancia entre estaciones, en caso de que no haya estaciones cercanas se puede autocompletar una estación (Alfaro y Soley, 2009).

En esta investigación la homogenización se realizó utilizando el programa R Studio. Dentro del programa se utilizó el paquete MissForest, el cual es un algoritmo que sustituye valores no informados en una observación por otros.

En primer lugar, se integraron los datos de todas las estaciones en una sola hoja de Excel para el mismo periodo de tiempo en donde se encuentran valores faltantes que va de 1962 a 2015, de esta manera el programa R Studio lee el archivo sin errores. Este paso se realizó con los datos de cada una de las variables, por lo que al final se obtuvieron dos archivos, uno con los datos de precipitación y otro con los datos de temperatura. Para obtener los valores se construyó un script (Anexo 1) que se podrá utilizar para cualquier serie de tiempo que requiera ser completada.

4.2.1 Algoritmo MissForest

Missforest es una técnica de imputación no paramétrica basada en el principio de bosques aleatorios. Este método se puede aplicar a prácticamente cualquier tipo de datos. MissForest funciona de forma iterativa, actualizando continuamente la matriz imputada de forma variable y evalúa su rendimiento entre iteraciones. Esta evaluación se realiza considerando la(s) diferencia(s) entre el resultado de la imputación anterior y el de la nueva imputación. Tan pronto como esta diferencia (en el caso de un tipo de variable) o estas diferencias (en el caso de variables de tipo mixto) aumentan, o cuando se alcanza el número máximo de iteraciones especificadas por el usuario, el algoritmo se detiene (Stekhoven y Buehlmann, 2012).

Para una variable arbitraria X_S que contiene valores faltantes en las entradas $i_{mis}^{(s)} \subseteq \{1, \dots, n\}$

podemos separar el conjunto de datos en 4 categorías:

- 1) Los datos observados de la variable X_S , denotado por $Y_{obs}^{(s)}$.
- 2) Los valores faltantes de la variable X_S , denotado por $Y_{mis}^{(s)}$.
- 3) Las variables distintas de X_S con observaciones $i_{obs}^{(s)} \subseteq \{1, \dots, n\} \setminus i_{mis}^{(s)}$ denotada por $X_{obs}^{(s)}$.
- 4) Las variables distintas de X_S con observaciones $i_{mis}^{(s)}$ denotada por $X_{mis}^{(s)}$.

El procedimiento missForest se puede sintetizar en los siguientes pasos:

1. Realizar una primera imputación utilizando el método por la media o cualquier otro método, generando X^{imp} .
2. Ordenar las variables X_S , $s = 1, \dots, p$, de acuerdo a la cantidad de valores perdidos, comenzando por las cantidades más pequeñas.
3. Asignar en X_{old}^{imp} la matriz de datos imputados.
4. Para cada variable X_S ajustar un RF (random forest) con respuesta $Y_{obs}^{(s)}$ y predictores $X_{obs}^{(s)}$.
5. Predecir los valores $Y_{mis}^{(s)}$ perdidos aplicando el RF a $X_{mis}^{(s)}$.

6. Actualizar X^{imp} reemplazando los valores imputados anteriores por $Y_{mis}^{(s)}$, generando X_{new}^{imp} .
7. Repetir los pasos 3 a 6 hasta que se verifique el criterio de parada.

Se considera que el criterio de parada se cumple si la diferencia entre la matriz de datos imputados nueva y la anterior aumenta por primera vez con respecto a ambos tipos de variables. La diferencia para el conjunto de variables continuas **N** se define como;

$$\Delta N = \frac{\sum_{J \in N} (X_{new}^{imp} - X_{old}^{imp})^2}{\sum_{J \in N} (X_{new}^{imp})^2}$$

Y para las **F** variables categóricas,

$$\Delta F = \frac{\sum_{J \in F} \sum_{i=1}^n I_{X_{new}^{imp} \neq X_{old}^{imp}}}{\#NA}$$

Donde #NA es el número de valores perdidos en las variables categóricas.

4.2.1 Metodología para completar series de tiempo mensuales cuando no existen estaciones adyacentes

La propuesta metodológica (Ti), hace alusión a la estimación de datos faltantes de temperatura media mensual, la cual está en función del cociente entre el producto del promedio de temperaturas anuales anterior y posterior al año donde se encuentra el mes faltante (TA_{i-1} ; TA_{i+1}), y la temperatura mensual media correspondiente al mes problema (TMM_i), sobre dos veces la temperatura anual media de la serie de datos (TAM). Se define como:

$$Ti = \frac{(TA_{i-1} + TA_{i+1}) * TMM_i}{2 * TAM}$$

La limitación de esta metodología radica en que el vacío de información no puede ser

superior a un año continuo o igual o mayor a dos intervalos vacíos de información del mismo mes en años consecutivos, ya que la variabilidad de estos (y por ende su fiabilidad), se vería comprometida (Bastidas et al., 2020). Esta metodología sólo se utilizó para comparar los resultados de algunas estaciones obtenidos con el método missForest.

4.3 Descarga de imágenes satelitales

Las imágenes de satélite se descargaron de Earth Explorer, plataforma que pertenece al Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), sólo se seleccionaron imágenes satelitales Sentinel y Landsat. Para realizar la búsqueda de las imágenes, se utilizaron ciertos parámetros; a) Imágenes del año 1997 al 2021; b) Imágenes captadas entre los meses de enero a marzo; c) Con nubosidad < 10 %; d) Con visibilidad de toda el área de estudio. Se descargaron imágenes de los satélites Landsat 4-5 TM, Landsat 7 y Sentinel (Tabla 5).

El sensor Landsat Thematic Mapper IMAGEN se llevó a bordo de los Landsat 4 y 5 desde julio de 1982 hasta mayo de 2012 con un ciclo de repetición de 16 días. Las imágenes Landsat 4-5 TM constan de siete bandas espectrales. La resolución espacial es de 30 metros para las bandas 1 a 7 y el tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte a sur por 183 km de este a oeste (USGS, 2018).

Landsat 7 fue lanzado desde la Base de la Fuerza Aérea Vandenberg en California el 15 de abril de 1999 en un cohete Delta II. El satélite lleva el sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Las características principales de Landsat 7 incluyen una banda pancromática con una resolución espacial de 15 metros, un calibrador solar de apertura completa integrado, una calibración radiométrica absoluta del cinco por ciento y un canal infrarrojo térmico con una mejora de cuatro veces en la resolución espacial sobre Thematic Mapper IMAGEN. Gira alrededor de la Tierra a 705 km (438 mi) en una órbita casi polar sincronizada con el sol (inclinación de 98,2 grados) y da la vuelta a la Tierra cada 99 minutos. Tiene un ciclo de repetición de 16 días con un tiempo de cruce ecuatorial: 10:00 am (+/- 15 minutos). Desde junio de 2003, el sensor presentó fallas en el corrector de línea de exploración por lo que las imágenes presentan una brecha en los datos. Estos productos tienen algunos datos faltantes, pero siguen siendo útiles y mantienen las

mismas correcciones radiométricas y geométricas que los datos recopilados antes de la falla del SLC (NASA).

El par de satélites Sentinel-2 genera de forma rutinaria imágenes ópticas de alta resolución a nivel mundial. Sentinel-2 cuenta con sensores visibles, infrarrojos cercanos e infrarrojos de onda corta que comprenden 13 bandas espectrales: 4 bandas a 10 m, 6 bandas a 20 m y 3 bandas a 60 m de resolución espacial (esta última dedicada a correcciones atmosféricas y detección de nubes), con un ancho de franja de 290 km (ESA).

Tabla 5. Datos de las imágenes descargadas por año.

<i>Satélite</i>	<i>Características</i>	<i>Fecha</i>	<i>Año</i>
<i>Landsat 4-5 TM</i>	sin error	feb-24	1997
<i>Landsat 4-5 TM</i>	sin error	mar-15	1998
<i>Landsat 4-5 TM</i>	sin error	feb-14	1999
<i>Landsat 4-5 TM</i>	sin error	feb-17	2000
<i>Landsat 4-5 TM</i>	sin error	mar-07	2001
<i>Landsat 7</i>	sin error	mar-18	2002
<i>Landsat 7</i>	sin error	mar-05	2003
<i>Landsat 7</i>	con error	ene-19	2004
<i>Landsat 7</i>	con error	ene-05	2005
<i>Landsat 7</i>	con error	feb-25	2006
<i>Landsat 7</i>	con error	feb-28	2007
<i>Landsat 7</i>	con error	feb-15	2008
<i>Landsat 7</i>	con error	mar-05	2009
<i>Landsat 7</i>	con error	ene-19	2010
<i>Landsat 7</i>	con error	feb-22	2011
<i>Landsat 7</i>	con error	ene-25	2012
<i>Landsat 7</i>	con error	feb-28	2013
<i>Landsat 7</i>	con error	ene-30	2014
<i>Landsat 7</i>	con error	feb-18	2015
<i>Sentinel</i>	sin error	mar-16	2016
<i>Sentinel</i>	sin error	mar-21	2017
<i>Sentinel</i>	sin error	ene-15	2018
<i>Sentinel</i>	sin error	feb-04	2019
<i>Sentinel</i>	sin error	mar-25	2020
<i>Sentinel</i>	sin error	feb-28	2021

4.4 Cálculo de la superficie del lago por año

La interpretación de imágenes aéreas y satelitales es un método para obtener información sobre los objetos y el paisaje. Es un proceso específico de estudio de la realidad geográfica basado en la detección, identificación y localización espacial de objetos individuales y formas del terreno captadas en fotografías aéreas y registros de imágenes satelitales (Svatonova, 2016).

Se realizó una interpretación visual de las imágenes satelitales de los años 1997 a 2021. En donde se analizó una de imagen de cada año perteneciente a los meses con menor o nula precipitación que van de enero a marzo. Todos los datos espaciales se encuentran en proyección UTM zona 14.

El trabajo requirió la interpretación visual de las siguientes imágenes en formato digital:

- a) Landsat 4-5 TM (1997-2001)
- b) Landsat 7 ETM (2002-2015)
- c) Sentinel (2016-2021)

La interpretación se realizó en el programa de cómputo ArcGIS 10.8. Antes de iniciar la interpretación, se corrigieron las imágenes Landsat 7 ETM que presentaban error en las bandas. Para corregir el error se utilizó la herramienta "Fix Landsat 7 Scanline Error" que se descargó previamente para poder utilizarla. Una vez que se tuvieron todas las imágenes sin error, se interpretaron visualmente. Este análisis también se puede realizar con programas de forma automática; sin embargo, pueden presentar algunos errores que harán menos precisa la información.

4.5 Análisis estadístico

4.5.1 Análisis de series de tiempo

Los modelos de series de tiempo son adecuados cuando se puede asumir una cantidad razonable de datos y una continuidad en el futuro próximo de las condiciones que se presentaron en el pasado. El análisis de las series de tiempo es importante para poder predecir eventos climáticos en el futuro.

Una serie de tiempo es un conjunto de observaciones o variables hidrológicas, colectadas de manera secuencial cuyos valores ocurrieron durante un intervalo de tiempo (Δt). El análisis de series de tiempo puede ser seleccionando valores de la variable X a intervalos de tiempo igualmente espaciados (cada mes, cada año) o a intervalos irregulares (puntos de inflexión) (Mendoza y Carlón, 2007).

Las observaciones de una serie de tiempo pueden ser denotadas como:

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_t$$

Donde X_t es el valor tomado por el proceso en el instante t

$$t = 1, 2, 3, \dots, N$$

N es el número de observaciones del que consta la serie completa (tamaño de la serie).

4.5.2 Análisis de tendencia

El análisis de tendencias es un método de investigación de las alteraciones en los patrones climáticos. El análisis de las tendencias en variables climáticas es un método aplicado para monitorear cambios climáticos globales. Para realizar un análisis de tendencias en variables climáticas la Organización Mundial de Meteorología (OMM) propone la metodología realizada por Mann y Kendall (Alves y Nóbrega, 2017).

4.5.4 Prueba de tendencia Mann-Kendall

La prueba Mann-Kendall es una prueba no-paramétrica, sugerida para evaluar la tendencia en series de datos ambientales. La prueba consiste básicamente en la comparación entre los valores que componen una misma serie temporal, en orden

secuencial (Mondal et al., 2012). La prueba utiliza un procedimiento basado en rangos y es adecuada para datos sin distribución normal, datos censados, datos con valores extremos y tendencia no lineal. Es una metodología que se ha utilizado ampliamente para probar aleatoriedad contra tendencias en los datos climáticos de las series de tiempo (Mendoza et al., 2006). Las ventajas de la prueba Mann-Kendall generalmente están asociadas con su concepto simple y con el hecho de que, siendo un procedimiento no paramétrico que no asume una distribución conjunta específica de los datos, se ve mínimamente afectado por las desviaciones de la normalidad (Blaincontr, 2013).

En una serie temporal de observaciones x_1, x_2, \dots, x_n , Mann (1945) propone que para que la hipótesis nula (H_0) sea la verdadera, los datos que componen la serie temporal deben ser variables aleatorias, independientes e igualmente distribuidas. Para que la hipótesis alternativa (H_1) sea la verdadera los datos de la serie temporal deben seguir una tendencia monoatómica.

El análisis estadístico de la tendencia S se define como:

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

Donde:

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & (x_j - x_i) > 0 \\ 0, & (x_j - x_i) = 0 \\ -1, & (x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

Se ha documentado que cuando $n \geq 8$, el estadístico S tiene una distribución aproximadamente normal con la media.

$$E(S) = 0$$

La estadística de varianza se da como:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(i-1)(2i+5)}{18}$$

donde t_i se considera como el número de vínculos hasta la muestra i . La estadística de

prueba Zc se calcula como:

$$Z = \begin{cases} \frac{[S - 1]}{\sqrt{Var(S)}} \\ 0 = S \\ \frac{S + 1}{\sqrt{Var(S)}} \end{cases}$$

Un valor positivo de Z significa una tendencia ascendente y un valor negativo significa un valor descendente. También se utiliza un nivel de significancia α para probar una tendencia monótona ascendente o descendente (una prueba de dos colas). Si Z parece mayor que $Z\alpha/2$ donde α representa el nivel de significancia, entonces la tendencia se considera significativa.

En el presente trabajo las tendencias se identificarán a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Siendo así, cuando el valor absoluto de Z sea igual que 0 la hipótesis nula al nivel de 5% será aceptada, sin tendencia (TS). Si el resultado de Z es igual o mayor que 1,96 representa valor positivo, lo que indica existencia de tendencia significativa creciente (TSC); si el resultado de Z es menor que 1,96 demuestra tendencia no significativa creciente (TNSC); cuando el resultado de Z es igual o menor que -1,96 indica valor negativo y tendencia significativa decreciente (TSD), y cuando Z presenta resultado mayor que -1,96 indica tendencia no significativa decreciente (Tabla 6) (Alves et al., 2015).

La prueba de tendencia de Mann-Kendall se realizó en el programa R Studio.

Tabla 6. Descripción de la significancia de la prueba Mann-Kendall. (Modificado de Alves et al., 2015).

Significancia	Simbología	Z
Sin tendencia	ST	0
Tendencia significativa creciente	TSC	> + 1.96
Tendencia significativa decreciente	TSD	< - 1.96
Tendencia no significativa creciente	TNSC	< + 1.96
Tendencia no significativa decreciente	TNSD	> - 1.96

4.5.3 Análisis de correlación

Con los datos de precipitación y temperatura mensual del año antecedente se realizó una prueba de correlación múltiple con la superficie calculada del lago con el objetivo de encontrar variables independientes asociadas a la distribución de la superficie del lago.

El coeficiente de correlación se denota por R^2 y se define con la ecuación:

$$R_{123} = \sqrt{\frac{r_{12}^2 + r_{13}^2 - 2r_{12}r_{13}r_{23}}{1 - r_{23}^2}}$$

Donde r_{12} es el coeficiente de correlación total entre la variable X_1 y X_2 ,

r_{23} es el coeficiente de correlación total entre la variable X_2 y X_3 ,

r_{13} es el coeficiente de correlación total entre la variable X_1 y X_3 ,

$X_{1,2,3}$ son las variables con observaciones.

CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Estimación de datos faltantes (precipitación y temperatura media)

La falta de datos es una complicación común en muchas investigaciones científicas. Por lo que determinar el enfoque analítico apropiado en presencia de observaciones incompletas es importante para cualquier investigación que requiera análisis de datos (Horton, 2001). Es importante ser precavido con el método que se elija cuando se encuentran altos porcentajes de datos faltantes ya que esto podría ocasionar demora en los procesos iterativos, y por lo tanto tener problemas de convergencia y poca precisión en las estimaciones. En este trabajo se utilizó el método MissForest para calcular los datos faltantes ya que se ha demostrado que obtiene mejores resultados en comparación con otros métodos (Penone et al., 2014; Cihan, 2018; Zhang et al., 2021).

5.1.1 Precipitación

De las 7 estaciones con las que se trabajaron, la estaciones El Colegio y Huandacareo fueron las que presentaron mayor número de datos faltantes para el periodo de 1962 a 2014, esto debido a que estas dos estaciones comenzaron su registro a partir de 1980 por lo cual se tuvieron que calcular los valores anteriores a este año. En el caso de la estación Morelia presenta la menor cantidad de datos faltantes debido a que comenzó su registro a partir de 1947, por lo que no se estimaron datos de años completos. La estación de Cuitzeo a pesar de que tiene un registro más largo de datos tiene muchos datos faltantes para el periodo en el que se realizó el cálculo (Figura 14). En estudios anteriores realizados en la cuenca de Cuitzeo se han encontrado con problemas de datos faltantes. Cuando el registro de datos mensuales fue de tres o cuatro meses continuos, se decidió eliminar los años con datos faltantes de precipitación; en caso contrario se realizaron procedimientos de interpolación de datos (Mendoza, et al., 2006; Mendoza et al, 2010; Carlón y Mendoza, 2007).

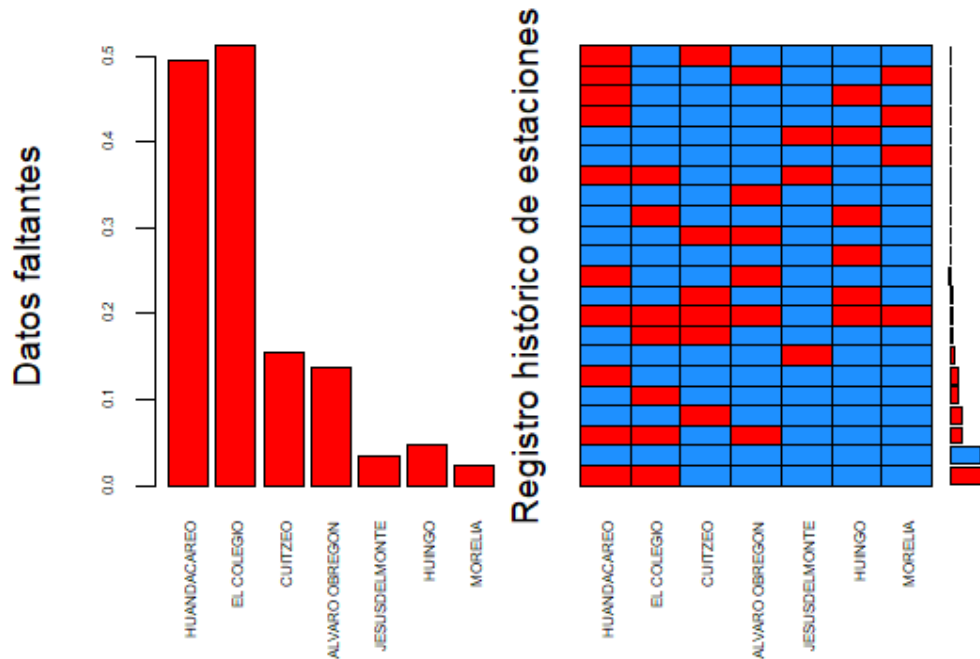


Figura 14. Gráfica de agregación de los datos faltantes de la precipitación de cada estación. Izquierda: Gráfico de barras de la proporción de valores faltantes en cada estación. Derecha: Todas las combinaciones existentes (patrones) de valores faltantes (rojo) y valores observados (azul). Las frecuencias relativas de las combinaciones se visualizan mediante pequeñas barras horizontales en el lado derecho.

Una vez que se estimaron los datos faltantes y se completaron las series de tiempo, se calculó nuevamente la correlación entre las estaciones en estudio. Comparando la primera matriz de correlación (Figura 15) elaborada con las estaciones inconsistentes con la segunda (Figura 16), se observa que la correlación aumentó entre algunas de las estaciones después de ser completadas, lo cual indica que los valores estimados son confiables. En la figura 14, se puede visualizar que la distribución de los datos indica una correlación positiva y se puede confirmar con los asteriscos en rojo que indican que existe una correlación significativa. Por otro lado, en los histogramas se puede apreciar una distribución asimétrica a la derecha.

La correlación entre las estaciones Álvaro Obregón y El Colegio, Huingo y El Colegio, Morelia y El Colegio, hay mejor relación positiva con un coeficiente de correlación de 0.9 y en la segunda matriz de correlación (Figura 16) se puede observar cómo aumentó el coeficiente después de rellenar los datos faltantes entre las estaciones, siendo El Colegio y

Huingo las estaciones con mayor relación positiva con un coeficiente de correlación de 0.94. También se puede observar un valor más bajo de 0.73 perteneciente a la correlación entre la estación Huandacareo y la estación Jesús del Monte, el cual aumentó posterior al cálculo de datos. A pesar de que es un valor bajo, la correlación sigue siendo significativa; este valor bajo se puede atribuir a que ambas estaciones se encuentran en extremos opuestos del área de estudio y la estación de Huandacareo presentó una importante cantidad de valores faltantes. Jesús del Monte presenta condiciones de mayor humedad que la estación Huandacareo (García 2004).

Matriz de correlación entre estaciones

HUAN	1	0.81	0.81	0.76	0.73	0.79	0.74
ELCO	0.81	1	0.86	0.91	0.86	0.91	0.91
CUIT	0.81	0.86	1	0.87	0.83	0.88	0.88
ALVO	0.76	0.91	0.87	1	0.82	0.88	0.89
JESU	0.73	0.86	0.83	0.82	1	0.85	0.89
HUIN	0.79	0.91	0.88	0.88	0.85	1	0.89
MORE	0.74	0.91	0.88	0.89	0.89	0.89	1
	HUAN	ELCO	CUIT	ALVO	JESU	HUIN	MORE

Figura 15. Matriz de correlación entre estaciones de los datos de precipitación sin completar. Estaciones: HUAN (Huandacareo), ELCO (El Colegio), CUIT (Cuitzeo), ALVO (Álvaro Obregón), JESU (Jesús del Monte), HUIN (Huingo), y MORE (Morelia).

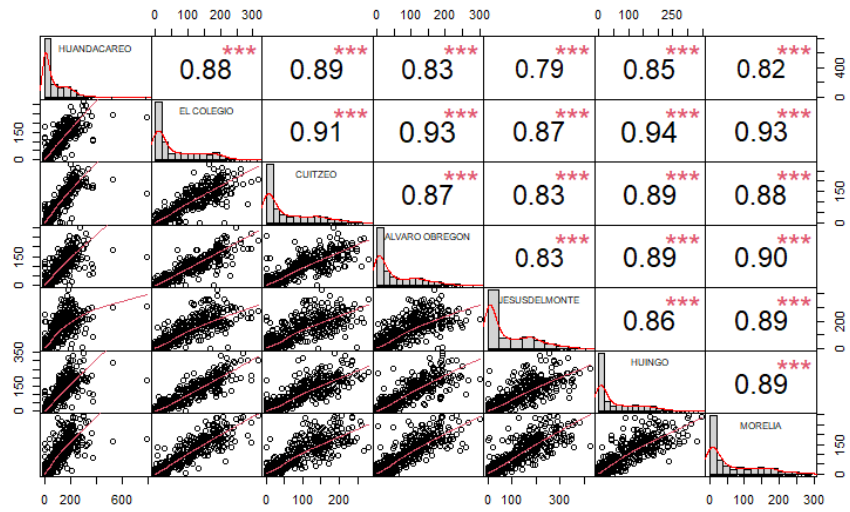


Figura 16. Gráfico de correlación de los datos completados donde se observan los diagramas de dispersión de los datos de precipitación de ambas estaciones con la recta de ajuste en color rojo, en el medio se muestran los histogramas de cada variable con la línea de distribución, y por último se muestran las correlaciones entre variables en donde los asteriscos rojos indican si es una correlación significativa.

5.1.2 Temperatura media

En los datos de temperatura media de igual forma se observó que las estaciones de Huandacareo y El Colegio fueron las que presentaron el mayor porcentaje de datos faltantes y la estación de Morelia fue la que presentó el menor número de datos faltantes (Figura 17). De igual forma como en los datos de precipitación, las estaciones que presentaron mayor cantidad de datos faltantes son la estación de Huandacareo y El Colegio. Mientras que la estación de Morelia tiene la menor cantidad de valores faltantes.

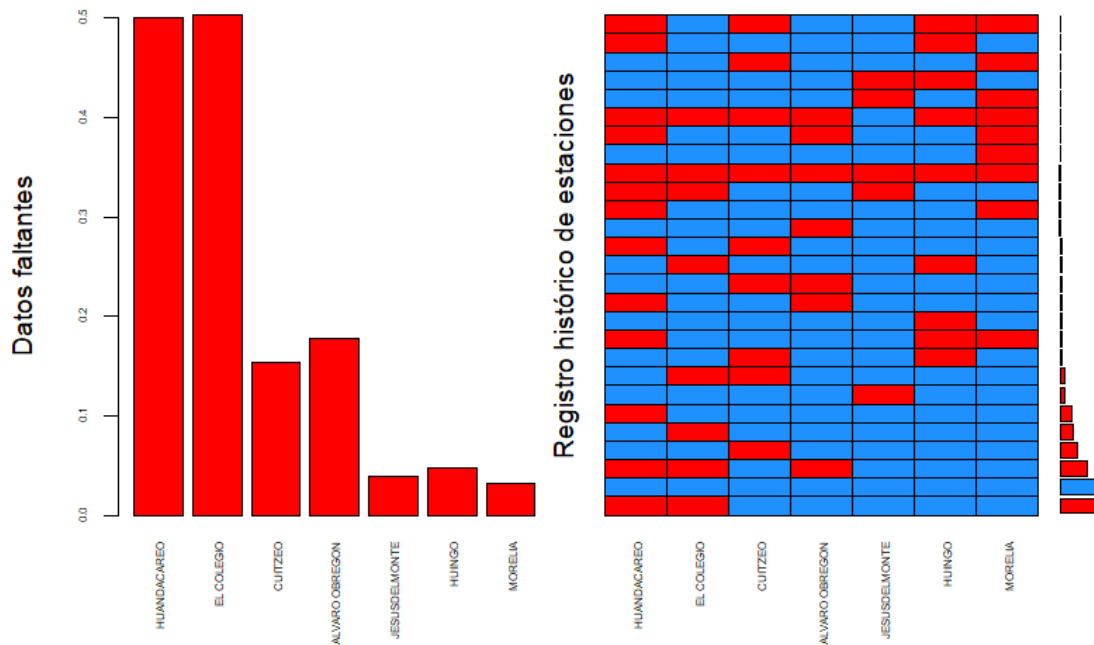


Figura 17. Gráfica de agregación de los datos faltantes de la temperatura media de cada estación. Izquierda: Gráfico de barras de la proporción de valores faltantes en cada estación. Derecha: Todas las combinaciones existentes (patrones) de valores faltantes (rojo) y valores observados (azul). Las frecuencias relativas de las combinaciones se visualizan mediante pequeñas barras horizontales en el lado derecho.

En la Figura 18 se puede observar la matriz de correlación entre las estaciones antes de calcular los valores faltantes, y en general todas presentan correlaciones con valores por arriba de 0.7 a excepción de la estación de Jesús del Monte que tiene valores de correlación de 0.5; sin embargo, sigue siendo una correlación significativa. Este valor se debe a la localización de la estación ya que esta se encuentra en el sur con un clima más húmedo, en comparación con el clima seco de las estaciones del norte. En la Figura 19 se

puede observar la matriz de correlación posterior al cálculo de los valores faltantes en donde se puede observar un pequeño aumento de correlación en algunas de las estaciones después del cálculo, la correlación entre todas las estaciones es significativa (indicada con los asteriscos rojos) y también se puede observar la correlación positiva en los diagramas de dispersión del lado izquierdo superior.

Matriz de correlación entre estaciones

HUAN	1	0.75	0.74	0.76	0.57	0.85	0.79
ELCO	0.75	1	0.79	0.81	0.56	0.92	0.84
CUIT	0.74	0.79	1	0.72	0.53	0.83	0.82
ALVO	0.76	0.81	0.72	1	0.5	0.88	0.8
JESU	0.57	0.56	0.53	0.5	1	0.54	0.57
HUIN	0.85	0.92	0.83	0.88	0.54	1	0.88
MORE	0.79	0.84	0.82	0.8	0.57	0.88	1
	HUAN	ELCO	CUIT	ALVO	JESU	HUIN	MORE

Figura 18. Matriz de correlación entre estaciones de los datos de temperatura sin completar. Estaciones: HUAN (Huandacareo), ELCO (El Colegio), CUIT (Cuitzeo), ALVO (Álvaro Obregón), JESU (Jesús del Monte), HUIN (Huingo), y MORE (Morelia).

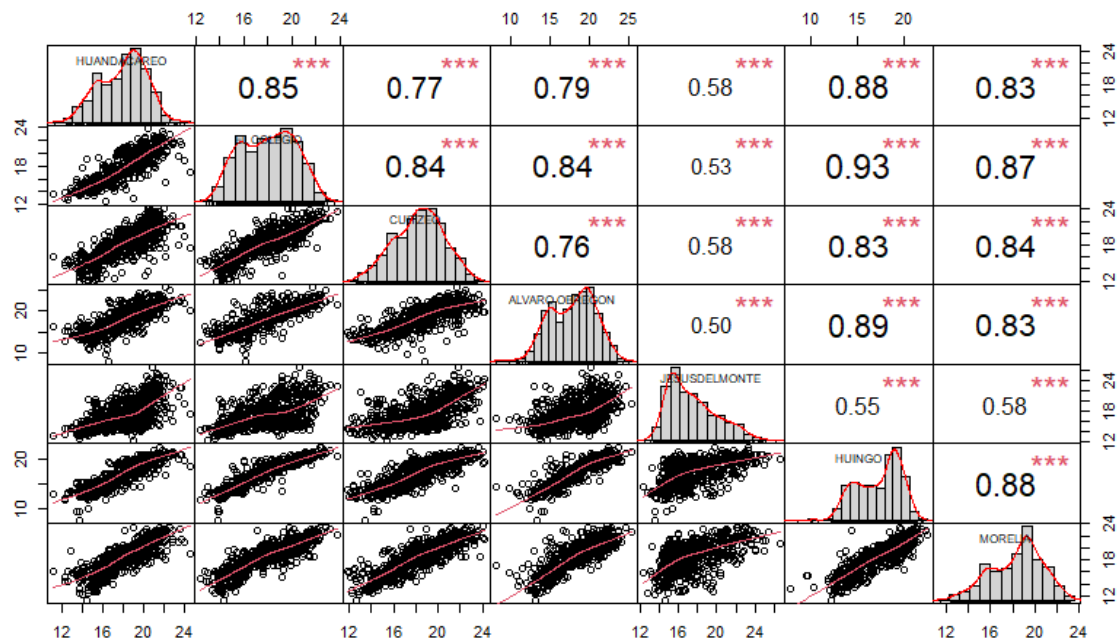


Figura 19. Gráfico de correlación de los datos completados donde se observan los diagramas de dispersión de los datos de temperatura de ambas estaciones con la recta de ajuste en color rojo, en el medio se observan los histogramas de cada variable con la línea de distribución, y por último se muestran las correlaciones entre variables en donde los asteriscos rojos indican si es una correlación significativa.

5.3 Análisis de series de tiempo

5.3.1 Series de tiempo de precipitación

Los resultados del análisis de las series de tiempo de precipitación indican que todas las estaciones presentan un registro similar y un comportamiento cíclico. En la serie de precipitación de la estación Huandacareo (Figura 21) en general se observa una ciclicidad; sin embargo, del año 1985 a 1994 se observan valores por debajo de la media, estos valores vuelven a incrementar en 1995 y se mantienen valores altos hasta 2006 en donde se comienza a ver una disminución en los siguientes años. En la estación El Colegio (Figura 22) los valores también muestran ciclicidad, y el único valor muy bajo se observa en el año 1982. La estación de Cuitzeo (Figura 23) muestra un poco más de variabilidad en donde se observan valores más bajos de lo normal en 1982 y 2005. La serie de la estación Álvaro Obregón (Figura 24) muestra valores altos de precipitación en los primeros años que posteriormente fueron disminuyendo hasta el 2019. En la serie de la estación Jesús del Monte (Figura 25) a pesar de que se encuentra a mayor altitud, también se puede observar la ciclicidad, sin embargo, muestra valores más altos sobre todo del año 1990 a 1992. La estación Huingo (Figura 26) muestra los valores más bajos de precipitación en los años 1979 y 1982; y los valores más altos en 1967, 1998, 2003 y 2004. En la estación Morelia (Figura 27) se puede observar la ciclicidad, sin embargo, a partir de 1979 hay una disminución general de la precipitación, aunque hay algunos valores altos en 1998, 2003, 2010 y 2018; sin embargo, para 2019 la precipitación disminuyó considerablemente.

En general los valores anuales entre cada estación son variables, lo cual es atribuible a la posición y altitud de cada estación meteorológica. Sin embargo, en todas las estaciones se observa la tendencia a disminuir la precipitación anual; inclusive en la estación con los registros de mayor precipitación (San Miguel del Monte).

En cuanto al análisis de frecuencia de la precipitación, se puede observar que el número de eventos de precipitación por abajo de la media han aumentado en la última década, lo cual indica que los periodos secos cada vez son más frecuentes (Figura 20). En contraste con lo observado por Mendoza et al. (2006 y 2007), se observa que en general la precipitación ha ido disminuyendo de forma gradual posterior al año 2000 y confirma los

periodos secos ocurridos en 1980 a 1990 y de 1995 a 2000.

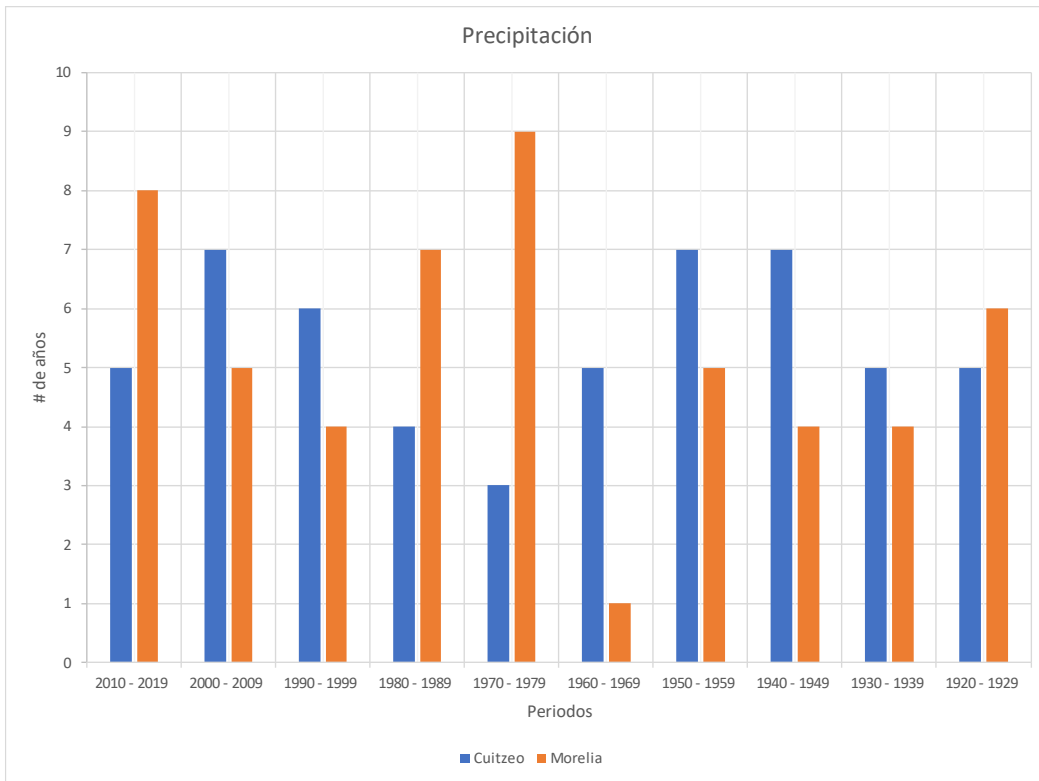


Figura 20. Número de años con precipitación media anual menor a la precipitación media global por estación.

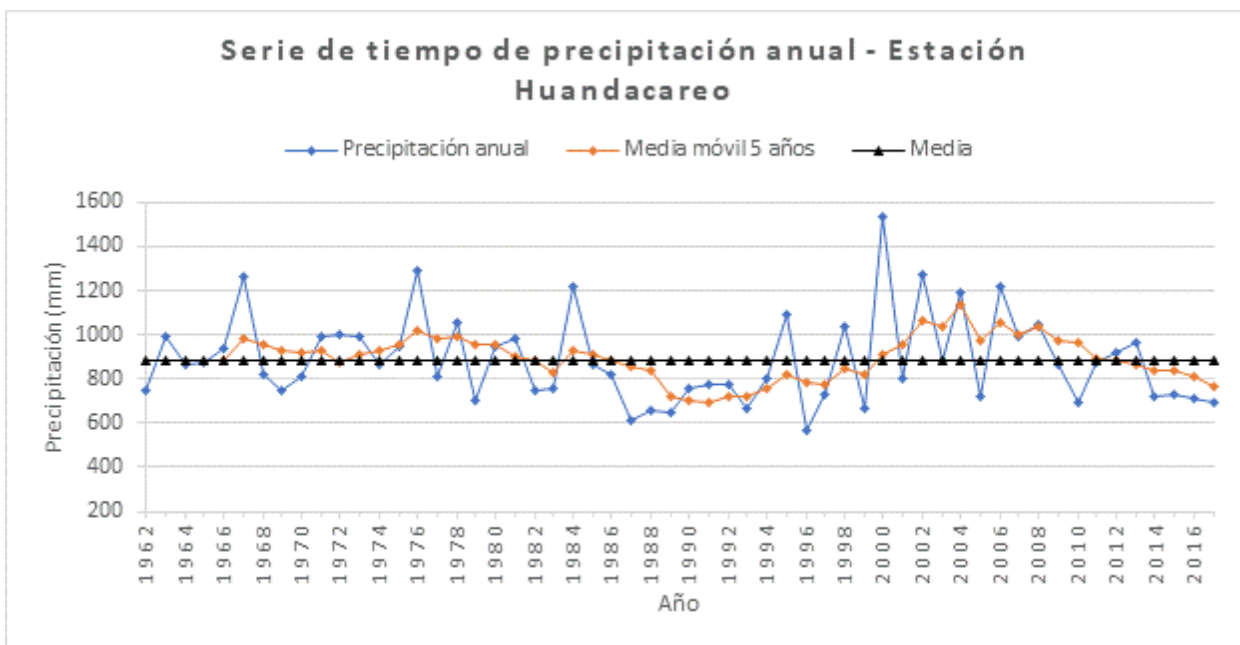


Figura 21. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación Huandacareo.

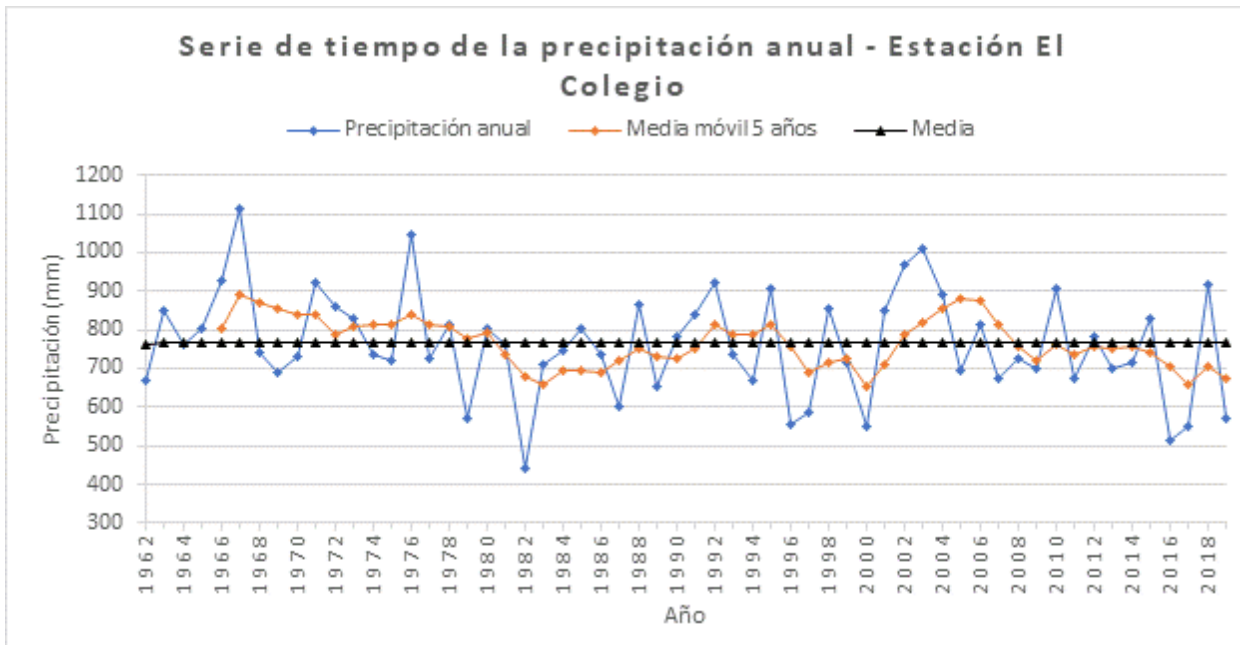


Figura 22. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación El Colegio.

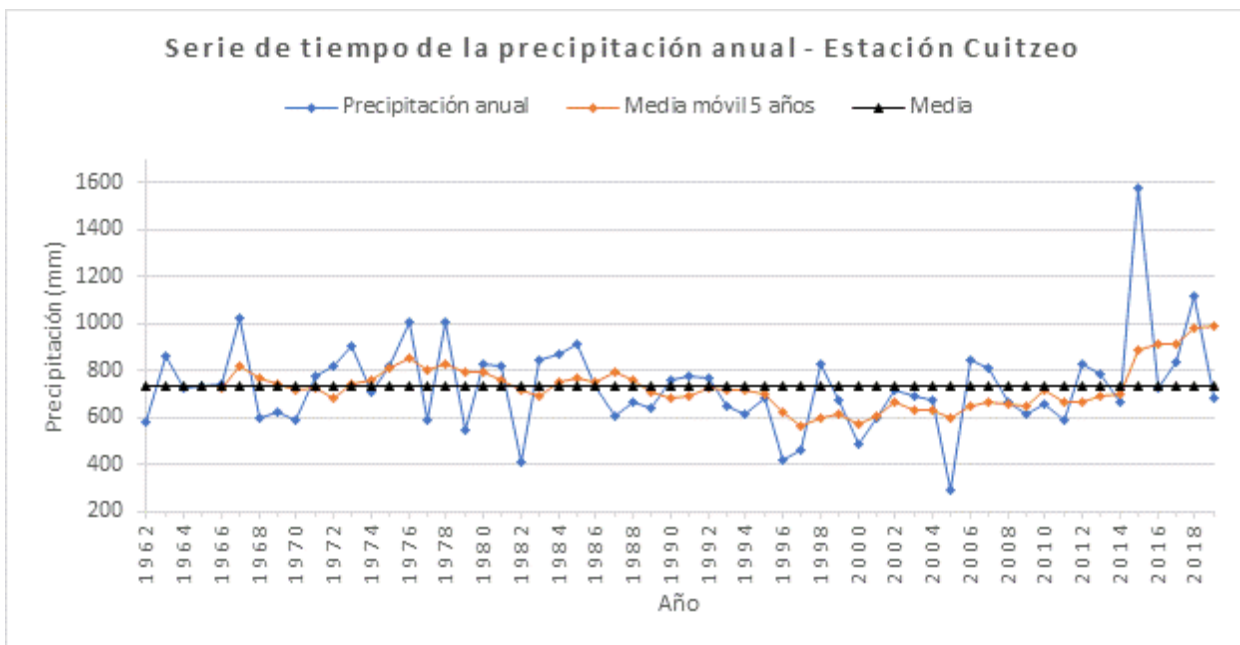


Figura 23. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación Cuitzeo.

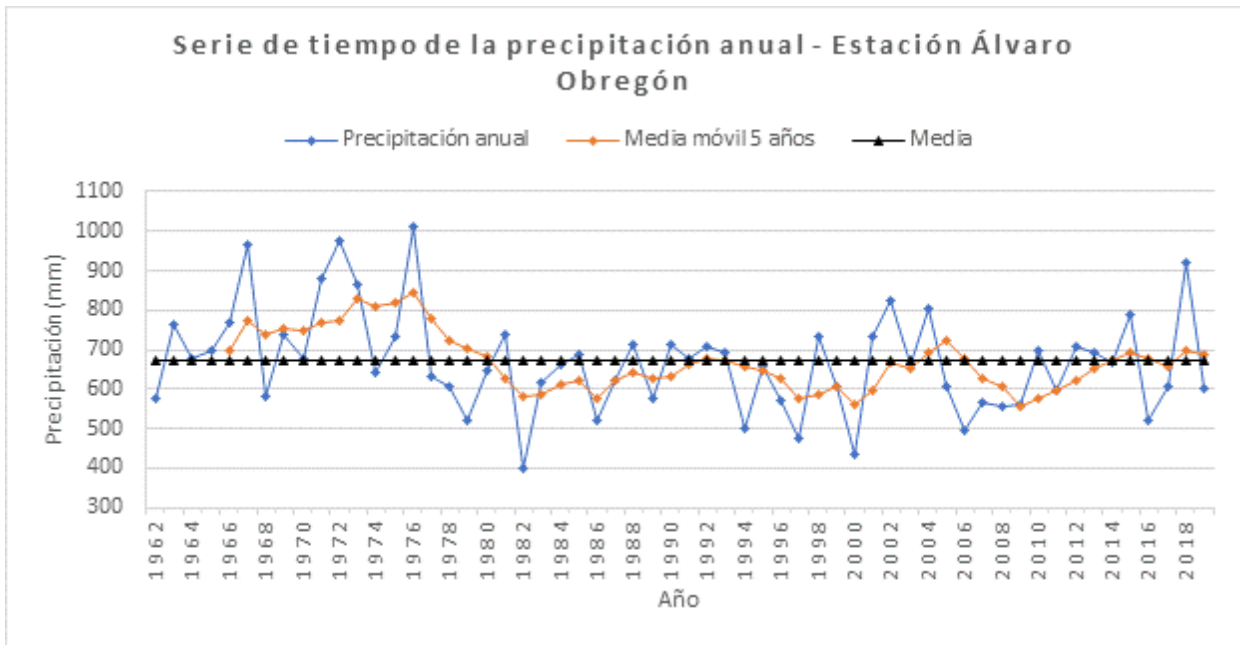


Figura 24. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación Álvaro Obregón.

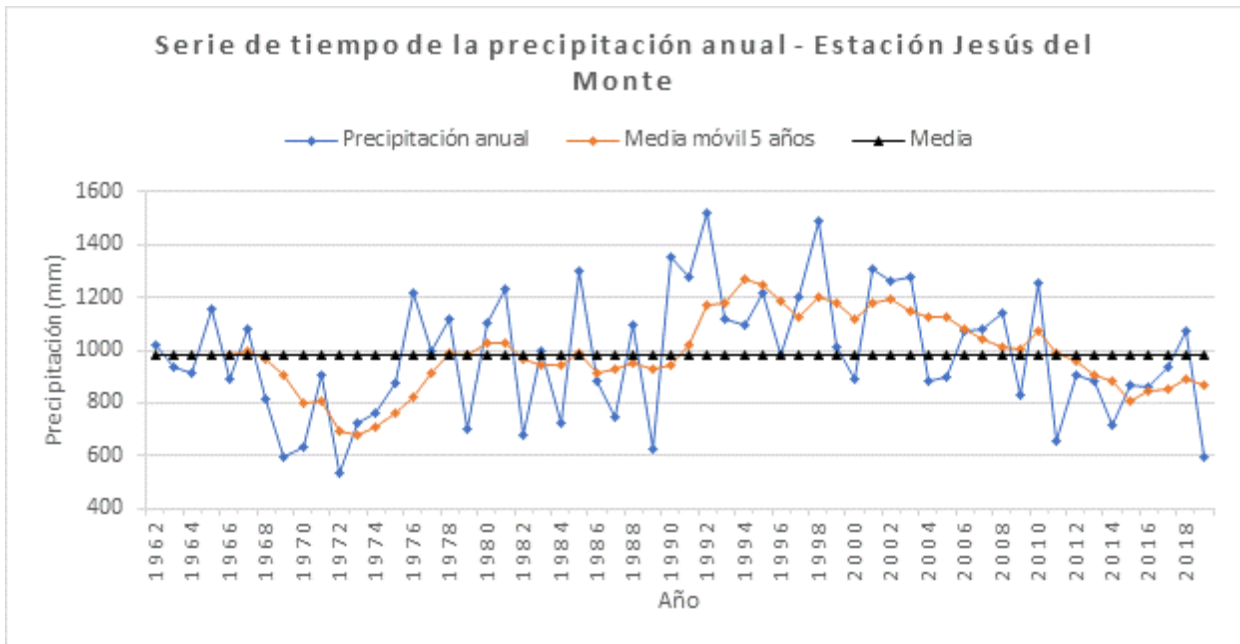


Figura 25. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación Jesús del Monte.

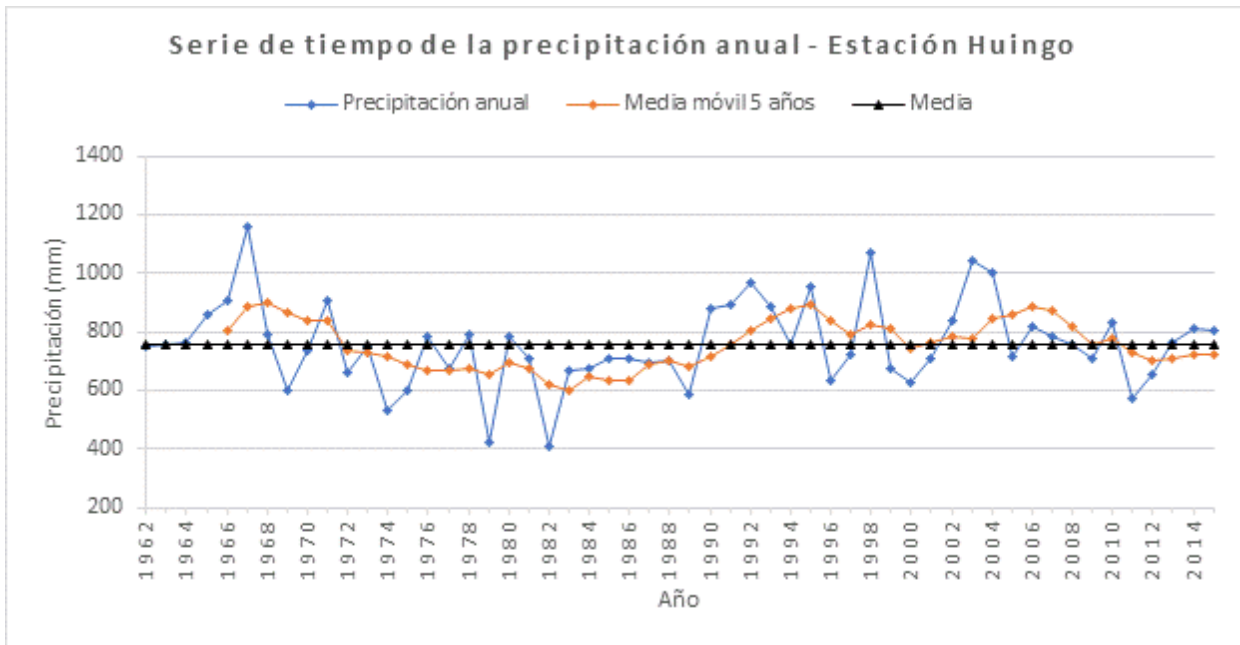


Figura 26. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación Huingo.

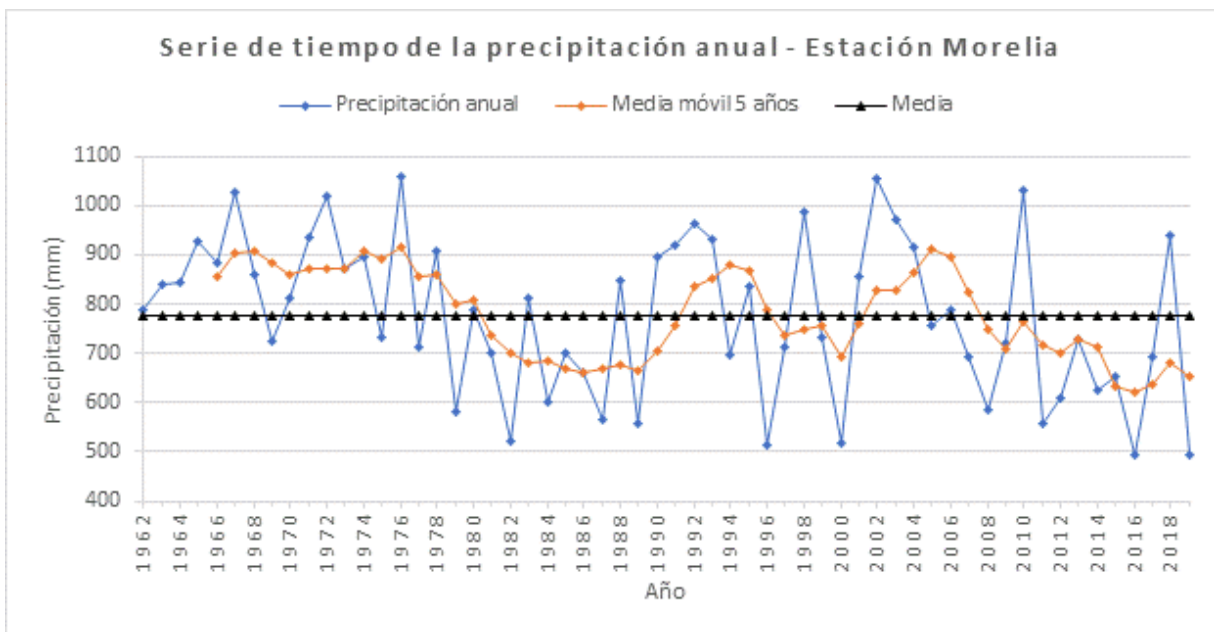


Figura 27. Serie de tiempo de la precipitación anual en la estación Morelia.

5.3.2 Series de tiempo de temperatura

Al igual que en las gráficas de precipitación, la temperatura muestra ciclicidad. En la serie de la estación Huandacareo (Figura 29), la temperatura se mantuvo generalmente por arriba de la media a partir de 1976 en el año 1999 donde se observa la disminución de la temperatura hasta el año 2012, y en 2013 y 2014 hay un incremento de la temperatura muy notable. En la estación El Colegio (Figura 30) se ve una disminución relevante en el año 2004 pero en general los valores se mantienen constantes sin cambios abruptos. En la estación de Cuitzeo (Figura 31) de 1962 a 1971 la temperatura se encuentra por debajo de la media; sin embargo, también tiende a aumentar y volver a disminuir en los próximos años; en 1983, 1997 y 2013 se observan temperaturas muy bajas y las temperaturas más altas se observan en el año 1977; a pesar de la disminución de la temperatura en el 2013, al final de la serie se observa una tendencia de aumento de la temperatura. En la estación de Álvaro Obregón (Figura 32) es visible una tendencia en el aumento de la temperatura, antes de 1987, cuando la temperatura anual estaba por debajo de la media y gradualmente fue aumentando. Se identificaron las temperaturas más altas de 2004 a 2006, y el valor más bajo en el año 1976. La estación de Jesús del Monte (Figura 33) registró las temperaturas más altas en 1969 y 2011, y la temperatura más baja en 1984, en esta serie también se puede observar claramente el aumento y disminución de temperaturas. La estación de Huingo (Figura 34) registró temperaturas muy bajas en 1962 y 1963, pero posterior a estos años no hubo ningún cambio significativo en la temperatura. La estación de Morelia registró temperaturas bajas de 1962 hasta 1970 aunque después los valores se mantienen constantes; en general la serie muestra ciclicidad y las temperaturas más altas se observan en los años de 1995 y 1997 (Figura 35). Al igual que en las series de precipitación, el registro de la temperatura es variable entre cada estación; sin embargo, se pueden identificar años en los que tuvieron registros similares como es el caso de las estaciones Cuitzeo y Morelia. En general todas las estaciones registraron los últimos años temperaturas por arriba de la media y se observa una tendencia al aumento de la temperatura. Aunque hay algunas excepciones como la estación Huandacareo donde se observa la disminución de la temperatura en el año 2000

hasta el año 2005, donde comenzó a aumentar nuevamente; la estación El Colegio registró temperaturas por debajo de la media de 2005 a 2009. También la estación de Jesús del Monte tiene mucha variabilidad en las temperaturas y también registró temperaturas por debajo de la media de 1998 a 2004. En comparación con otros estudios realizados recientemente (Carlón y Mendoza, 2007) podemos confirmar que la diferencia en los registros de temperaturas entre estaciones se debe a la distribución espacial de éstas.

En el análisis de frecuencia de temperatura, se observa que los eventos de temperatura por arriba de la media han aumentado en las últimas décadas muy visible a partir del año 1970. En la última década (2010 – 2019) se registraron más periodos secos sobre todo en la estación de Morelia, sin embargo, también son constantes las temperaturas por arriba de la media global en la estación de Cuitzeo (Figura 28).

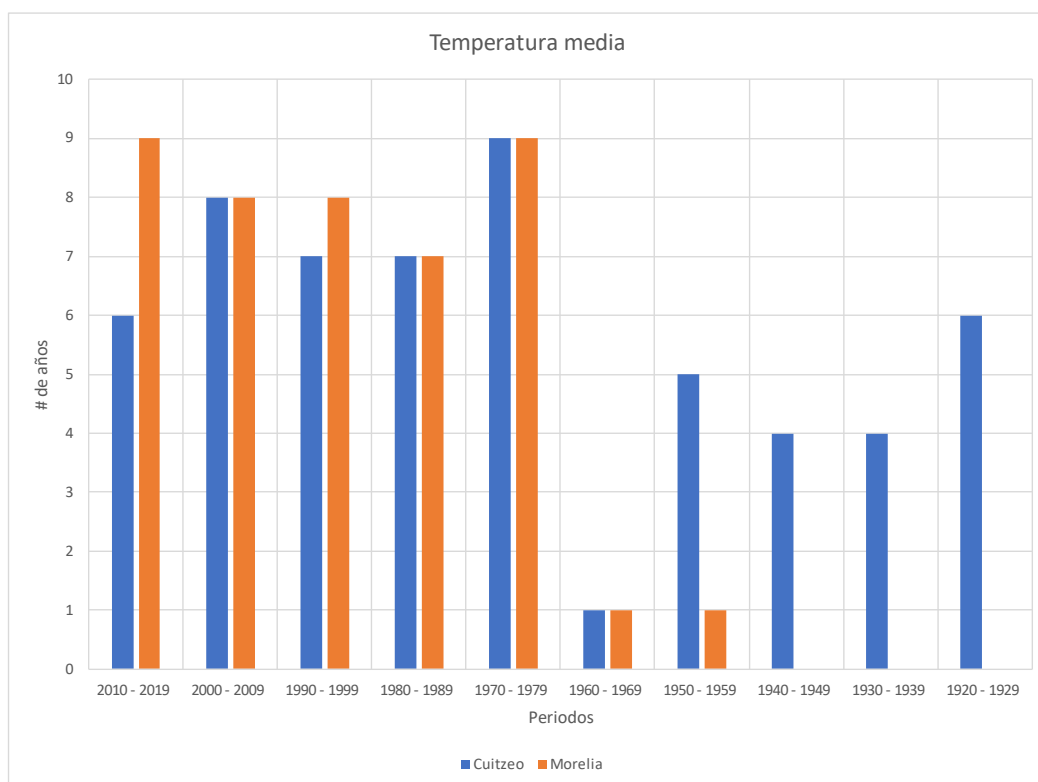


Figura 28. Número de años con temperatura media anual mayor a la temperatura media global por estación.

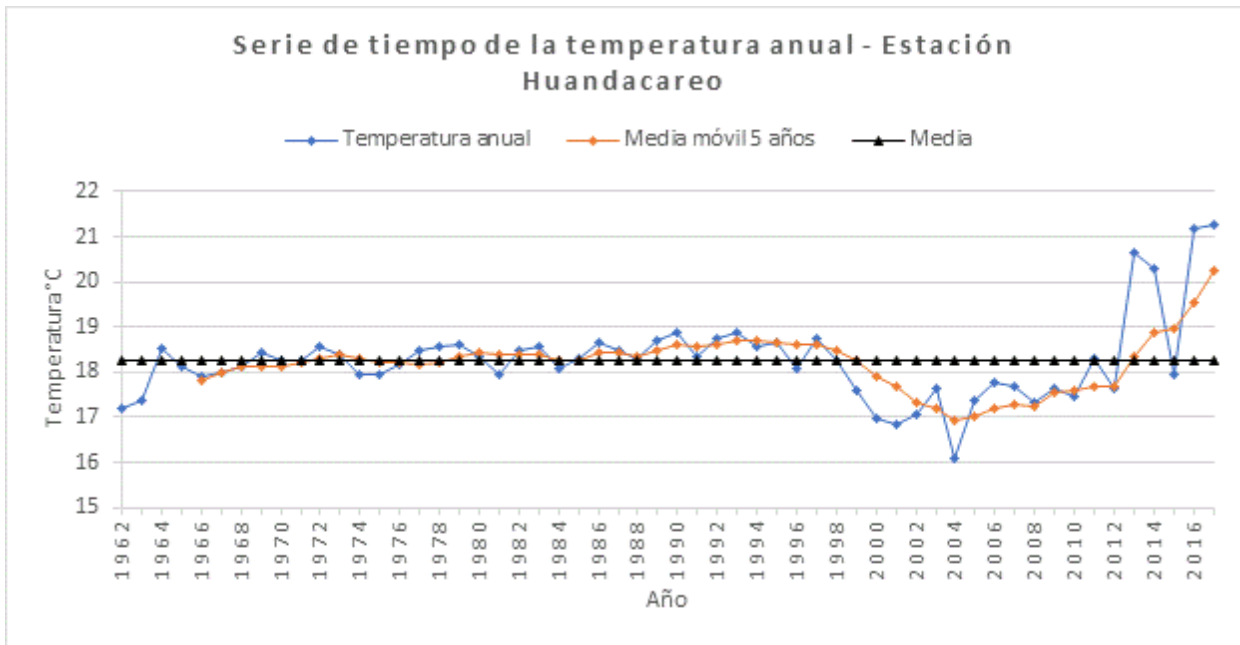


Figura 29. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación Huandacareo.

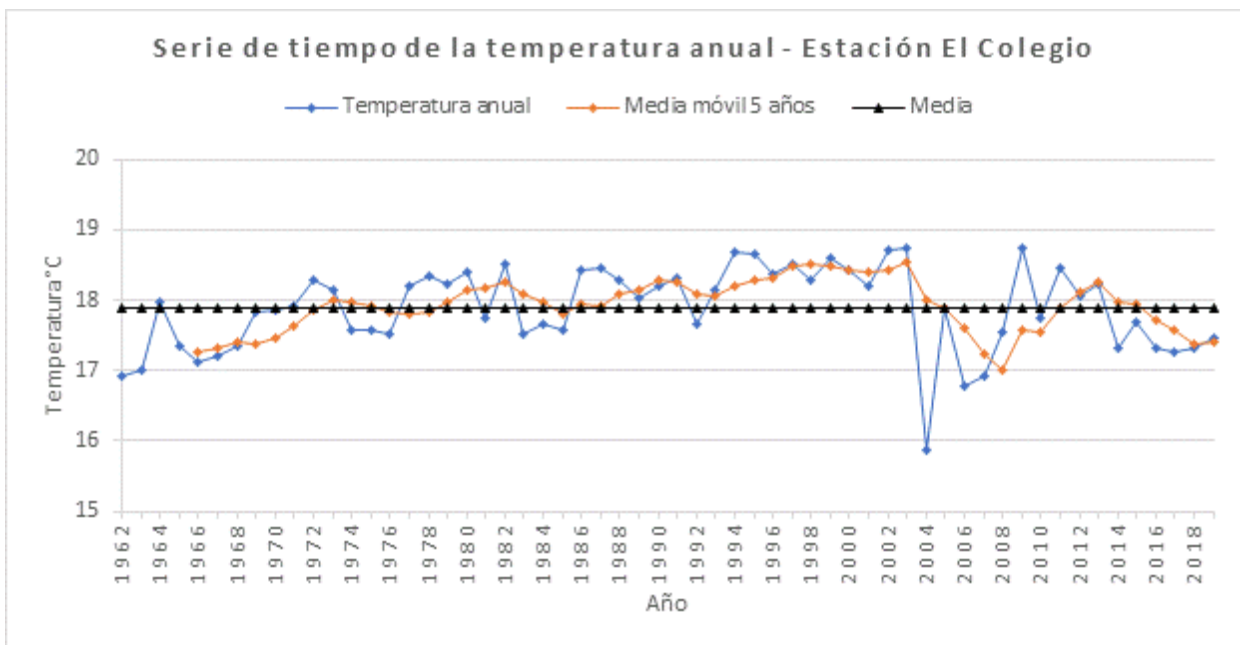


Figura 30. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación El Colegio.

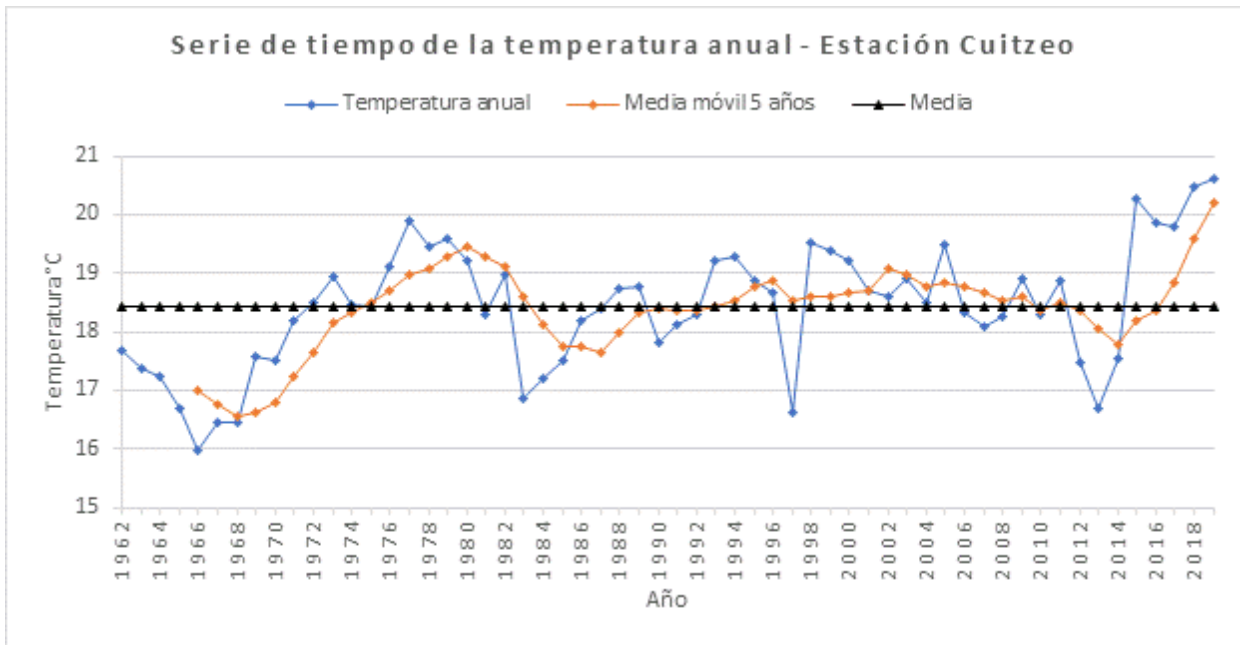


Figura 31. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación Cuitzeo.

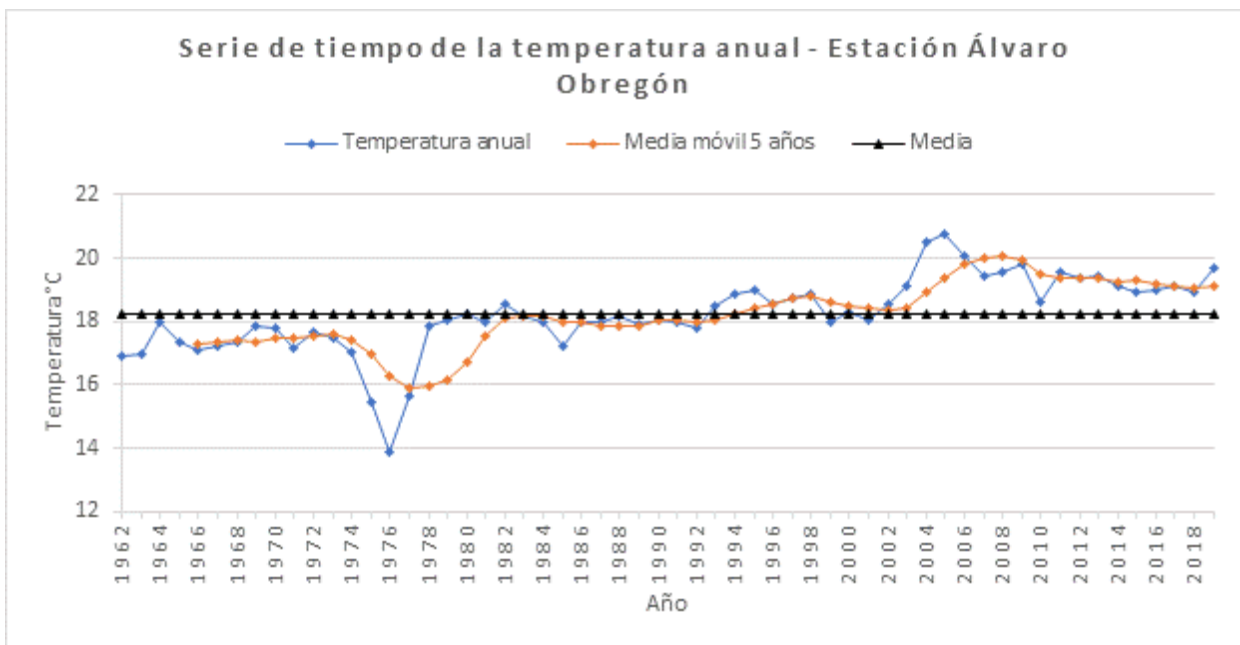


Figura 32. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación Álvaro Obregón.

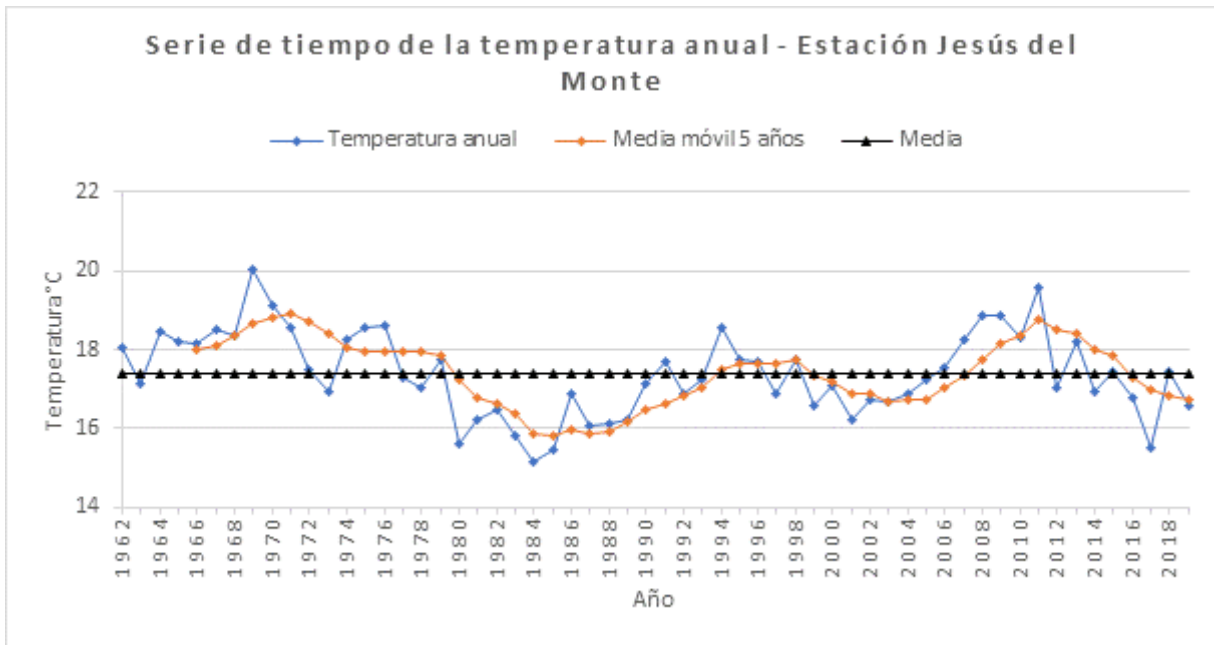


Figura 33. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación Jesús del Monte.

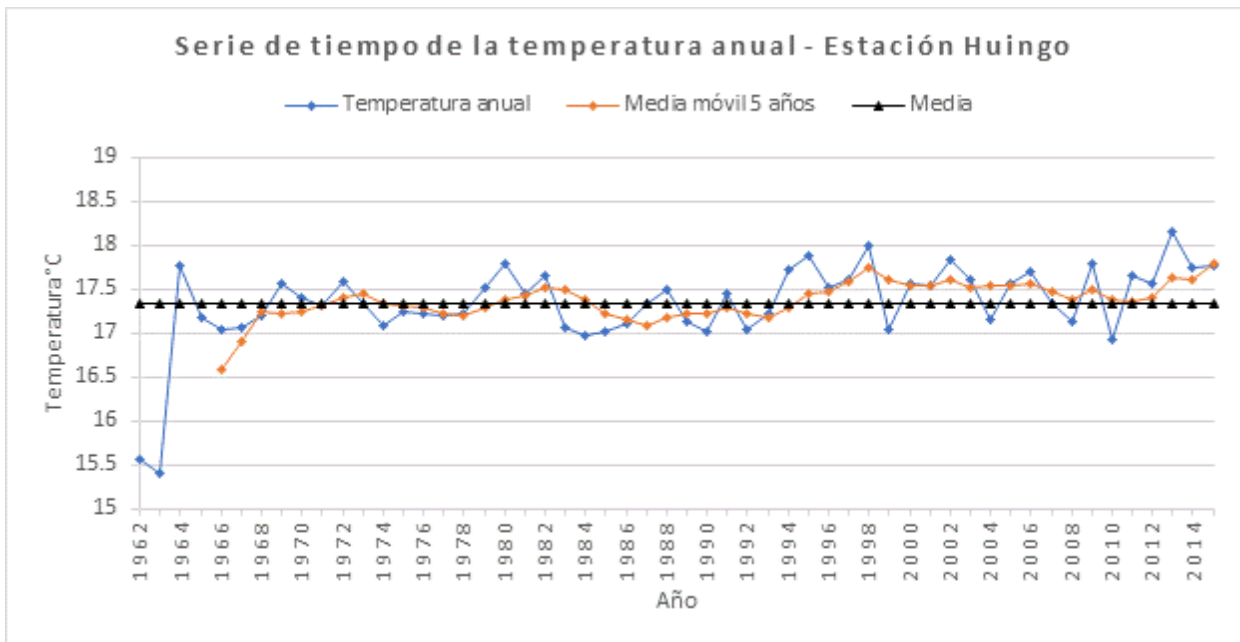


Figura 34. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación Huingo.

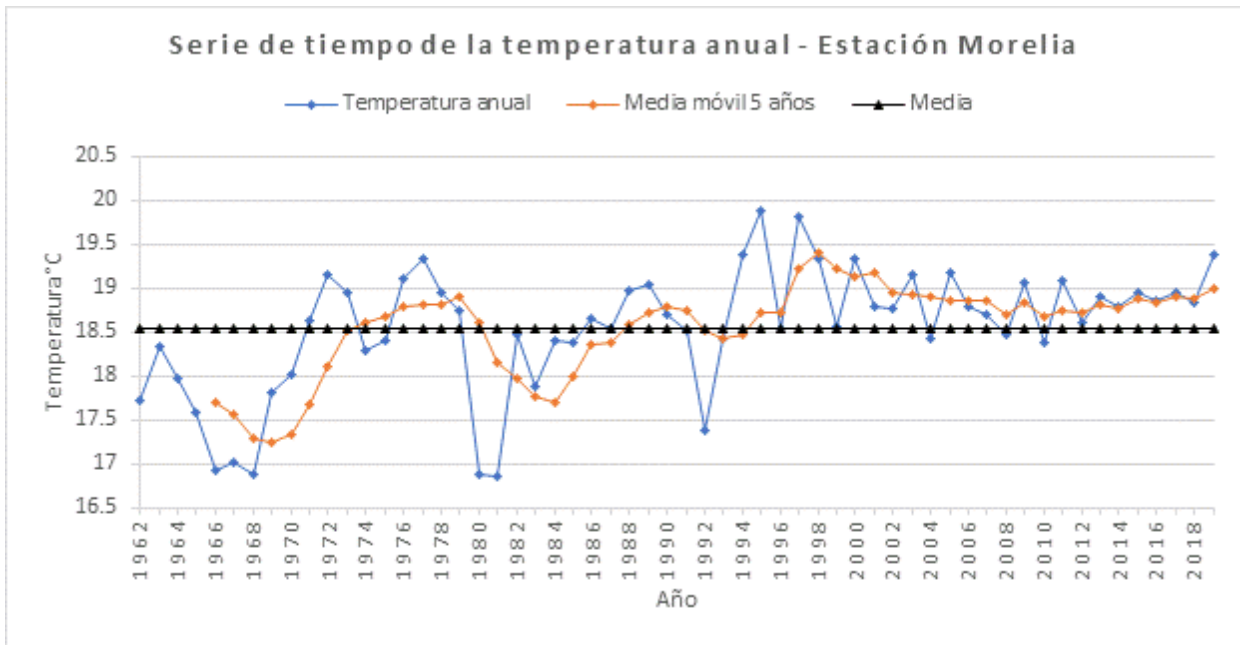


Figura 35. Serie de tiempo de la temperatura anual en la estación Morelia

5.3 Análisis de tendencia

En la Tabla 7 y 8 se describen los resultados de tendencia de cambio de precipitación y temperatura. El análisis de tendencia en los datos de precipitación indica que sólo la estación de Huandacareo presenta una tendencia significativa decreciente (TSD). También se observa una tendencia casi significativa decreciente en la estación de Cuitzeo con un valor de -1.88. El resto de las estaciones analizadas no presentan tendencias significativas, lo cual coincide con el análisis de las series de tiempo que muestran una ciclicidad. En el caso de los datos de temperatura promedio, el análisis indica una tendencia significativa creciente (TSC) en las estaciones de Cuitzeo, Álvaro Obregón y Morelia; mientras que las demás no presentan tendencia significativa, sin embargo, en Huingo hay una tendencia casi significativa creciente. Con esta información podemos verificar que en general las estaciones están registrando disminución en las precipitaciones y un aumento de las temperaturas, aunque sólo sean significativas en algunas estaciones. Comparando estos nuevos resultados con los obtenidos en investigaciones previas (Mendoza et al., 2006), se puede observar que las tendencias de temperatura incrementaron mayormente en las estaciones localizadas en el norte, y en cuanto a precipitaciones la tendencia indica que hay disminución en los valores.

Tabla 7. Resultados de la prueba Mann-Kendall para datos de precipitación.

C	valor α	valor Z	Pendiente de Sen	Tendencia
Huandacareo	0.0317	-2.1471	-0.0070	TSD
El Colegio	0.1789	-1.3442	-0.0050	TNSD
Cuitzeo	0.5935	-1.8856	-0.0057	TNSD
Álvaro Obregón	0.2514	-1.1470	-0.0004	TNSD
Jesús del Monte	0.3564	0.9223	0	TNSC
Huingo	0.9400	0.0752	0	TNSC
Morelia	0.5126	-0.6547	-0.0005	TNSD

Tabla 8. Resultados de la prueba Mann-Kendall para datos de temperatura.

C	valor α	valor Z	Pendiente de Sen	Tendencia
Huandacareo	0.5997	-0.5248	-0.0002	TNSD
El Colegio	0.1679	1.3790	0.0007	TNSC
Cuitzeo	0.0024	3.0346	0.0017	TSC
Álvaro Obregón	2.804 e-12	6.9872	0.0042	TSC
Jesús del Monte	0.2839	-1.0716	-0.0005	TNSD
Huingo	0.0561	1.9096	0.0009	TNSC
Morelia	0.0043	2.8508	0.0014	TSC

5.2 Superficie del lago

En la última columna de la Tabla 9 se pueden observar los datos calculados de la extensión del espejo de agua en el lago de cada año desde 1997 a 2021.

Tabla 9. Resultados de la interpretación de imágenes satelitales.

<i>Satélite</i>	<i>Fecha</i>	<i>Año</i>	<i>Superficie km²</i>
<i>Landsat 4-5 TM</i>	feb-24	1997	197.3
<i>Landsat 4-5 TM</i>	mar-15	1998	89.3
<i>Landsat 7</i>	feb-14	1999	306.3
<i>Landsat 7</i>	feb-17	2000	275.9
<i>Landsat 7</i>	mar-07	2001	134.5
<i>Landsat 7</i>	mar-18	2002	143.7
<i>Landsat 7</i>	mar-05	2003	239.3
<i>Landsat 7</i>	ene-19	2004	303.7
<i>Landsat 7</i>	ene-05	2005	303.2
<i>Landsat 7</i>	feb-25	2006	299.1
<i>Landsat 7</i>	feb-28	2007	294.1
<i>Landsat 7</i>	feb-15	2008	288.1
<i>Landsat 7</i>	mar-05	2009	282.7
<i>Landsat 7</i>	ene-19	2010	235.1
<i>Landsat 7</i>	feb-22	2011	281.2
<i>Landsat 7</i>	ene-25	2012	252.8
<i>Landsat 7</i>	feb-28	2013	250.7
<i>Landsat 7</i>	ene-30	2014	274.2
<i>Landsat 7</i>	feb-18	2015	258.9
<i>Sentinel</i>	mar-16	2016	255.4
<i>Sentinel</i>	mar-21	2017	135.4
<i>Sentinel</i>	ene-15	2018	231.7
<i>Sentinel</i>	feb-04	2019	267.6
<i>Sentinel</i>	mar-25	2020	232.2
<i>Sentinel</i>	feb-28	2021	75.8

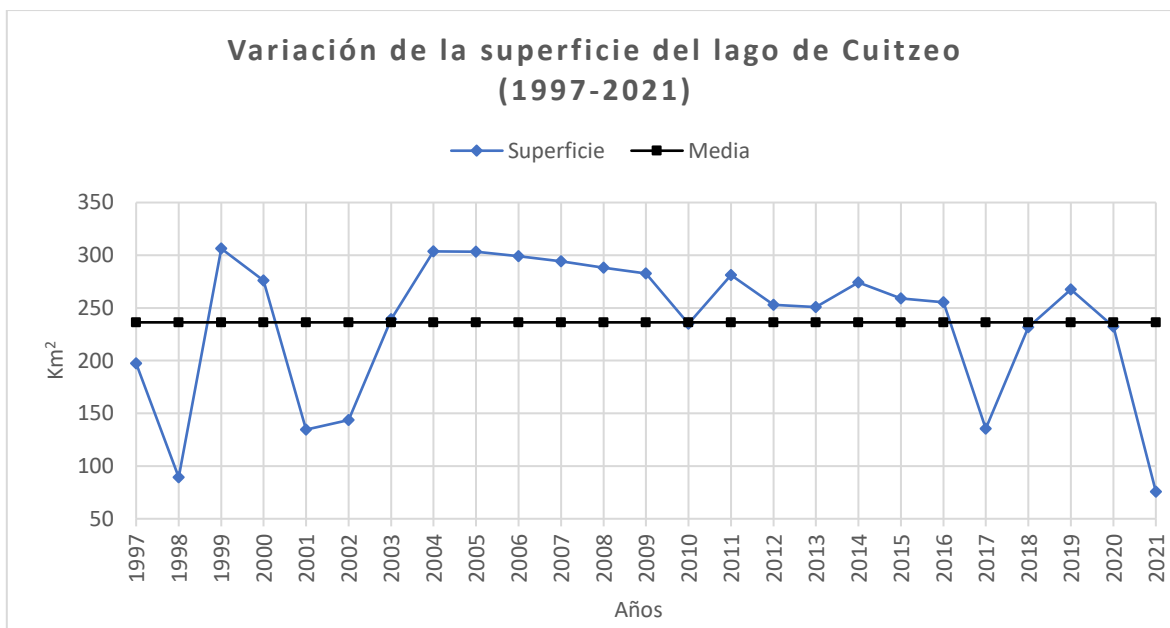


Figura 36. Valores de la superficie calculada del lago en km² desde 1997 a 2021.

En la Figura 36 se puede visualizar como ha sido el comportamiento la superficie del lago anualmente desde 1997 a 2021. En general se puede observar que los años con periodos donde disminuyó considerablemente la superficie fue en 1998, 2001, 2002, 2017 y 2021. Después del periodo seco de 1998, en 1999 y 2000 podemos observar que casi alcanzó el nivel máximo de superficie; sin embargo, en 2002 y 2001 vuelve a disminuir considerablemente con valores por debajo de 150 km². A partir del año 2004 se puede observar que se mantuvo la superficie por arriba de la media, pero con una pequeña tendencia a disminuir el valor de la superficie. Después de 2010 se observa que la superficie tiende a disminuir y no vuelve a alcanzar la superficie máxima del lago, por el contrario, podemos observar que si vuelve a tener disminuciones considerables en 2017 y 2021. Mendoza et al., 2006 registró la mayor superficie en el año 1994 con 350 km², mientras que en este estudio la mayor superficie se observa en el año 1999 cubriendo una superficie de 306.3 km²; también registró la menor superficie en el año 1986 donde el lago cubriría 250 km² mientras que en esta investigación la menor superficie es de 75.8 km² en el 2021, seguida del año 1998 donde se observa una superficie de 89.3 km². Lo que significa que pasaron 23 años desde 1998 para que ocurriera otra desecación de gran magnitud.

En la Figura 37 se muestra la temperatura anual contra la superficie del lago, en general se puede observar un comportamiento cíclico a través de los años. Cuando disminuye la temperatura anual, la superficie del lago aumenta para el siguiente año y cuando la temperatura anual aumenta, la superficie del lago disminuye para el siguiente año. Se puede observar la disminución considerable de la superficie del lago en el año 1998 provocada por las altas temperaturas de 1997, sin embargo, en el siguiente año hubo un aumento considerable en la superficie del lago que se mantuvo durante dos años consecutivos en donde la temperatura disminuyó en la mayoría de las estaciones a excepción de la estación El Colegio, donde al parecer se mantuvo el nivel de la temperatura. En el año 2003 la mayoría de las estaciones registraron temperaturas bajas, sin embargo; la estación Álvaro Obregón registró un aumento de temperatura que pudo ser ocasionado por algún evento excepcional. Debido a esta disminución de temperatura, en el 2004 la superficie del lago aumentó y se mantuvo por arriba de los 250 km² hasta 2009. En los siguientes años se observa disminución de la superficie, pero nada relevante hasta el año 2017 en donde la superficie disminuyó por debajo de los 150 km². Sin embargo, si se puede observar que en el año 2012 la estación de Huandacareo registró altas temperaturas y la estación Cuitzeo temperaturas por debajo del promedio. A partir del año 2014 se observa como aumenta la temperatura sobre todo en las estaciones de Cuitzeo, Álvaro Obregón y Morelia; las cuales provocaron una disminución de la superficie del lago en el 2017. En general, con los registros existentes podemos observar que la temperatura promedio anual va en aumento.

En la Figura 38 se muestra la superficie del lago contra las precipitaciones. Se observa que con el aumento de la precipitación del año 1997 y 1998, la superficie del lago aumento en 1999 y se mantuvo en el año 2000. Sin embargo, la precipitación en el año 1999 fue escasa lo que provocó una significativa disminución de la superficie del lago. Del año 2004 a 2009 la superficie no tuvo cambios abruptos y en la mayoría de las estaciones los registros de precipitación tampoco presentaron grandes cambios, con excepción de las estaciones Cuitzeo y Huandacareo en el año 2004 en donde se observa una disminución en las precipitaciones, y en la estación Jesús del Monte en el año 2008. Mendoza et al.

(2006) en el análisis visual que realizó en las series de precipitación observó la ocurrencia de ciclos con duración de aproximadamente 20 años, en donde registró el último periodo seco hasta el año 2000. En esta serie de tiempo se observa que el periodo seco continua hasta los años recientes y el lago no ha vuelto a recuperar su extensión desde el 2005.

En general se observa una ligera tendencia a disminuir los valores en las series de tiempo en la precipitación y una ligera tendencia a aumentar los valores en las series de tiempo de temperatura, lo cual podría indicar que la desecación del lago se relaciona al incremento del uso del agua en los últimos años y el incremento de la población entre 1997 a 2021 que ha sido aproximadamente de +15.2%. Si es cierto que el clima y las actividades humanas propician la disminución de la superficie del agua, estas fluctuaciones también son parte de la dinámica del lago a lo largo del tiempo ya que se han encontrado registros que indican que el lago tuvo periodos de desecación o niveles de agua más bajos de lo normal (Israde et al., 2002). Algunos de los periodos secos que se han registrado fueron en 1940, 1960, 1980, y 1990 (Bernal, 1998; Chacon et al., 2000; Mendoza, 2002). Sin embargo, Israde et al., 2002 sugiere que los niveles bajos observados en los últimos años están asociados a la extracción de agua superficial y subterránea para usos urbanos y agrícolas y a la reducción de la precipitación media anual.

En general, esta gráfica muestra cómo se correlacionan las precipitaciones con el comportamiento de la superficie del lago y se observa la disminución de las precipitaciones en los últimos años en comparación con los valores registrados al inicio de la gráfica.

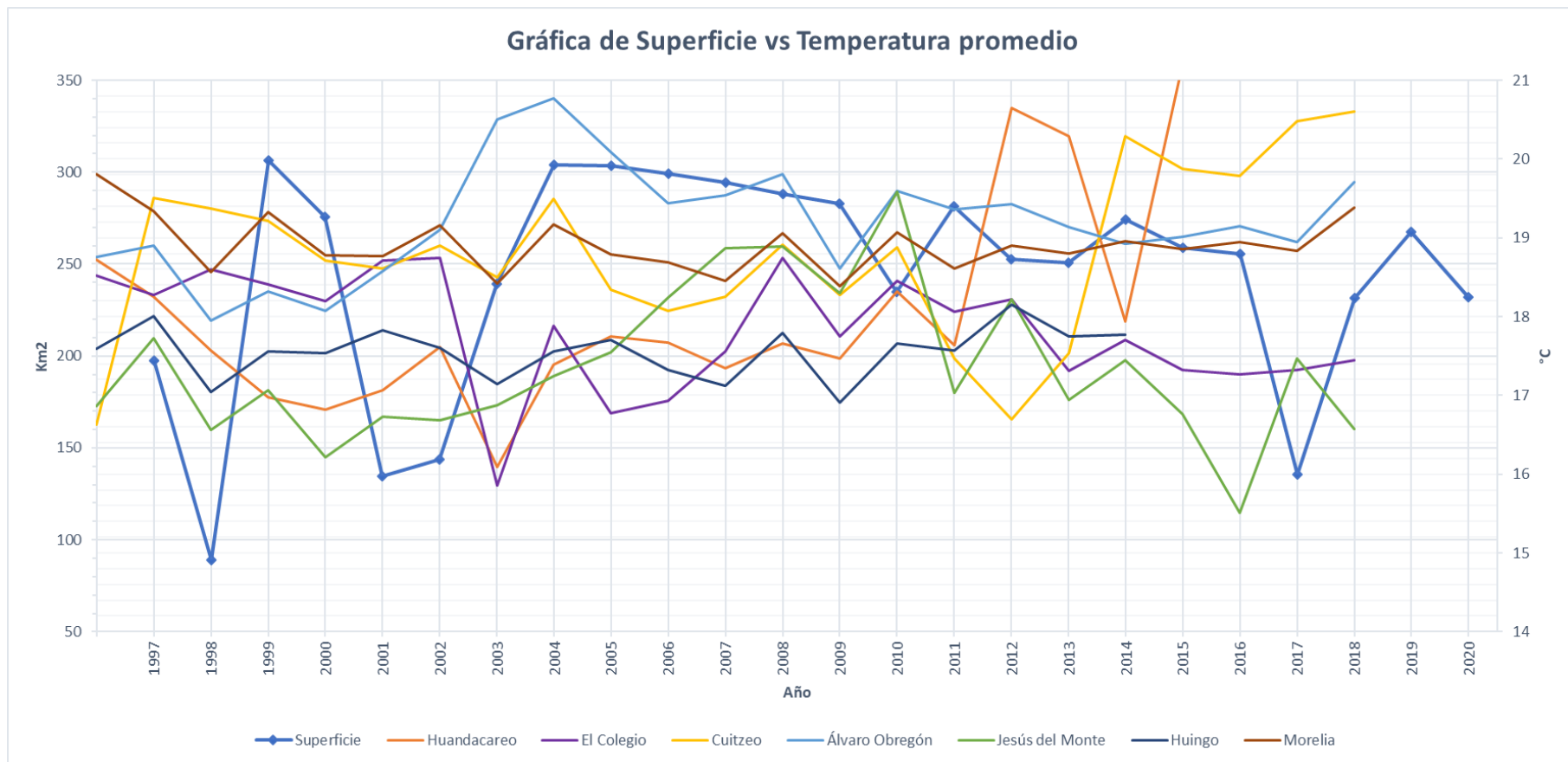


Figura 37. Gráfica de la variación de la superficie del lago vs la temperatura media por año de cada estación.

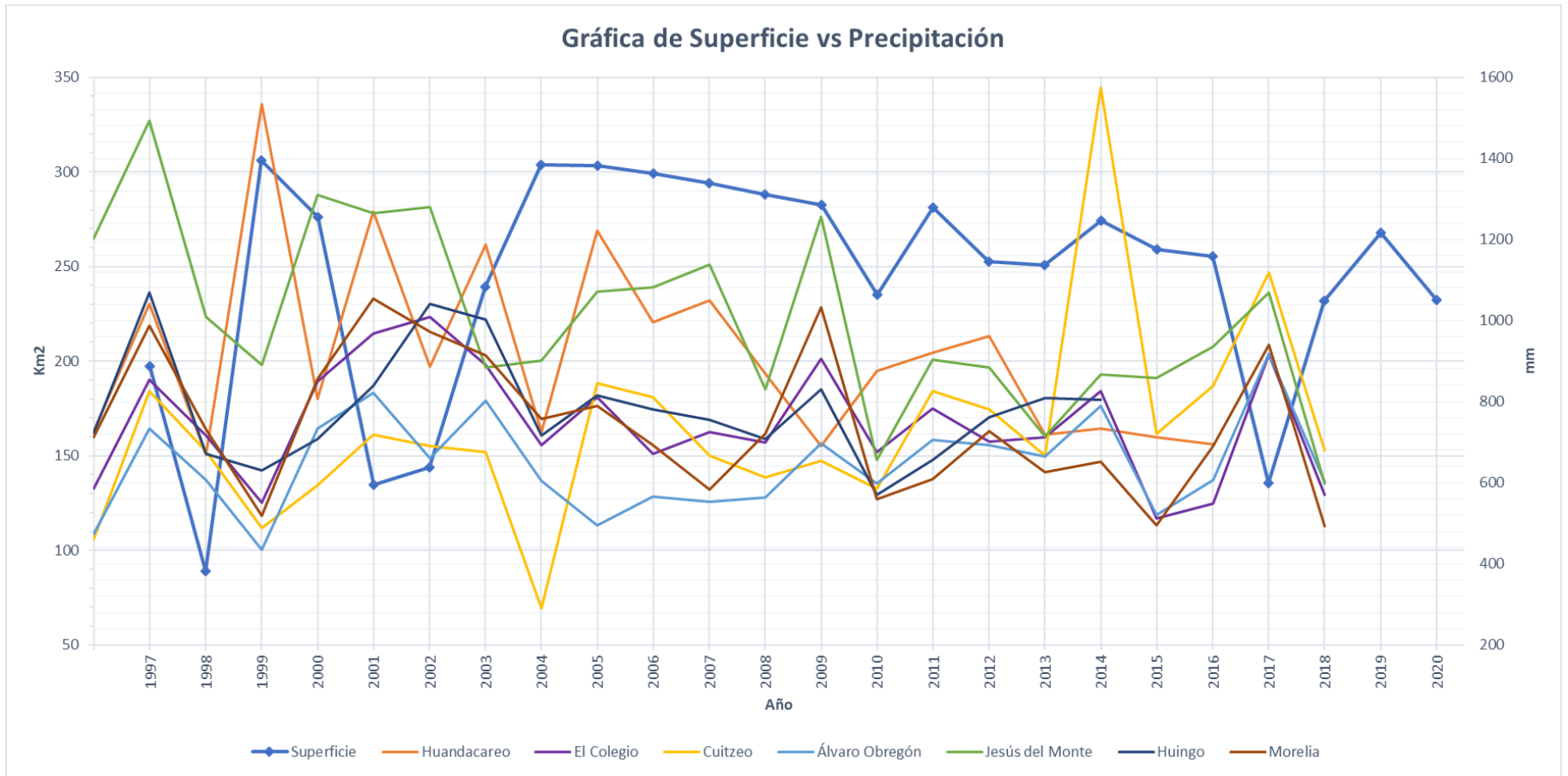


Figura 38. Gráfica de la variación de la superficie del lago vs la precipitación por año de cada estación.

5.4 Análisis de correlación

En su mayoría en los resultados de la correlación no se encontraron valores con correlaciones fuertes tomando en cuenta los criterios de la Tabla 10 (Ortiz et al., 2018), sin embargo, si se encontraron valores con correlaciones moderadas y bajas. Considerando que el tamaño de la muestra es grande, los valores obtenidos son significativos estadísticamente.

Tabla 10. Interpretación de la correlación.

Valor del coeficiente de correlación (Positivo o negativo)	Significado
0.00 a 0.19	Muy débil correlación
0.20 a 0.39	Débil correlación
0.40 a 0.69	Moderada correlación
0.70 a 0.89	Fuerte correlación
0.90 a 1	Muy fuerte correlación

La correlación entre la superficie del lago y la precipitación (Tabla 11) se relaciona con la superficie del lago entre marzo a junio y muestra coeficientes de correlación negativos, los cuales se relacionan al periodo seco anterior a la época de lluvias. En el mes de marzo en general se observan correlaciones muy débiles, débiles y moderadas negativas con todas las estaciones. Estos valores negativos se deben a que el balance precipitación-evaporación es negativo durante esos meses. Posteriormente se puede observar que entre los meses de julio a octubre los coeficientes de correlación son positivos. Sin embargo, sólo en el mes de agosto hay correlaciones moderadas en casi todas las estaciones que indican que la época de lluvias abasteció el sistema hidrológico y por tanto el balance precipitación-evaporación es positivo. En noviembre se observan nuevamente coeficientes negativos en casi todas las estaciones a excepción de El Colegio, y en el mes de diciembre se observan coeficientes negativos y positivos; sin embargo, las correlaciones en estos meses son moderadas a bajas. Mendoza et al., (2006) reportó

correlaciones más altas de la superficie con las precipitaciones de invierno teniendo valores altos positivos de correlación en enero y febrero mayormente. Sin embargo, se puede notar que la tendencia en las correlaciones continua y se relaciona a los periodos secos y húmedos que ya se han reportado en el área de estudio (Carlón y Mendoza, 2007).

En la correlación entre la superficie del lago y la temperatura media se observa que, los valores del coeficiente de correlación predominantes son muy bajos; sin embargo, se pueden observar algunas correlaciones moderadas en las estaciones de El Colegio, Álvaro Obregón y Jesús del Monte. En general la correlación entre la superficie y temperatura es baja, al igual que lo reportado por Mendoza et al. (2006).

La reducción significativa de la superficie del lago en los últimos años se relaciona a las variables de temperatura y precipitación, pero es posible atribuir que la intensidad de la correlación ha reducido por la intensa actividad industrial, las actividades agropecuarias y el incremento poblacional, que a su vez son responsables de la sobreexplotación del agua, de los cambios de uso del suelo y del azolvamiento del lago. Todas estas actividades modifican el comportamiento del agua en el ciclo hidrológico que dan como resultado la reducción de las precipitaciones y aumento de la temperatura (Mendoza et al., 2002; Israde et al., 2002; Mendoza et al., 2006; Pedroza y Catalán, 2017).

Tabla 11. Matriz de correlación entre la precipitación y temperatura antecedente con la superficie del lago.

PRECIPITACIÓN												
ESTACIÓN	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Huandacareo	0.231	-0.055	-0.562	-0.292	-0.126	-0.395	0.119	0.564	0.276	0.214	-0.029	0.079
El Colegio	0.344	0.130	-0.449	-0.466	-0.169	-0.377	0.363	0.616	0.336	0.125	0.029	0.045
Cuitzeo	0.109	0.079	-0.180	-0.327	-0.163	-0.094	0.228	0.563	0.386	0.282	-0.088	-0.085
Álvaro Obregón	0.390	0.139	-0.457	-0.269	-0.175	-0.213	0.431	0.417	0.311	0.193	-0.314	-0.217
Jesús del Monte	0.364	0.110	-0.630	-0.415	-0.494	-0.355	0.036	0.399	0.226	0.331	-0.099	-0.296
Huingo	0.429	0.153	-0.523	-0.697	-0.275	-0.408	0.458	0.635	0.332	0.254	-0.057	0.033
Morelia	0.315	0.139	-0.516	-0.213	-0.354	-0.297	0.244	0.451	0.545	0.284	-0.242	-0.142
TEMPERATURA												
ESTACIÓN	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Huandacareo	-0.062	0.009	0.018	0.233	0.338	0.109	-0.124	-0.112	-0.021	-0.098	-0.210	-0.001
El Colegio	-0.096	-0.389	-0.099	-0.102	-0.035	-0.269	-0.447	-0.453	-0.373	-0.345	-0.141	-0.380
Cuitzeo	-0.231	-0.208	0.130	0.264	0.353	0.534	0.286	0.088	-0.050	0.182	0.192	0.359
Álvaro Obregón	0.334	0.178	0.437	0.583	0.616	0.410	0.215	0.220	0.287	0.466	0.155	0.159
Jesús del Monte	-0.173	-0.009	0.208	0.028	0.391	0.170	0.158	0.048	0.229	0.307	0.229	-0.014
Huingo	0.018	-0.227	0.060	0.188	0.080	-0.001	-0.128	-0.149	0.161	0.185	-0.143	-0.347
Morelia	0.002	-0.288	-0.486	-0.143	0.269	0.066	-0.247	-0.526	-0.633	-0.384	-0.324	-0.229

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES

El principal objetivo de este trabajo fue analizar las fluctuaciones del Lago de Cuitzeo interpretando imágenes satelitales para el periodo de 1997 a 2021. Al obtener las imágenes satelitales se encontró con que algunas presentaban algunos datos faltantes en una banda; sin embargo, esto no fue impedimento para poder continuar con la interpretación. Al realizar la interpretación visual de 25 imágenes satelitales se pudieron distinguir los años en donde el lago sufrió desecaciones. El análisis arrojó que, en los años de 1998, 2001, 2002 y 2017 el lago presentó un periodo seco que se identificó principalmente en el vaso oriente del lago. La superficie con menor extensión del espejo de agua se registró en el año 2021, en donde el lago cubrió 75.8 km²; mientras la mayor extensión se registró en el año 1999, cubriendo un área de 306 km².

Las series de tiempo de precipitación y temperatura incluyen registros hasta el año 2019 y en algunos casos sólo hasta 2015; adicionalmente se encontraron periodos sin registro alguno, lo que presentó una limitante en el trabajo para poder comparar las variables con las superficies de los últimos 2 años. Sin embargo, se utilizó el método missForest con el cual se calcularon los valores faltantes obteniendo buenos resultados en la correlación entre estaciones.

A pesar las limitaciones expuestas, la correlación de la superficie con las variables meteorológicas, confirma que el lago es susceptible a las variaciones meteorológicas del año anterior a la superficie calculada, lo cual fue identificado, principalmente, en la correlación de la superficie del lago y la precipitación. El análisis de tendencia indica que no existe una tendencia significativa de cambio en las precipitaciones en la mayoría de las series meteorológicas. Sin embargo, si se observó una tendencia no significativa a la reducción de las precipitaciones y al aumento de la temperatura. En la estación de Huandacareo, al norte del lago, tiene una tendencia significativa a la reducción de las precipitaciones y en las estaciones de Cuitzeo y Álvaro Obregón tienen una tendencia significativa al incremento de la temperatura. En el análisis de frecuencias se observó que la temperatura ha incrementado en las últimas décadas, y que la precipitación ha disminuido.

La metodología implementada en este trabajo se puede replicar en futuras investigaciones en el lago de Cuitzeo o en cualquier otro cuerpo de agua en cuencas lacustres, en donde se requiera tener un registro de las fluctuaciones del espejo de agua y su relación con las condiciones climatológicas del año anterior a la medición de superficies. Sin embargo, para obtener mejores resultados, es recomendable contar con series de datos completas de las variables climáticas; lo que permitiría alcanzar una mejor comprensión de la causalidad de las fluctuaciones de las superficies de los cuerpos de agua, especialmente las actuales condiciones de cambio climático.

REFERENCIAS

- Aggarwal, S., (2004). Earth Resource Satellites. En: M.V.K. Sivakumar, P.S. Roy, K. Harmsen y S.K. Saha (eds.) Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology. Proceedings of the Training Workshop 7-11 July, 2003, Dehra Dun, India. World Meteorological Organization, Geneva Switzerland. 39-67.
- Alcocer, J., Vilaclara, G., Escolero, O., y Falcón, L., Valdespino, P., Mazari-Hiriart, M. (2015). Cap. 2 Aguas continentales en Reporte Mexicano de Cambio Climático.
- Alfaro, E., y Soley, F. (2009). Descripción de dos métodos de rellenado de datos ausentes en series de tiempo meteorológicas. Revista De Matemática: Teoría Y Aplicaciones, 16(1), 60-75.
- Alves, K., y Nóbrega, J. (2017). Tendencia pluviométrica y concentración estacional de precipitación en la cuenca hidrográfica del río moxotó – pernambuco – brasil. Revista Geográfica de América Central, 1(58), 295.
- Ban, M., Hasenaka, T., y Granados, T. N., (1992). K-Ar ages of lavas from shield volcanoes in the Michoacan-Guanajuato volcanic field, Mexico. Geofísica Internacional, 31(4), 467-473.
- Bastidas, L., Vich, A., y Piccolo, M. (2020). Propuesta metodológica para completar series de tiempo mensuales de temperatura cuando no existen estaciones adyacentes. Investigaciones geográficas, (103), e60038.
- Bernal Brooks, F. (1998). The lakes of Michoacan (Mexico): a brief history and alternative points of view. Freshwater Forum 10, 20–34.
- Blain, G. (2013). The Mann-Kendall test: The need to consider the interaction between serial correlation and trend. Acta Scientiarum. Agronomy, 35, 393-402.
- Bocco, G., López, E., y Mendoza, M. (2012). La investigación ambiental en la cuenca del Lago de Cuitzeo. Una revisión de la bibliografía publicada. En Bravo, M. E., G. C. Barrera, M. E. Mendoza, J. T. R. Saénz, F. J. Bahena, y R. M. Sánchez

- (Eds.), Contribuciones para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán (pp. 17-345). INIFAP Campo experimental Uruapan, UNAM-Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Morelia, México.
- Bocco, G., Palacio, J., y Valenzuela, C. (1991). Integración de la percepción remota y los sistemas de información geográfica. *Ciencia y Desarrollo*, XVII (97), 79-88.
- Bradbury, J. P. (2000). "Limnologic history of lake of Pátzcuaro, Michoacán, Mexico, for the past 48000 years: impacts of climate and man," *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 148, 117-131.
- Bravo, J. (2000). Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Madrid: Servicio de Información y Documentación, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, 1-30.
- Bravo, M., García, F., Ríos, E., Mendoza, M., Barrera, G., López Granados E., Serrato, B. E. y Sáenz, J. T. (2008). La Cuenca del Lago de Cuitzeo: Problemática, Perspectivas y Retos hacia su Desarrollo Sostenible. Campo Experimental Uruapan, CIRPACINIFAP. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM. Unidad de Planeación y Política Ambiental, SEMARNAT, Michoacán. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM. COECYT Michoacán, 1-32.
- Campbell, J.E. y Shin, M. (2012) *Geographic Information System Basics*. v. 1.0. <https://2012books.lardbucket.org/pdfs/geographic-information-system-basics.pdf>
- Chacon Torres, A., Rosas Monge, C., y Díaz, J. (2000). The effects of hypereutrophication in a tropical Mexican Lake. En Munawar, M., Lawrence, S., Munawar, I., Malley, D. (Eds), *Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope* (pp. 89–101). Backhuys: Kerkwerve, The Netherlands.
- Cihan, P. (2018). A Comparison of Five Methods for Missing Value Imputation in Data Sets, 2, 80-85.
- Comisión Nacional de Derechos Humanos/Universidad Nacional Autónoma de México (CNDH/UNAM) (2018). Estudio sobre la protección de ríos, lagos y

- acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos. https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/doc/Informes/Especiales/ESTUDIO_RIOS_LAGOS_ACUIFEROS.pdf, fecha de consulta: 18 de enero de 2022.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2018). Atlas del agua en México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2019). Información estadística climatológica. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>, fecha de consulta: 20 de noviembre de 2023.
- Correa, C., Mendoza, M., y Granados, E. (2014). Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 59, 7-23.
- Cram, S., Galicia L., Israde-Alcántara I. (2010). Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo: Análisis de su Geografía y Entorno Socioambiental. UNAM y UMSNH. Morelia, Michoacán, México.
- Cruz-Roa, A.F., y Barrios, M.I. (2018). Estimación de datos faltantes de lluvia mensual a través de la asimilación de información satelital y pluviométrica en una cuenca andina tropical. *Idesia (Arica)*, 36(3), 107-117.
- De Jong, S., Meer, F., y Clevers, J.G. (2004). Basics of Remote Sensing. En: Jong S.M.D. Meer F.D.V. (eds) *Remote Sensing Image Analysis: Including the Spatial Domain. Remote Sensing and Digital Image Processing*. vol 5. Springer. Dordrecht.
- de Sherbinin, A., D. Balk, K. Yager, M. Jaiteh, F. Pozzi, C. Giri, y A. Wannebo. (2002). "Social Science Applications of Remote Sensing," A CIESIN Thematic Guide, Palisades, NY: Center for International Earth Science Information Network of Columbia University.
- Environmental Law and Policy Center (ELPC) (2019). An Assessment of the Impacts of Climate Change on the Great Lakes [<https://elpc.org/wp-content/uploads/2020/04/2019-ELPCPublication-Great-Lakes-Climate-Change-Report.pdf>], fecha de consulta: 18 de enero de 2022.

- Ershad, A. (2020). *Geographic Information System (GIS): Definition, Development, Applications and Components*. Department of Geography, Anandra Chandra College, Jalpaiguri.
- Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Manea, V., y Manea, M. (2012). The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. *Tectonophysics*, 522–523, 122–149.
- Flórez, D., y Fernández, D. (2018). LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. UNA REVISIÓN. *FAGROPEC - Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 9(1), 11-16.
- Fritz, C. S., Metcalfe, S., y Dean, W. (2001). Holocene climate patterns in the Ameritas inferred from pelolimnological records. En Markgraf, V. (ed.), *Interhemispheric climate linkages* (pp. 241-263). Academic Press, San Diego.
- García, E. (2004), *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*, Serie Libros, núm. 6, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Garduño-Monroy, V. H., Pérez-Lopez, R, Israde-Alcantara, I, Rodríguez-Pascua, M. A., Szykaruk, E, Hernández-Madrigal, V. M., García-Zepeda, M. L., Corona-Chávez, P, Ostroumov, M, Medina-Vega, V. H., García-Estrada, G, Carranza, O, Lopez-Granados, E, y Mora Chaparro, J. C. (2009). Paleoseismology of the southwestern Morelia-Acambay fault system, central México. *Geofísica internacional*, 48(3), 319-335.
- Gómez, M. (2012). *Geología y estratigrafía de la Sierra Mil Cumbres*. (Tesis de Maestría). Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.
- Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228(1-2), 113–129.
- Hasenaka, T., y Carmichael, I. (1985). A compilation of location, size, and geomorphological parameters of volcanoes of the Michoacan-Guanajuato volcanic field, central Mexico. *Geofísica Internacional*, 24(4), 577–607.
- Horton, N. y Lipsitz, S. (2001), 'Multiple Imputation in Practice: Comparison of Software Packages for Regression Models with Missing Variables', *American Statistical Association*, 55(3), 244–254.

- Huang, C., Chen, Y., Zhang, S., y Wu, J. (2018). Detecting, Extracting, and Monitoring Surface Water From Space Using Optical Sensors: A Review. *Reviews of Geophysics*, 56(2), 333–360.
- Hussain, M. (2016). Essential Elements of Geographic Information System (GIS). https://www.researchgate.net/publication/305392153_Essential_Elements_of_Geographic_Information_System_GIS.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2006). Los Sistemas de Información Geográfica. *Geoenseñanza*, 11(1), 107-116.
- Israde Alcántara, I. y Mendoza, M. (2019). Los cuerpos de agua de Michoacán. En *La biodiversidad en Michoacán* (pp. 67-78). Estudio de Estado 2, Vol. 1. CONABIO, México.
- Israde Alcántara, I., Garduño-Monroy, V., y Ortega Murillo, R. (2002). Paleoambiente lacustre del cuaternario tardío en el centro del lago de Cuitzeo. *Hidrobiológica*, 12(1), 61-78.
- Israde Alcántara, I., Velázquez-Durán, R., Lozano García, M. S., Bischoff, J., Domínguez Vázquez, G., y Garduño Monroy, V. (2010). Evolución Paleolimnológica del Lago Cuitzeo, Michoacán durante el Pleistoceno-Holoceno. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(3), 345-357.
- Israde Alcántara, I., y Garduño Monroy, V. H. (1999). Lacustrine record in a volcanic intra-arc setting: the evolution of the Late Neogene Cuitzeo basin system (central-western Mexico, Michoacán). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 151(1-3), 209–227.
- Israde, I., Buenrostro, O., Garduño, V., Hernández-Madrigal, V., y López, E. (2008). Problemática geológico-ambiental de los tiraderos de la Cuenca de Cuitzeo, norte del estado de Michoacán. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 60(2), 203-211.
- Kairu, E. (1982). An introduction to remote sensing. *GeoJournal*. 6, 251-260.
- Kaku, K. (2018). Satellite remote sensing for disaster management support: A holistic and staged approach based on case studies in Sentinel Asia. *International*

- Journal of Disaster Risk Reduction, 33, 417-432.
- Karmakar, S., y Mavukkandy, M. (2013). Lakes and reservoir : Pollution. En Encyclopedia of Environmental Management (pp. 1576-1587). Taylor y Francis: New York.
- Khan Academy. (n.d.). *Luz y pigmentos fotosintéticos*. Recuperado de <https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/the-light-dependent-reactions-of-photosynthesis/a/light-and-photosynthetic-pigments>
- Kolios, S., Vorobev, A., Vorobeva, G., y Stylios, C. (2017). GIS and Environmental Monitoring: Applications in the Marine, Atmospheric and Geomagnetic Fields: 20 (Softcover Reprint of the Original 1st 2017 ed.). Springer.
- Kumar, A., y Kanaujia, A. (2014). Wetlands: Significance, Threats and their Conservation. En Varma, O., Sardana, R., y Yadav, K (Eds). Green 7. Directorate of Environment.
- Leira M., y Cantonati M. (2008) Effects of water-level fluctuations on lakes: an annotated bibliography. En Wantzen K.M., Rothhaupt KO., Mörtl M., Cantonati M., -Tóth L.G., Fischer P. (eds) Ecological Effects of Water-Level Fluctuations in Lakes. Developments in Hydrobiology, vol 204. Springer, Dordrecht.
- López Álvarez, B. (2021). Agua subterránea, un recurso oculto. Argumentos. Estudios Críticos De La Sociedad, 1(95), 15-32.
- López, B., Mendoza, M., Velázquez A., y Aguirre, R. (2006). Peasant emigration and land-use change at the watershed level. A GIS-based approach in Central Mexico. Agricultural Systems, 90 (1-3), 62-78.
- Martínez Austria, F., y Patiño Gómez, C. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. Tecnología y ciencias del agua, 3(1), 5-20.
- Mendoza M. E. (2002). Implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso del suelo en el balance hídrico a nivel regional. El caso de la Cuenca del Lago de Cuitzeo. [Tesis de Doctorado, Instituto de Geofísica]. Universidad Nacional

Autónoma de México. México.

- Mendoza, M., Granados, E., y Acosta, A. (2002). Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la cuenca endorreica del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Gaceta Ecológica*, 64, 19-34.
- Mendoza, M.E. y Reyes, H. (2011). Los Sistemas de información geográfica una herramienta esencial para los manejadores de recursos naturales. Bautista, F. (Editor General). *Herramientas para manejadores de recursos naturales*. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental - Instituto Nacional de Ecología.
- Mendoza, M.E., Bocco, G., Bravo, M., López-Granados, E., y Osterkamp, W. R. (2006). Predicting water surface fluctuation of continental lakes. A GIS and RS based approach in Central Mexico. *Water Resources Management*, 20 (2): 291 – 311.
- Mendoza, M.E., Bocco, G., Bravo, M., y López, G. (2005). Evaluación de la calidad espacial y temporal de estaciones meteorológicas. El caso de la Cuenca del Lago de Cuitzeo. *Ciencia Nicolaíta*, 39, 79-94.
- Mendoza, M.E., Bocco, G., y Bravo, M. (2002). Spatial prediction in hydrology: status and implications in the estimation of hydrological processes for applied research. *Progress in Physical Geography*, 26 (3), 319- 338.
- Mendoza, M.E., y Carlón, T. (2007). Análisis hidrometeorológico de las estaciones de la cuenca del lago de Cuitzeo. *Investigaciones Geográficas*, 63, 56-76.
- Mennecke, B., y Crossland, M. (1996). Geographic information systems: applications and research opportunities for information systems researchers, 3, 537 – 546.
- Mercier, F., Cazenave, A., y Maheu, C. (2002). “Interannual lake level fluctuations (1993–1999) in Africa from Topex/Poseidon: connections with ocean–atmosphere interactions over the Indian Ocean”, *Global and Planetary Changes*, 32, 141-163.
- Metcalfe, S. E. (1992). Changing environments of the Zacapu basin, central Mexico: a

- diatom-based history spanning the last 30,000 years. Research paper 48, School of Geography. Oxford.
- Mondal, A., Kundu, S., y Mukhopadhyay, A. (2012). Rainfall trend analysis by Mann-Kendall test: a case study of North-Eastern part of Cuttack district, Orissa. *International Journal of Geology*, 2(1), 70-78.
- National Aeronautics and Space Administration. (s.f). Landsat 7. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat7/#:~:text=These%20features%20are%3A,channel%20with%2060m%20spatial%20resolution>
- National Council of Educational Research and Training (NCERT) (2006). Practical work in Geography.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) (1996). Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2018). Guía de Instrumentos y Métodos de Observación.
- Ortiz, H., Escobar, C., Sepúlveda, S. (2018). Análisis estadístico de variables climatológicas en la ciudad de Cúcuta. *Respuestas*, 23(1), 39 – 44.
- Panigrahi, N. (2014). Computing in geographic information systems. CRC Press.
- Penone, C., Davidson, A., Shoemaker, K., Di Marco, M., Rondinini, C., Brooks, T., Young, B., Graham, C., y Costa, G. (2014). Imputation of missing data in life-history trait datasets: Which approach performs the best. *Methods in Ecology and Evolution*. 5.
- Qihong, T., Gao, H., Lu, H., y Lettenmaier, D. (2009). Remote sensing: Hydrology. *Progress in Physical Geography*, 33, 490-509.
- Regalado, R., Martínez, J., y Ortiz, C. (2019). Desafíos de las políticas de desarrollo sustentable en el lago de Cuitzeo, Michoacán.
- Regalado, R., Martínez-Paz, J., y Ortiz, C. (2019). Desafíos de las políticas de desarrollo sustentable en el lago de Cuitzeo, Michoacán. En: Impactos ambientales, gestión de recursos naturales y turismo en el desarrollo regional. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de

- Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, Ciudad de México.
- Regalado, R., y Ortiz, C. (2021). Preferencias socioeconómicas por costos ambientales en la Región Oeste del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México. *Campos Neutrais*, 1(2), 8-25.
- Rosete, F. y Bocco, G. (2003) Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales *Gaceta Ecológica*, 68, 43-54.
- Stekhoven D., y Buehlmann P. (2012). "MissForest - non-parametric missing value imputation for mixed-type data." *Bioinformatics*, 28(1), 112–118.
- Svatonova, Hana. (2016). Analysis Of Visual Interpretation of Satellite Data. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLI-B2, 675-681.
- The European Space Agency. (s.f.). Sentinel-2 overview. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel_2_overview#:~:text=Sentinel%2D2%20will%20carry%20an,swath%20width%20of%2090%20km
- United States Geological Survey. (18 de julio de 2018). USGS EROS Archive - Landsat Archives - Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM) Level-1 Data Products. <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-4-5-thematic-mapper-tm-level-1-data>
- Vargas, G., Merlos H., Santos, A., Topete, A., y Carillo, J. (2012), "Perspectivas de solución a los problemas ambientales de la cuenca del Lago de Cuitzeo", en Miguel Bravo Espinoza; Gerardo Barrera C.; Manuel Mendoza; José Trinidad Sáenz Reyes; Rubén Sánchez Martínez y Fernando Bahena Juárez (ed.), *Contribuciones para el Desarrollo Sostenible de la cuenca del Lago de Cuitzeo*, Michoacán, Ciudad de México, INIFAP /UNAM, 235-244.
- Vekerdy, Z., y Mendoza, M. (2010). Dinámica del Lago de Cuitzeo. *Batimetría. Dinámica del Lago de Cuitzeo*. En: Cram, S., L. Galicia e I. Israde Alcántara, (compiladores), 2010. *Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo: un análisis de*

la geografía del lago y su entorno socioambiental. Universidad Nacional Autónoma de México.

Xu, T., Weng, B., Yan, D., Wang, K., Li, X., Bi, W., Li, M., Cheng, X., y Liu, Y. (2019). Wetlands of International Importance : Status, Threats, and Future Protection. *International journal of environmental research and public health*, 16(10), 1818.

Zhang, S., Gong, L., Zeng, Q., Wenhao, L., Feng, X., y Jintao, L. (2021). Imputation of GPS Coordinate Time Series Using missForest. *Remote Sensing*. 13.

Bellouin, N., y Yu, H. (2022). Aerosol–radiation interactions. En *Elsevier eBooks*. 445-487.

Joseph, G. (2005). *Fundamentals of remote sensing*. Universities Press.

Martensson, U. (2011). *Introduction to remote sensing and geographical information systems*. Department of Physical Geography and Ecosystems Sciences. Lund University.

Villaseñor Gómez, L. E. (1994). Avifauna terrestre y acuática del Lago de Cuitzeo, México. *Ciencia Nicolaíta*, 6, 48-62.

ANEXOS

Anexo 1. Código para estimar datos faltantes en R Studio

```
#Instalar y/o activar paquetes-----#
install.packages("pacman")
require(pacman)
pacman::p_load(readxl,tidyverse,cluster,factoextra,NbClust,tidyr,rstatix,ggpubr,rstatix,hydroTSM,psych,tidyverse,gifs,forecast,zoo,lubridate,psych,xts,missForest,openxlsx,mice,VIM,gclus,Hmisc,DataExplorer,PerformanceAnalytics)

#Ingresar datos de excel en formato .xlsx
#Importar datos con choose.files() desde una carpeta-----#
choose.files()
df <- read_excel("C:\\Users\\Ara\\Documents\\DATOSR_ara\\datosR_precipitacion.xlsx")
getwd()
setwd("C:/Users/Ara/Documents")

#Manipulación de datos para procesar nuestro trabajo-----#
View(df)
names(df)
dim(df)
class(df)
summary(df)
idx <- as.Date(df$DATE)
date.matrix <- as.data.frame(df[,-1])

#Visualizar datos faltantes -----#
str(date.matrix)
date.xts <- as.xts(date.matrix,order.by=idx)
date.xts
date.zoo <- as.zoo(date.xts)
date.zoo
summary(date.zoo)
Ymax <- max(date.zoo, na.rm = T)
Ymax
par()
xyplot(date.zoo, main = " Datos de las estaciones meteorológicas sin rellenar",xlab="Tiempo-año",

col=c("red","black","midnightblue","green","mediumbblue","lightsalmon3",
"navy","mediumaquamarine","orange1","seagreen","palevioletred1","royalblue1"),
ylim = c(0,Ymax),frequency=80)

library(VIM)
val_p <- aggr(date.matrix,col=c("dodgerblue1","red"),numbers=T,
labels=names(date.matrix),cex.axis=0.5,
gap=2,ylab=c("Datos faltantes","Registro histórico de las estaciones"))
summary(val_p)
install.packages("hydroTSM")
library(hydroTSM) #para realizar grafica tipo hidrológico
hydroplot(as.zoo(date.xts[,2]),na.rm = TRUE,var.type = "Precipitation",
pfreq = "ma",xlab="Tiempo",ylab = "Pp",
```

```

col=c("midnightblue", "olivedrab2", "steelblue1"),
      main=names(date.xts[,2]) )

#Matriz de correlación entre estaciones-----#
      library(Hmisc)
      library(psych) #grafica la correlación
      pre1 <- df[,-1]
      pre1<- rcorr(as.matrix(pre1,ncol = 12))
      data1 <- pre1$r
corPlot(data1, cex = 1.1,cex.axis=0.8, main = "Matriz de correlación entre estaciones")

      library(corrplot)
      corrplot(data1, method="number",type = c("lower"),mar = c(1, 1, 1, 1))

#Completar datos faltantes-----#
      sapply(date.matrix,class)
      library(missForest)
      imp <- missForest(date.matrix,maxiter = 15,verbose = TRUE,
      variablewise = FALSE,mtry = floor(sqrt(ncol(date.matrix))),
      replace = TRUE,parallelize = c("no", "variables", "forests"))
      imp$OOBerror
      imp <- missForest(date.matrix,maxiter = 18,verbose = TRUE,
      variablewise = TRUE,mtry = floor(sqrt(ncol(date.matrix))),
      replace = TRUE,parallelize = c("no", "variables", "forests"))
      imp$OOBerror
      sapply(date.matrix,class)
      dfimp <- as.data.frame(imp$ximp)
      View(dfimp)
      gar.imp <- round(dfimp,2)

#Gráficas de datos completados-----#
      data <- as.data.frame(gar.imp)
      date.matrix.compl <- as.data.frame(gar.imp)
      str(date.matrix.compl)
      date.xts.compl <-as.xts(date.matrix.compl,order.by=idx)
      date.xts.compl
      date.zoo.compl <- as.zoo(date.xts.compl)
      date.zoo.compl

      summary(date.zoo.compl)
      Ymax1<-max(date.zoo.compl, na.rm = T)
      Ymax1

xyplot(date.zoo.compl, main = "Datos completos de precipitación de las estaciones",
      col=c("red","black","midnightblue","green","mediumblue","lightsalmon3",
      "navy","mediumaquamarine","orange1","seagreen","palevioletred1","royalblue1"),
      ylim = c(0,Ymax1),xlab="Tiempo-años")

      library(hydroTSM)#para realizar grafica tipo hidrologico
      hydroplot(as.zoo(date.xts.compl[,7]),na.rm = TRUE,var.type = "Precipitation",
      pfreq = "ma",xlab="Tiempo",ylab = "Pp",
      col=c("midnightblue", "olivedrab2", "steelblue1"),
      main=names(date.xts.compl[,7]) )

```



```
library(gclus);library(DataExplorer)
  plot_histogram(data)
  plot_correlation(data)

library(PerformanceAnalytics)
chart.Correlation(data, histogram = TRUE, method = "pearson")

#Guardar datos en formato excel-----#
  write.xlsx(gar.imp,"estacionescompletas.xlsx")
```

Anexo 2. Datos completados de precipitación de la estación Cuitzeo.

DATOS COMPLETOS DE PRECIPITACIÓN – ESTACIÓN CUITZEO												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	0	0	2.8	23.7	22.7	83.1	117.9	139.8	118.3	56.6	10.8	5.4
1963	0	6.4	17.9	2.6	30.1	181.2	249.2	128.7	149.4	84.5	1.2	9.6
1964	41.2	6.3	10.3	4.9	54.9	120	124.4	117.9	155.3	22.9	45.5	18.2
1965	15.3	29	6.4	20	56.7	77	151	203.6	125.3	34.9	10.7	1.7
1966	22.3	18.6	18.8	25.2	67.8	70.3	152.3	178.2	102.6	84.8	0	1.2
1967	74.1	0.8	24.8	14.9	61.3	110.7	212.2	144.1	185.4	159.4	33.5	2.2
1968	2.6	14.1	15.8	16.7	25.2	108.3	139.9	130.1	75.3	32.2	6.2	33.3
1969	9.2	15.4	6.1	8.1	3.3	65.4	133.1	150.1	176.3	39.1	4	10.2
1970	0	15	0	0	22.1	133.9	147	101.8	145.2	17.5	3.3	0
1971	3.7	0	7.3	10.5	52.8	126.8	201.1	134	172.7	58.6	3.2	5.7
1972	4.4	0	9.1	2.7	49.3	142.9	185.5	166.4	153.2	46.6	52	8.2
1973	2.1	0.5	0	16.2	73.1	127.5	193.4	267.7	160.8	63.7	0.8	0.4
1974	3.1	1.5	9.7	14	26.1	160.1	194.7	131.6	140.7	11.4	4.4	11.5
1975	49.5	10.2	0	0	56.9	150.8	187.1	218.7	136.4	10.4	0	0
1976	0.8	2.8	27.8	21.4	16.6	81.7	258.5	147.6	212.5	175.7	35.9	23.9
1977	7.3	8.3	0	10.9	21.6	114.8	102.8	140.7	124.2	36.2	3.4	14.3
1978	23	15	15.1	2.1	32.7	147.4	261.9	192	143.3	154.5	7.3	10.9
1979	0.7	20.1	0	0	12.9	75.4	150	196.9	63	0.7	7.3	15.8
1980	109.3	13.3	0	14.1	34.9	62.5	159.3	226.1	164.2	34.5	8	1.8
1981	53.7	23	2.3	13.4	17.3	132.4	141	225.7	90.4	107.6	4.6	9
1982	0	1.3	2.5	5	29.2	21.6	159.9	71.4	46.6	20.7	10.8	36.7
1983	35.1	2.1	10.3	0	70.4	68.4	233.8	221.4	153.9	37.3	12.1	1.9
1984	25	7.6	0	11.3	45.3	166.1	248.3	162	146.4	48.3	0.7	6
1985	5.3	0	3.5	22	48.2	195.9	194.5	281	94	29	26.7	13.1
1986	3.4	1.1	0	14.4	66.8	173.7	138.1	161.2	102	61.1	13.7	1.5
1987	3	0.3	0.2	4	31.3	85.5	216.4	165	74.6	0	20.9	1
1988	1.5	1	38.7	30.5	0	165.3	174	154.8	85.5	10	0	0
1989	4	7.3	4.5	8	1.5	92.5	145.8	201.9	115.5	44	0	18
1990	22.6	12.4	7.1	5.2	52.9	148.1	134	240.2	60	72.5	0	0

1991	0	5.5	0	0	0	112.8	234.3	167.7	147.7	85.8	14.7	11.4
1992	102.3	12.5	7.4	6.8	52.3	78.5	117.7	119.3	179.4	64.2	26.4	0
1993	14.1	2	0	1.9	3.6	112	194.3	162.1	125.7	22.4	9.2	0
1994	9.7	0	4.5	3.6	19.3	205.2	71.5	178.7	68.6	51.4	0	1
1995	43.1	3.5	2.8	6.5	40.9	143.8	111.5	171.3	89.2	22.5	10	38.8
1996	0	0	0	1.5	5	87.2	92.6	104.5	97	30	0	0
1997	10	1.2	16.6	14	15.7	79.5	102.1	100.9	88.5	13.8	17.7	0
1998	1	0	0	0	0	150.3	151.3	234.6	186.9	103.1	0	0
1999	0	0	0	0	60	121	210.7	230.5	47.8	8	0	0
2000	0	0	0	0	45	139.3	178.5	42.9	41.2	27.9	4.5	10
2001	3.2	7.2	2.6	36	88	109.1	139.2	98.2	81.2	27	0	2.5
2002	35.1	32.6	0	33.24	56.17	107.42	197.01	0	171.8	54	32	0
2003	1.4	0	3.5	9.5	47	104.4	89	169.4	222.2	44.3	0	0
2004	3.5	0	0	0	1.3	78.8	137.6	195.1	215	42.5	1.5	0
2005	0	0	0	0	0	0	174	102	10.5	1.7	0.7	1.1
2006	28.91	0.07	10.63	2.66	86.73	95.72	156.58	195.87	172.66	87.42	8.42	0.44
2007	18.11	12.34	14.82	7.03	31.91	138.39	180.9	208.56	140.74	37.1	21.75	0.28
2008	0.35	3.1	0.01	26.31	32.56	78.12	209.16	197.65	85.43	33.33	1.47	0.01
2009	3.51	7.2	0.11	2.08	43.23	133.33	93.82	104.99	143.12	76.83	0.02	5.11
2010	43.31	91.29	0.18	2.52	9.79	89.85	206.71	131.52	77.7	0.75	0.02	0.35
2011	2.79	0.02	0.54	1.32	13.83	85.71	198.09	182.17	62.66	33.78	3.58	0
2012	30	95.4	19.9	4	43.9	169.5	0	221.7	156.1	41.6	44.5	0
2013	0	0	7.8	0	21.5	98.4	212.1	98.7	153	136.6	25.73	27.5
2014	4.02	1.88	1.89	11.79	76.78	126.42	141.77	132.79	88.56	78.82	1.19	0.68
2015	8.2	19.1	261.3	78.6	270.8	379.9	84	209.4	155.4	48.4	4.9	53.9
2016	1	9.6	19.7	9.8	64.5	116.4	192.9	118.9	122.6	35.1	30.3	0
2017	0	0	55	3.5	83.2	141.2	213.7	156.2	166.2	20.1	0	0
2018	1.3	47.4	0	7.7	50.3	245.5	122.8	269.1	183.1	93.3	92.4	6.1
2019	5	0	0	0	70.7	154.5	146	161.5	66.5	57.0	11.9	7.4

Anexo 3. Datos completados de precipitación de la estación Morelia.

DATOS COMPLETOS DE PRECIPITACIÓN – ESTACIÓN MORELIA												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	0	0	0.2	7.8	47.8	118.5	128.5	168.6	247.1	52.1	0	18.8
1963	0	1	14	0	53.4	190.1	181.5	182.6	131	63.5	4.7	16.8
1964	18.3	0	15.5	8.7	28.4	219.5	146	136.2	145.9	86.4	16.6	23
1965	9.5	45.3	0	5.5	47.8	171.6	192.4	258.6	130.1	56.9	7.8	0
1966	14.5	11.8	21.5	44.1	100.5	151.9	197	183.8	55.9	98.7	0	4.7
1967	90.7	0	28.4	28.5	45.7	173.1	157.2	139.6	240.3	109.5	11.2	3.7
1968	0	25.9	9	24.4	56.5	170.8	243.3	117.9	123.8	70.2	4	13.5
1969	2.5	0	0	6.2	6.2	81.2	188.2	173.3	226.5	34.9	1.5	4.4
1970	0	33.6	0	0	16.2	171.8	182.4	147	203.3	43.3	13.3	0
1971	4.3	3.5	23.6	5.1	61.5	221.9	198.4	167.1	156.4	91.4	0.8	2.6
1972	2.1	0.3	15	22.6	89.5	170.9	279.9	152.3	228.6	25.1	34.2	0
1973	0.5	0.2	0	14.8	46.7	122.9	223.4	117.1	181	160	0.5	3
1974	0	13.3	58.3	31.8	21.7	142.1	282.9	181.9	125.8	18.4	14.7	3.1
1975	23.8	0	0	0	37.1	141.5	142.5	188.7	169.1	30.1	0	0
1976	0	0.7	20.6	8.5	35	193.5	268.7	129.1	189.3	174.4	35.5	4.7
1977	19.6	8.8	0	13.1	80.8	80.8	150.5	142.6	159.6	38.5	16.2	3.1
1978	19.4	4.5	14.5	1.1	27.5	153.2	249.2	197.2	136	102.9	1.5	0
1979	0	29	0	0	9.1	97.7	184.7	94	126.5	0	1.4	38.4
1980	97	4.8	0	35.9	0	84.8	135	231.2	156.7	25.4	12.7	3.1
1981	63.8	18.1	1.2	15.9	52.5	178.5	108.2	154.3	48.1	32.8	10.5	16.7
1982	0	8	0.7	22.9	47	33.2	176.5	141	60.2	17.8	6.2	8.3
1983	22	2.8	16.7	0	57	85.6	291.6	188.7	85.8	39.4	20.1	2.1
1984	13.1	7.4	0.2	0	23.4	80.1	181.4	125.2	123.8	29.8	5.1	11.7
1985	0.4	2.1	15.5	13.5	46.9	147.5	195.9	138.4	70	49.4	12.5	8
1986	3.3	0.6	2	13.2	57.5	139	134.2	144.9	112	38.3	11.3	4.7
1987	0	1	4.9	35.6	11	84.9	162.7	183	53.2	0	28.6	0.9
1988	3.9	0.2	29	0	1.7	134	258.4	239.8	152.5	25.2	2	0
1989	14.2	0.3	0	0	13.4	71.8	60.7	177.7	155.9	37.6	6.9	19
1990	10.5	9.1	5.3	9.8	74.6	192.3	209	167	125.3	86.6	1.8	3.8

1991	10.2	3.2	0	0.3	52.9	111.4	281.8	163.4	222.5	65.7	4.6	2.5
1992	131	20	0.5	27.5	46.7	50.5	119.2	251.1	211.7	77.3	25.4	0.5
1993	6.4	7.5	4.7	19.3	0.8	257	241	222.4	112.7	52.7	7.5	0
1994	15.6	4.8	0	1.4	27.7	233.5	74.4	110.1	130.5	91.9	3.8	1.1
1995	4.6	22.3	5.2	12.9	87	94.2	146.9	205.2	183.42	55.02	12.82	6.89
1996	0.3	0	2.6	3.1	41.7	111	112.2	98.7	118.4	21.4	4.4	0
1997	3.5	0	48.6	25.8	55.4	171.1	194.6	113.9	51.6	14.6	32	2.1
1998	0.2	0	0	0	0	187	142	236.4	287.9	131.6	3.3	0
1999	0	0	3.6	0.7	34.7	201.1	208.3	164.5	80.2	29.3	0	8.4
2000	0	8.5	0	0	62.5	178.5	80.4	71.6	39.1	49.9	13.1	14.2
2001	9.09	0.4	7.2	18.2	74.9	179.7	173.6	209.6	107.7	70.9	5.8	0
2002	17.2	32.8	16	12.8	92	284	158.9	136.9	193	52.4	51.8	5.3
2003	136.3	0	4	7.6	37.7	148.6	195.7	143.1	205.9	85.5	7	0
2004	19.2	0	5.9	25.3	58.4	178	185.8	191.5	168	77.6	0	4.5
2005	11.8	10.6	14.8	5	15.5	52.1	146.4	256.9	176.5	57.4	8.8	1
2006	29.4	0.2	5	5.4	85.1	30.5	185.9	181.2	159.5	103.6	2.8	0.3
2007	9.2	24.9	3.5	8.2	33.5	102.8	172.7	166.7	142.9	17.7	9.6	0.5
2008	0	2.5	0	33.7	9.8	85.8	168	159.7	94.8	29.7	0	0
2009	13.5	5	1	12.5	48.8	104.8	141.8	125.4	236.6	29.2	0	2.1
2010	64.3	151.8	0	1.5	33.3	125.9	294.73	267.6	92.9	0	0	0
2011	2	0	9.5	5	14.5	79.1	258.6	93.2	80.6	9.9	3.8	2.8
2012	0	45.7	15.7	0	18.8	53.6	134.6	166.1	81	27	65.6	1.1
2013	7.4	0	9.8	1.4	53.7	98.7	141.6	155.6	166.8	40.5	31.6	20.3
2014	9.8	12.5	0	2	85.4	74.6	122.1	63.5	123.6	121.5	9.3	1.5
2015	0.1	10.8	114.2	6.4	114.6	94	137.4	65.4	51	36.5	1.7	19
2016	2.1	1.3	9.8	2.4	72	79.5	95.4	113.1	76.2	13	25.3	5
2017	16.2	0.2	42.3	5.3	30.7	196.4	156.9	113.1	96.6	33.3	0	0
2018	32	5.1	0	9.5	92.7	156.8	126.9	167	122.2	130.8	76.1	22
2019	14.1	2.8	0	0	16.8	155.6	129.3	94.4	62	53.4	22.5	9.5

Anexo 4. Datos completados de precipitación de la estación Huandacareo.

DATOS COMPLETOS DE PRECIPITACIÓN – ESTACIÓN HUANDACAREO												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	0.51	0.51	3.18	20.54	46.7	119.27	132.44	174.83	146.03	85.21	5.89	9.63
1963	0.51	6.02	39.18	8.77	55.01	236.29	238.61	176.71	150.42	70.94	1.93	9.98
1964	67.19	9.14	13.97	4.98	44.22	151.29	139.6	125.25	185.99	63.94	35.76	24.64
1965	23.28	48.59	4.97	26.31	35.94	110.72	187.58	212.97	138.85	72.81	10.62	2.11
1966	26.9	23.46	26.22	44.25	68.4	83.2	194.61	239.87	134.76	93.37	0.51	2.14
1967	93.4	0.69	35.31	23.42	74.87	172.18	249.64	200.99	204.2	171.98	33.15	3.09
1968	14.14	22.8	21.09	24.28	39.89	165.61	190.89	150.94	89.31	66.66	9.3	27.88
1969	6.92	11.46	5.98	6.06	15.83	68.56	158.83	201.44	219.44	37.94	4.84	6.44
1970	0.51	18.36	0.51	0.51	38.68	150.82	224.73	166.29	181.19	22.75	5.77	0.51
1971	4.02	0.48	9.95	13.24	71.48	145.16	229.99	178.12	250.82	74.54	4.51	5.94
1972	4.61	6.44	9.01	10.27	48.88	201.3	274.65	202.14	169.53	39.53	32.09	6.29
1973	3.96	0.05	0.51	16.66	47.91	139.03	229.32	257.92	211.8	80.08	2.43	1.17
1974	4.69	5.97	21.15	33.12	27.27	173.66	236.57	170.51	160.57	16.64	9.04	6.67
1975	42.05	8.86	0.51	0.51	75.14	159.74	252.34	244.26	145.05	18.99	0.51	0.51
1976	3.4	3.12	35.47	37.59	15.55	83.66	334.65	203.02	238.75	228.16	50.51	54.17
1977	13.54	12.73	0.51	25.4	72.11	139.25	156.72	166.21	157.34	40.35	7.73	17.02
1978	28.69	14.06	12.7	3.94	44.49	145.52	222.45	222.46	198.27	146.63	8.5	9.1
1979	2.2	45.11	0.51	0.51	14.86	72.65	173.35	257.33	86.34	0.36	6.06	39.18
1980	133.52	8.42	0.51	29.08	45.6	81.45	164.38	213.57	203.48	48.91	16.78	2.01
1981	72.68	35.57	5.12	14.53	47.96	149.71	182.01	244.46	96.23	120.25	5.52	11.14
1982	0.51	7.23	4.36	10.82	38.51	55.12	223.4	87.5	66.3	207.5	7.48	35.7
1983	32	2.2	12.7	0	10.9	42.1	220.11	236.13	125.3	48.5	15	7.5
1984	40	7.5	0	1.2	13.7	371.7	290.6	256.8	201.1	24.5	2.5	6.8
1985	1	2	0.2	39.5	8.2	291.2	175.7	203.9	69.2	60.9	9.2	5.1
1986	0	9.6	0	10	24.4	195.7	236	143.8	125.1	62	14.2	1.8
1987	3.5	0.5	0.4	4.1	31.8	85	218.6	167.3	76.1	0	21.3	1.3
1988	1.8	0.8	36.8	29.4	0	166.9	174.3	153.5	85.5	9.2	0	0
1989	3.6	7.6	4.9	8.2	2.1	94.2	142.4	204.2	116.5	43.4	0	18.2
1990	21.7	10.6	8	6.4	53.7	150.1	132.1	241.2	60.5	74.6	0	0

1991	0.2	6	0	0	0	111.5	223.4	166.9	155.5	88.6	14.4	12.5
1992	103.7	14.6	7.4	6.6	52.5	72.6	119.8	120.5	184	63.3	25.7	0
1993	14.2	3.5	0	2.7	3.5	114.4	207.6	166.9	123.2	21.3	9.8	0
1994	13.61	4.13	4.95	5.81	35.46	217.8	91.22	248.94	93.15	78.74	1.96	2.48
1995	24.65	11.49	5.55	18.89	78.18	172.23	155.46	363.32	152.3	34.05	18.63	60.39
1996	8.85	0.91	3.39	6.48	19.6	89.47	121.43	139.06	129.93	45.85	0.91	1.33
1997	6.08	4.5	54.95	57.99	64.1	101.51	161.69	129.68	78.55	38.71	28.01	0.81
1998	1.42	1.33	0.78	0.51	5.05	162.22	185.18	274.87	299.47	110.37	0	0
1999	0	0	0	0	0	207.9	163.8	197.1	46.1	4.2	0	50.5
2000	0	0	9.8	0	111.8	792	370	90.4	106.8	47	0	5.4
2001	26	11.5	9.8	34.6	32.3	194.8	195.9	67.3	175.6	46.2	9	3.3
2002	26.5	54	0	96.2	158.7	101.4	295.1	117.1	261.2	106	53	0
2003	22	0	4	12.5	61	187.2	199.5	113.8	197.2	75.2	13.5	0
2004	38.7	2.4	10.4	32.5	136.3	177.9	175.5	282	237	71.9	21.9	0
2005	0	0	5.7	0	5.2	37.5	329	187.97	37	122	0	0
2006	50	0	15.8	2	94.3	172.2	196.9	267	345.4	66.3	11	0
2007	37	14.1	20	6.9	36	166.9	218.2	242.1	137.2	63.5	54	0
2008	0	9	0	56	101	0	528	215.1	106.33	35.15	0	0
2009	0	0	0	0	105.3	159.1	134.3	165.6	191.32	107.9	0	5.24
2010	61.28	0.21	0	0	2.1	98.42	299.96	130.2	99.2	0	0	0
2011	3.2	0	0	0.4	22.5	109.7	317.9	306.8	74.53	38.2	2.1	0
2012	8	63.5	9.07	5.02	23.1	156.07	193.66	245.12	156.2	20	41.6	0
2013	0	0	4.8	0	28.9	148.5	321.9	120.6	204.8	71.9	19.5	41.4
2014	4.9	0	0	20.3	92	144.4	194.2	148.9	114.7	0	0	0
2015	29.86	36.11	113.69	29.8	87.52	76.82	88.54	94.13	75.18	33.88	33.88	33.88
2016	6.4	0	11.5	0	68.2	114.1	198.6	210.4	58.6	9.5	35.7	0
2017	0	0	16.5	2.5	4.3	142.3	194.8	223.8	82.8	27.9	0	0

Anexo 5. Datos completados de precipitación de la estación El Colegio.

DATOS COMPLETOS DE PRECIPITACIÓN – ESTACIÓN EL COLEGIO												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	0.14	0.14	2.75	15	42.17	115.99	111.52	146.29	164.56	56.31	3.29	11.28
1963	0.14	5.24	27.46	6.88	46.04	170.76	194.35	176.59	121.06	82.06	5.71	11.58
1964	38.64	8.33	9.3	7.46	46.32	175.8	122.58	119.22	138.56	44.56	33.17	17.79
1965	17.77	44.21	2.97	12.3	29.11	131.86	152.55	211.2	136.24	56.67	7.15	2.74
1966	18.97	11.92	19.38	39.62	81.35	145.13	211.48	200.29	100.07	93.13	0.14	3.54
1967	76.48	1.78	18.97	30.52	48.94	186.47	201.71	208.68	190.47	124.37	19.82	3.9
1968	12.6	35.7	12.59	18.52	31.18	108.68	178.5	130.92	122.31	67.11	10.06	15.12
1969	8.48	5.4	2.4	6.83	22.47	71.95	143.18	197.31	194.45	27.55	2.18	5.81
1970	0.14	14.77	0.14	0.14	22.03	139.89	179.52	159.41	189.18	12.15	13.19	0.14
1971	7.12	3.34	16.44	10.3	62.65	152.76	201.72	165	218.93	66.74	6.11	8.39
1972	3.93	6.4	11.39	10.2	44.28	168.96	246.65	183.94	130.14	39.66	14.83	1.93
1973	1.98	0.52	0.14	12.81	59.61	86.48	216.36	203.02	149	88.27	1.59	10.15
1974	5.69	8.38	15.49	17.1	21.78	147.47	188.78	162.55	118.03	20.99	10.28	20.2
1975	32.23	7.46	0.14	0.14	57.42	147.2	155.92	197.9	96.92	26.91	0.14	0.14
1976	2.34	2.91	29.76	28.68	19.11	105.51	261.41	188.09	153.53	190.14	33.6	29.87
1977	10.29	8.54	0.14	17.29	58.55	102.55	169.21	132.47	153.61	36.78	20.31	16.23
1978	19.13	8.79	16.16	1.68	28.69	93.89	179.91	178.94	164.46	109.59	8.59	5.08
1979	0.91	32.34	0.14	0.14	11.43	84.42	144.17	150.01	114.34	0.56	3.02	29.74
1980	97.78	7.29	0.14	24.77	29.73	69.32	130.89	197.12	188.17	34.92	15.66	8.82
1981	63.84	24.57	4.88	12.62	37.96	123.67	139.61	159.33	96.4	77.94	11.37	11.57
1982	0.14	8.26	1.95	14.94	30.83	46.17	152.31	75.53	60.17	28.8	5.86	18.49
1983	24.79	5.85	10.56	0.18	48.68	64.12	206.89	175.48	117.49	28.86	24.36	4.6
1984	22.78	6.61	1.39	4.62	32.3	106.24	222.51	168.63	128.47	36.49	7.67	9.21
1985	11.25	2.64	19.03	22.43	39.55	198.87	187.83	163.49	85.52	50.19	15.39	8.89
1986	93.5	2.11	4.87	17.73	54.31	139.24	145.33	93.5	98	76	2	7
1987	0	0	3	12.5	25.5	61.5	202	162	78.35	12.81	44	0
1988	1.8	0	0	1	0	232.2	189.5	220.8	144.2	73	2.8	0
1989	0	0	0	0	25.1	101.6	104	191.7	152.5	48.3	3.2	27
1990	35.3	9.2	4	16.2	54.4	141.7	181.2	117.4	96.9	112	10.6	5.2

1991	7.7	13	0	1.6	14.2	97	263.1	138.1	196.6	101	6.8	0.6
1992	121.7	17.1	11.3	22.6	81.9	27	194.2	159.8	198	75.6	12.4	0.4
1993	6.8	0.7	0.9	7.9	5	179.6	175.9	180.8	161	14.1	3.3	0
1994	4.6	11.2	1.1	9.1	39.4	196	79.7	128.4	132	64.5	0	0.7
1995	2	29.9	9.2	31.9	75	125.8	117.2	236.7	203.8	3.6	32.9	37.6
1996	0	0	0	10.9	29.5	136.2	111.1	87.3	153.3	23.3	3	0
1997	1.8	0	49.1	43.6	30.3	145.6	147	67	54.2	31.7	14.9	0.2
1998	4.83	0	0	0.14	3.62	111.62	191.06	242.54	268.72	28	2.8	0
1999	0	0	0	2.6	32.2	197.3	186.7	200.1	58.6	29.2	0.4	10.3
2000	0	0	0	1.5	41.2	232.4	111.7	72.8	41.5	36.8	6.6	6.2
2001	3.1	6.3	9.2	38.8	99.7	153.7	144.5	189.7	140.2	63.4	0	1.7
2002	25.3	24.9	6.6	18.6	5.4	186.3	294.5	135.7	175.2	40	55	0
2003	5	0	2	36.1	41.5	137.5	285.8	191.6	223.2	60.8	26.3	0
2004	26	0	8.3	0	70	218	171.8	163	162.8	66.3	1.3	3.6
2005	31.6	13.9	14.8	0	10	60	195.3	219.8	73.4	73.5	0.6	0
2006	19.8	0	3.7	11.2	90.7	75.8	116.7	141.8	187.2	142.4	21.7	1
2007	10.8	7.7	23	9.6	23.7	119.6	138.9	191.6	115.1	10.6	20.23	0.6
2008	0.49	5.48	0.06	27.59	31.86	114.43	243.87	188.34	83.6	28.9	0.2	0.06
2009	21.31	19.13	0.66	2.2	48.6	103.4	67.9	73.6	228.8	132.1	0	2.3
2010	65.7	182.2	0.2	3.4	23.6	86.6	315.6	154.1	72.2	2.7	0	0
2011	2.6	0	0	6.7	9.5	80.2	296.5	162.6	64.5	36.6	11.6	4.8
2012	11.8	69.7	7.7	0	16.4	114.1	210.3	209.9	92.8	17.8	32.3	0.7
2013	11.6	0	10.41	2.29	29.61	98.81	190.3	111.8	136.2	68.9	17.4	23.4
2014	0	2.6	2.4	14.5	78.9	93.6	113.9	216.7	60.2	123.8	3.9	2.8
2015	7.5	20.3	155.6	36.2	75	112.2	144.6	115.1	71.9	33.2	20.3	35.3
2016	3.9	2.4	8.8	1.4	76.9	81.5	114.5	111.4	61.6	19.6	26.4	3.7
2017	0	0	17.2	1.5	9	132.6	148.2	137.8	101.6	0	0	0.2
2018	4.5	30.4	0	18.9	44.8	213.4	116.2	123	154.1	121.3	71.8	18.1
2019	16.4	0.5	0	0	24.1	111.8	61.5	147.9	132.9	55.7	12.8	7.9

Anexo 6. Datos completados de precipitación de la estación Álvaro Obregón.

DATOS COMPLETOS DE PRECIPITACIÓN – ESTACIÓN ÁLVARO OBREGÓN												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	0.01	0.01	1.4	10.24	36.4	112.29	112.89	119.14	130.68	45.14	0.97	8.54
1963	0.01	2.94	26.55	7.26	38.91	156.71	179.68	155.94	100.92	75	6.73	10.37
1964	34.64	9.07	8.88	1.86	33.46	151.32	121.36	110.81	118.18	40.74	31.66	17.51
1965	10.53	38.39	2.76	12	37.14	113.68	137.34	180.8	104.97	48.54	9.85	1.93
1966	11.42	7.28	17.13	34.5	63.19	100.5	186.63	188.65	88.34	68.6	0	1
1967	48.8	1.68	9	28.1	35.1	163.9	187.6	197.8	185.6	104.4	5	0
1968	10.9	29.61	7.34	17.4	36.09	149.2	3	126	94	91	4	13
1969	2	0	0	0	48	96.6	131	210.7	213.9	36.2	0	2
1970	0	11.4	0	0	8.3	115.4	147.8	145.8	233.6	8.5	8.6	0
1971	1.8	0	9	3.9	65.6	126.5	181.5	165.8	249.3	72.1	3.2	3.6
1972	2.1	11	14.7	4.4	68.8	179.3	300.7	163.7	185.4	33.4	10.3	0
1973	0	0	0	16.5	46.7	96	246.6	243.4	130.9	80.4	0	2.1
1974	0	6.3	4.5	20.5	15	126.8	165.2	158.5	110	23.7	11.6	0
1975	13.2	8.2	0	0	68.2	108.4	136.2	220.6	136.1	43.1	0	0
1976	12.2	4.6	65.3	27.5	0	82.4	240.3	206.9	99.7	201.6	40.2	28.2
1977	10.3	4.4	0	19.1	41.1	118.8	153.4	106.8	135.6	33.3	4.7	5.4
1978	19	11.7	0	0	26.5	75	97.5	150.8	140.2	65.8	15.6	2.2
1979	0	24.9	0	0	6.2	63.5	95.3	160	129	0	0	42.1
1980	94.6	2.6	0	35.8	58.5	27.6	75.7	145.1	163.4	32.6	8.7	1.4
1981	61	20.6	5	11.1	26.4	186	110.3	133.2	82.9	86.6	5.5	11.2
1982	0	9.5	0	18.8	54.9	45.4	140.1	49.8	41.2	19.5	3.2	14.6
1983	18.8	1	10.2	0	55	36.2	189.8	152.6	108.7	21.7	23.5	0
1984	24	2.8	4.1	1.4	39	63.8	190.5	150.6	123.6	45.2	13.1	2.5
1985	0	0	14.8	12	33.6	147.5	192.6	135.1	76	50.7	14.9	12
1986	0	0	0	10.4	49	73.4	101.5	91.4	115.4	54.5	8.6	18.8
1987	0	1	1.5	13.7	11.1	60.1	193	156.9	104.2	25.9	38.8	16.4
1988	1.5	0	39.2	3.5	1.2	144.3	189.7	179.2	117.6	26	8.5	0
1989	0	0	0	0	0	144.8	60.8	213.3	96.3	26.2	8.8	26.1
1990	7.2	20.2	6.6	2.4	42.6	124	165.7	132.9	120.3	91.4	0	1.3

1991	2.1	9.9	0	0	23	124.2	219.1	113.1	112.6	60.3	11.5	0
1992	109	11.7	4.2	2	23.8	27.5	125.1	133.4	207.1	47.5	17.5	0
1993	4	3	0	0	2	174	173	163	142.4	19.53	10.02	0.19
1994	14.15	11.01	0	12	28	132	73.22	118.59	85.3	26	0	0
1995	16	25	7	50	30	61.6	129.4	110	160.11	3	30	34.88
1996	0	0	4	0	2.2	127.3	116	123	157	39	2	0
1997	1	0	41	21.4	56	117.43	100	82.4	17.7	18.4	18	0
1998	1	0	0	0	1	116.5	169	207.6	191	46.9	0	0
1999	0	0	0	8.5	63	105	188.1	190.9	35.3	8.8	3.5	4
2000	0	0	0	0	24.9	148.5	95.2	20	48.8	33.7	50.8	12
2001	0	0	7	56.8	66.9	160.7	143.7	139.6	118.5	38.1	0	3.2
2002	20.9	22.4	2.2	35.8	19.3	189.4	187.9	139.5	163.7	41.4	0	0
2003	8.2	0.6	1.6	42.8	16.5	115.3	189.5	75.5	156.8	37.6	16.6	0
2004	27.5	0	0	8.5	47.1	223.5	175.3	138.2	101.7	58.2	22.1	0
2005	6	7.2	11.3	1.9	7	86.1	139	154.5	139.8	51.2	0	0.1
2006	23.8	0	16.5	3.9	80.9	58.1	96.4	85.4	55.5	74	1.2	0.1
2007	6	10	5.1	4.4	35.4	125.8	150.1	133.8	74.9	11.7	9.3	0
2008	0.6	0	0	4.4	35.1	110.1	185	139	48.8	30.9	0	0
2009	7.8	0	0	4.4	35.1	111.9	185	139	48.8	30.9	0	0
2010	38.5	120.5	0.06	24	14.4	94.25	232.3	92	78.19	3.37	0	0
2011	2.8	0	0	0	5.4	111.1	266.8	95	67.1	38.7	10.4	0
2012	0.6	65.8	6.8	4	14.5	55.59	259.2	172.2	100.3	4.6	21.1	1
2013	20.3	0	18.4	0.1	36.9	80.9	215.53	124.6	99.8	45.7	33.9	16.6
2014	1.6	1.2	6.1	11.3	72.98	122.8	137.7	103.6	113.3	92.6	0.6	1.3
2015	17.54	33.04	114.77	28.01	109.3	54.1	92.71	72.16	49.88	16.43	16.43	16.43
2016	1	4	13	3.5	12.2	62.9	63.32	152.4	113	76.5	18	1
2017	0	0	40	5	16	113.5	159.5	166	94.01	12	0	0
2018	3.5	39.5	0	28	28	224	116.5	195	138.5	69	65	11
2019	21	0	0	0	33	142	106	152.5	84	45.9	11.0	6.6

Anexo 7. Datos completados de precipitación de la estación Jesús del Monte.

DATOS COMPLETOS DE PRECIPITACIÓN – ESTACIÓN JESÚS DEL MONTE												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	0	0	0	8.3	48.4	132.9	154.9	215.6	352.2	101.3	0	5.3
1963	0	6.4	22.8	14.5	30.2	163.8	192.9	213.1	151.4	95.3	21.3	23.5
1964	30.8	0	5.1	0	37.6	200.1	171.7	166	181	58.2	36	25.7
1965	4.1	27.6	0	31.4	26.2	174.7	209.7	360.6	238.1	67.1	15	0
1966	12.7	3.1	11.2	25.3	72.9	202.4	147.1	153.5	165.5	95.1	0	0
1967	81.9	0	0	7.1	49.3	163.3	163.9	262.4	236	110.3	4.1	0
1968	0	15.4	6.2	3.1	27.7	131.5	177.5	173.6	204.6	66.4	3.1	3.1
1969	3.1	0	0	0	0	26.9	153.8	164.6	203.3	38.9	0	3.1
1970	0	8.3	0	0	9.3	58.1	172.6	146.2	221.2	11.3	2.1	0
1971	0	0	19.7	8.2	62.2	172.1	211.4	191.3	156	77.8	3.1	3.1
1972	0	0	13.4	7.2	7.2	0	213.2	182.5	85.7	19.5	6.2	0
1973	0	0	0	10.2	19.4	122.7	172.4	187.7	92.7	113.1	0	3.1
1974	3.1	0	18.8	32.9	7.81	205.9	128.7	211.4	134.3	5	8.2	3.2
1975	37.1	23.5	0	0	55	252.5	123.1	205.4	149.63	26.5	0	0
1976	0	0	3.1	6.2	24.6	117.9	289.9	204	253.5	193.1	82.8	38.2
1977	34.8	13.5	0	31.2	76.5	48.5	283.7	167.5	264.4	72.8	3.1	3.1
1978	20.5	13.3	4.1	8.2	40.1	188	218.8	314.5	186.2	105.3	0	16.4
1979	0	31.5	0	0	25.6	111.8	180.5	180.2	132.4	0	0	35.1
1980	109.1	8.2	0	37.61	41.6	130.5	207.8	285.4	198.2	49.5	32.7	0
1981	57.4	28.7	0	54.2	140.1	260.2	261.6	246.1	78.5	51.2	20.5	36.3
1982	0	13.6	0	8.2	54.2	81.4	195.5	138.2	117	32.6	11.6	23
1983	40.3	8.7	20.5	0	71.1	38.2	288.6	274	169.7	58.6	25	0
1984	11.6	20.5	0	0	39.5	228.1	5.1	190.7	139.6	66.8	18.2	0
1985	0	0	31.8	69.5	195	195	236.2	356.6	120.8	64.3	27.2	6.4
1986	3.1	0	0	8.2	36.1	119.3	237.1	187.2	162	93.6	15.5	20.5
1987	0	3.1	3.1	72.5	0	150.4	216.4	222.7	61.3	0	10.3	6.09
1988	0	8.2	27.2	0	0	176.5	381.1	284.9	131.6	62.3	21.8	4.5
1989	3.1	14.5	0	3.1	5.1	51.1	87.9	176.9	219.6	39.8	0	25.6
1990	25.47	19.44	25.6	57.7	84.76	198.7	312.2	328.9	166.7	132.8	0	0

1991	0	0	0	0	58	197.8	240.8	336.8	282.5	128	18.7	11.3
1992	183.4	25.6	31	24.2	184.5	55.1	252.1	302.5	280.7	126.7	51.8	0
1993	31	20.5	8.5	5.1	0	239.7	334.3	266.5	164	25.5	22.2	0
1994	34.1	28.5	0	0	29.2	296.3	106.2	250.3	237.6	87.5	18.5	5
1995	0	8.9	8.5	23.3	118.6	138.2	316.3	296.3	136.1	45.4	96.8	30.1
1996	0	0	0	0	92	143	171.4	184.6	246.4	141.6	3.1	0
1997	6.6	0	75.6	100.9	129.8	202.2	346.7	137.2	118.6	26.1	58.1	0
1998	0	0	0	0	0	335.8	426.2	273	256.63	180.6	21	0
1999	0	0	0	0	65.1	186.4	310.9	160.4	164.1	113.4	3.1	5.1
2000	0	0	0	0	46.9	309.5	84.9	193.8	102.5	93.9	33.8	25.8
2001	0	22.1	25.6	24.1	59.2	348.7	250.4	237.4	269	60.8	0	13.6
2002	21.1	0	15	54.3	152.1	197.8	219.7	233.9	170	82.5	93.8	25
2003	18.7	0	3.1	28.6	38.6	207	222	258.9	285.1	141.4	68.7	7
2004	47.2	0	7.7	15.2	29.5	197.6	102.3	218.8	82.7	183.9	0	0
2005	2.4	4.8	17	0	10.2	28.8	213.91	333.9	185.9	87.9	15.4	0.4
2006	35.1	0	0	0	80.7	83.4	230.1	282.6	211	143	3.5	1.2
2007	10.7	33.8	8.8	12.5	38.7	206.8	176.7	305.2	211.6	46.8	29.3	0.5
2008	0	0	0	75.5	4	243.9	298.6	187.8	221.4	52	54.1	0.2
2009	17.2	13	0	14	43.75	126.08	172.7	192.75	190.5	58	0	3
2010	59.7	193.4	0	0	7.6	166.06	275.2	356.2	194.85	0	0	3
2011	2.6	0	8.4	2.9	0	151.85	261.6	110.7	85.57	31.25	1.2	0
2012	9.27	71.78	15.17	7.83	25.65	130.12	205.74	205.46	140.41	16.37	75.6	0.79
2013	21.16	0	9.8	0	24.1	137.3	148.3	162.1	233	76.7	45.3	26.1
2014	11.6	0	0	0	107.1	113	119.6	106.1	140.9	112.12	0	4
2015	1	22.6	198.5	11.6	173.8	117.6	138.5	128.3	74.9	0	0	0
2016	7.6	1.7	16.5	0	110.8	140.2	158.6	158.2	122.2	23	107.8	12.4
2017	8.6	0.5	38.4	2.4	28.7	240.3	205.3	216.9	165.5	28.5	0	0
2018	16.6	11.4	0	23.1	78.9	176.7	112.4	229.1	127.99	204.4	81	7.6
2019	0	0	0	0	13.6	113.8	167.3	117.3	80.7	74.1	22.3	8.2

Anexo 8. Datos completados de precipitación de la estación Huingo.

DATOS COMPLETOS DE PRECIPITACIÓN – ESTACIÓN HUINGO												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	0	0	0	3.6	39.3	177.3	117.7	130.1	193	80.8	0	7
1963	0	0	24.3	8	37.2	120.7	215.1	190.6	112	34.3	2	10.3
1964	49.1	10.8	8.8	0	44.8	166.6	145.8	114.9	160.9	24.5	17.4	16.9
1965	45	39.4	0	6.8	11.8	148.9	169.2	247.4	108.7	67.4	14	0
1966	18.1	10.3	20.3	31.4	42.9	106.8	268.7	213.8	109.1	86.4	0	0
1967	62.1	0	24.9	30.6	61.5	249.3	189.6	233.4	155.5	132.7	18.3	2.5
1968	44.5	44.5	7.9	21	11.5	80.9	228.5	156.8	132.4	54	5.4	5.8
1969	2.4	6.6	3	0	4.4	59.9	153.5	223.3	129.3	11.9	0	1.9
1970	0	12.4	0	0	61.2	114.3	214.7	175.4	153.6	0	2.5	0
1971	0.4	0	18.6	17.9	61.1	142.7	186	156.8	270.6	49.5	2.6	1.3
1972	2.3	8.5	12.3	5	15.5	161.6	190	137	83	48.2	0	0
1973	0	0	0	3.4	37.5	64.9	206.2	210.3	169.8	57.4	2	0
1974	0	0	1.7	10.7	18	103	120.9	156.8	107.3	4.3	6.8	0
1975	37.9	0	0	0	88.1	120.7	136.9	171.4	42.3	5.1	0	0
1976	0.4	0	0	17.4	16.4	41.6	199.3	185.4	146.7	123.7	25.7	29.3
1977	3.6	7.6	0	15.1	83.9	137.4	132.5	126.1	139.7	17	0	10.3
1978	7	9.4	18.6	0	24.9	77.3	194	149.9	194.4	100.8	10	4.3
1979	4.6	17.3	0	0	10	36.9	131.5	86.4	108.1	0	0	27
1980	91.9	2	0	0	27	60.6	109	211	212.4	57.4	14.9	0.3
1981	72.1	15	4.4	5.2	22.6	76.9	173	145.1	97.8	83.7	0.4	12.4
1982	0	3.4	0.4	9.2	9.3	40.9	158.9	83.4	53.4	24.5	2.5	20.2
1983	18.8	2.8	11.5	0	13.7	85.9	172.6	171.8	153.9	13.7	19.8	0
1984	5.9	4.6	0	0	17	59.1	239	167	154.4	18.7	4.8	2
1985	0	0	2	14	27.1	117.8	176.3	230.8	62.9	66.7	4.5	5.5
1986	0	0	0	36.3	31	167	180.2	104	146.2	34.7	11.5	0
1987	5.7	5.4	0.6	13.8	14.5	90	332.5	164	34.5	0	36.5	0
1988	1.5	1	27.5	3.1	0	120.7	223.5	214	90.7	18.5	3	0
1989	0	3.5	0	0	3	138.5	100.2	176.7	93.6	31.3	16.5	25.2
1990	2	13.6	25	11.2	49.5	163.7	147.2	229	134.7	105.9	0	0

1991	27.5	9	0	4.5	21	215.5	301	122	117.8	66	3.5	6.5
1992	116.4	13.5	4	14	46	63.1	170	205.6	200.5	67.2	67	0
1993	6.5	1.6	0	1	0	169.5	225	259.5	154	57	14.5	0
1994	4.5	0	0	5.7	16.2	213.2	128.7	183.6	146.8	53.2	0	5.5
1995	13.5	11.1	9.39	13.2	62.3	166.8	176.3	213.7	224.7	13.2	15.3	32.5
1996	0	2	0	3.5	7.2	109.5	169.5	180.9	132	26	0	0
1997	0	0	47	64.8	60.2	130.9	170.3	127	70.8	39	11.6	0.6
1998	0	0	0.4	0	10	81.5	252.5	292.7	346.7	75	9.5	0
1999	0	0	0	0	29.5	130.8	184.3	272.9	34	12	0	8
2000	0	0	0	0	83.5	184.2	96.8	134.5	66	42	9	13.5
2001	4	0	12	33.7	42.5	187.4	173.9	132.6	86.8	33.3	0	1
2002	22.1	22.4	0	6	30.5	89.1	210.6	180.9	182.6	66.5	29.1	0.3
2003	11.8	0	8.7	2	17.8	140.1	300.5	189	284.5	55	13.2	18.8
2004	74.6	0	6	0	31.2	209	211.7	218.8	175.1	72.7	0	4.3
2005	74.6	7.6	15.7	0	0	40.3	174.6	313.7	40.5	50.2	0	0
2006	29.9	0.3	3.7	14.6	126	87.8	163.1	187.2	109.5	88.1	5.5	0.5
2007	10.7	16	0.5	4.8	21.4	129.9	197.8	196.7	109.5	88.1	5.5	0.5
2008	0	0	0	2.5	22.4	98.2	287.6	235.5	84.4	24.4	0	0
2009	7.3	0.2	0	2	20.1	126.9	74.3	151.6	250.6	66	0	8.7
2010	43.3	119.6	0	2	19.3	77.2	305	147.3	117.5	0	0	0
2011	2.3	0	0	0	10.4	83.1	185	183.9	83.1	20.7	1.3	0
2012	10.2	44.5	0	2	64.4	119.1	100.1	197.6	82.1	8	27.3	0
2013	10.8	0.12	8.85	2.52	23.81	102.47	197.15	145	156.77	71.15	23.38	19.96
2014	2.51	7.41	3.09	15.54	88.17	113.75	141.8	234.9	85.3	113.6	1.5	1.1
2015	0	21	173	10.9	74.7	96.7	174.2	104.8	112.6	23.6	2	11.2

Anexo 9. Datos completados de temperatura media de la estación Cuitzeo.

DATOS COMPLETOS DE TEMPERATURA MEDIA – ESTACIÓN CUITZEO												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	14.11	15.75	18.13	18.55	22.04	21.18	18.99	19	17.8	17.77	14.54	14.2
1963	14.23	13.44	17.85	21.55	20.95	19.94	18.33	18.46	18.12	16.48	15.08	13.99
1964	13.64	15.95	17.16	20.84	20.97	19.34	18.61	18.6	17.83	15.68	15.28	12.91
1965	12.6	13.87	16.14	18.78	20.4	19.86	18.06	16.12	17.68	16.23	16.04	14.46
1966	12.19	14.54	14.78	17.34	20.27	17.85	17.2	17.04	16.99	16.26	13.89	13.54
1967	12.21	14.22	15.99	19.02	19.67	18.13	17.72	17.42	16.34	16.47	15.96	14.42
1968	13.72	13.22	15.25	17.96	19.24	19.52	17.07	17.02	16.8	17.46	15.69	14.42
1969	14.55	15.05	17.46	19.47	21.43	22.02	17.59	17.42	17.37	17.8	16.02	14.55
1970	14.07	14.5	16.76	21.78	21.92	19.42	18.11	18.5	18.29	18.29	13.95	14.53
1971	14.7	16.01	20.35	21.48	22.35	19.43	17.6	18.02	18.15	18.26	15.9	15.92
1972	15.11	14.47	20.29	22.42	23.58	17.56	17.97	18.49	19.49	18.59	18.46	15.72
1973	15.29	19.01	21.76	21.67	22.39	20.75	18.92	18.69	19.22	18.18	17.35	14
1974	16.13	18.4	19.68	21.15	23.06	19.11	17.61	17.97	17.08	17.97	16.58	16.73
1975	14.13	16.98	20.64	22.73	21.74	19.62	18.56	18.4	17.06	18.29	17.56	15.31
1976	14.58	18.59	20.71	21.81	22.33	21.79	18.3	19.16	19.7	18.51	16.21	17.71
1977	17.2	18.79	21.79	21.29	23.38	21.83	20.73	20.07	19.65	19.35	18.4	16.45
1978	17.66	17.34	20.36	24.18	23.48	20.69	18.46	18.38	17.52	17.5	19.42	18.49
1979	16.98	19.13	21.22	24.05	22.86	20.23	20.15	18.66	18.17	18.94	17.76	16.8
1980	14.51	17.26	19.78	20.61	23.74	22.47	20.84	19.37	19.39	19.1	17.97	15.7
1981	12.88	15.93	19.23	21.57	23.24	20.46	18.97	18.63	17.1	18.7	16.83	15.84
1982	16.56	17.47	21.03	22.88	22.85	23.2	19.8	19.61	19.43	17.43	15.34	12.05
1983	12.59	12.53	15.23	19.08	21.07	21.06	18.47	17.85	18.12	16.92	16.24	13.13
1984	13.09	13.81	19.05	20.23	20.15	19.67	17.66	18.34	16.8	18.36	15.49	13.66
1985	13.93	15.34	17.84	19.04	20.33	20.29	18.51	18.74	18.81	17.53	15.52	14.28
1986	12.92	15.77	16.53	19.39	20.61	18.89	19.42	19.81	19.74	19.22	18.89	17
1987	15.83	15.93	18.34	20.11	21.27	21.37	19.5	19.78	20.5	16.93	15.67	15.53
1988	13.89	16.87	17.01	19.47	22.39	21.86	20.34	20.12	19.44	18.54	18.28	16.53
1989	16.85	16.97	18.11	20.35	21.93	22.27	19.63	19.81	18.99	17.53	18.33	14.53
1990	13.92	14.66	16.19	19.17	21.04	20.31	20.77	19.23	17.8	17.98	17.29	15.35

1991	13.1	13.68	17.8	20.87	22.81	21.38	19.4	19.71	18.73	17.9	16.47	15.69
1992	14.63	15.45	19.16	19.15	19.9	21.08	20.27	19.53	19.38	17.68	16.83	16.32
1993	16.11	16.89	18.82	20.57	21.97	22.45	20.21	20.02	19.7	19.55	18.23	16.15
1994	16	18.27	20.34	20.98	22.47	20.55	19.94	19.32	18.67	19.03	18.42	17.37
1995	15.81	17.29	19	21.08	22.96	21.7	19.39	19.02	19.32	17.16	17.73	15.82
1996	14.84	16.71	17.56	19.51	23.03	20.9	19.32	19.23	20.2	18.61	17.32	16.61
1997	15.06	16.32	16.74	17.37	19	17.48	18.18	18.21	18.32	15.94	14.97	11.9
1998	11.98	12.44	22.06	21.76	23.98	23.6	21.13	20.03	20.68	19.98	19.58	16.89
1999	16.08	18.21	20.4	22.8	23.47	21.67	19.53	19.9	20.33	18.44	16.67	14.98
2000	16.25	17.83	19.27	21.09	22.12	20.5	20.01	20.02	20.63	19.9	18.42	14.49
2001	15.35	17.37	18.14	20.97	20.6	20.2	19.92	20.33	19.82	18.77	16.52	16.56
2002	14.38	16.58	18.82	21.17	22.7	21.78	19.67	18.3	19.18	19.16	15.8	15.72
2003	15.16	16.93	18.37	20.57	22.27	22.03	19.52	19.52	20	19.02	18.75	14.61
2004	15.32	16.61	16.89	19.08	20.87	20.2	20.13	20.15	19.43	19.56	18	15.69
2005	16	17.73	18.98	21.83	22.31	21.62	21	20.52	20.3	20.6	17.43	15.56
2006	15.59	17.94	18.46	20.74	20.98	20.16	20.04	18.66	18.16	18.05	15.94	15.33
2007	15.62	16.81	18.62	19.58	20.88	19.73	19.73	18.49	18.43	17.85	16.03	15.13
2008	14.29	17.16	17.34	20.53	21.41	20.04	19.82	19.67	19.58	18.13	15.52	15.55
2009	15.35	17.51	19	19.97	22.06	22.04	20.76	20.39	19.78	19.38	15.64	15.12
2010	14.79	15.42	17.54	19.55	21.84	21.79	20.17	20.23	19.68	17.95	15.01	15.36
2011	14.92	17.29	19.15	20.65	22.45	22.65	20.14	20.37	19.17	18.46	16.57	14.77
2012	13.92	15.38	16.98	17.96	21.83	22.5	20.75	20.1	19.02	15.47	13.32	12.36
2013	12.41	13.01	13.71	17.95	21.27	21.93	17.98	17.6	15.83	15.25	17.95	15.51
2014	15.34	16.07	17.47	19.56	19.3	20.46	17.43	18.04	17.99	18.31	15.8	14.66
2015	16.67	17.42	18.66	21.52	22.56	22.44	21.81	21.91	21.88	21.09	20.06	17.41
2016	15.91	17.41	18.92	21.35	24.15	22.97	22.29	21.62	20.95	19.23	17.22	16.5
2017	15.14	16.75	18.05	20.16	22.87	23.58	22.38	22.65	21.62	20.46	18	15.8
2018	16.12	18.45	21.18	22.34	23.81	23.07	22.62	21.95	21.56	20.91	17.73	16
2019	16.37	18.66	20.89	21.47	24.62	23.92	22.05	22.38	21.57	20.66	18.25	16.43

Anexo 10. Datos completados de temperatura media de la estación Morelia.

DATOS COMPLETOS DE TEMPERATURA MEDIA – ESTACIÓN MORELIA												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	12.51	14.62	17.21	19.02	21.61	22.41	19.36	19.74	19.2	18.27	15.27	13.31
1963	15.25	13.23	18.88	22.78	22.62	21.47	19.45	19.74	19.61	17.23	15.91	13.7
1964	13.3	17.55	17.74	20.42	21.85	20.78	20.2	19.94	20.36	16.39	14.46	12.72
1965	11.27	12.71	17.98	21.62	22.7	21.06	19.2	18.32	19.05	16.16	15.88	14.97
1966	12.99	14.22	15.85	18.22	20.65	20.11	19.81	19.35	18.42	16.94	13.8	12.83
1967	12.36	14.61	17.09	19.68	20.59	20.19	18.89	18.85	18.05	15.62	14.63	13.69
1968	12.57	12.94	15.15	19.31	21.06	19.54	18.6	18.75	18.33	17.28	15.1	13.81
1969	14.06	15.86	17.96	19.46	21.29	22.24	19.21	18.86	18.77	16.74	15.63	13.6
1970	13.17	14.21	17.77	20.75	21.82	20.61	19.31	19.48	19.02	19.78	15.12	15.22
1971	15.69	15.72	19.33	19.55	22.01	20.91	19.98	19.27	19.97	19.37	16.32	15.4
1972	15.14	15.39	17.84	21.89	22.8	21.08	20.66	20.67	20.58	19.23	18.43	15.97
1973	15.08	17.33	19.6	20.56	22.81	21.64	20.52	20.15	20.37	19.1	16.1	14.12
1974	15.94	16.97	18.75	20.84	21.38	20.93	19.3	19.94	18.61	16.45	15.89	14.44
1975	13.47	15.89	19.33	22.53	21.72	20.39	19.44	20.1	18.88	18.64	16.64	13.75
1976	14.35	15.29	19.4	21.23	21.57	22.62	19.94	20.33	20.89	19.94	16.48	17.34
1977	15.92	16.98	20.03	20.33	21.77	21.77	20.6	21.03	20.83	19.6	17.38	15.86
1978	15.33	15.34	17.61	21.43	22.69	21.35	20.49	20.19	19.57	18.64	17.74	16.88
1979	15.69	16.23	19.05	21.68	22.2	21.73	21.24	20.31	19.16	17.22	15.53	14.97
1980	13.31	15.23	17.8	17.75	18.55	19.98	19.08	17.95	17.59	17.01	14.26	14.02
1981	12.22	14.71	17.24	20.2	20.47	19.59	16.42	18.26	17.01	16.95	15.34	13.75
1982	13.91	15.07	18.5	22.21	21.64	21.27	19.8	18.98	19.65	18.43	17.06	15
1983	14.45	14.96	15.97	19.17	23.08	20.89	19.77	19.19	18.08	16.85	16.39	15.63
1984	14.71	15.49	17.06	20.49	20.25	21.06	20.29	20	19.78	18.57	16.7	16.47
1985	12.93	15.23	18.81	19.93	22.08	22.39	18.88	19.5	18.93	18.55	16.88	16.47
1986	15.2	16.32	16.6	21.41	22.38	23.17	19.42	19.4	19.57	17.72	17.38	15.32
1987	14.82	15.18	17.88	19.3	20.94	21.32	19.82	20.33	20.89	18.46	16.91	16.57
1988	14.61	16.75	17.88	20.63	22.94	22.07	20.15	19.96	19.52	19.02	17.8	16.27
1989	15.93	16.77	17.98	20.34	21.98	22.43	20.71	20.16	19.02	19.26	18.55	15.34
1990	15.38	16.07	18.73	20.19	21.78	20.72	20.22	19.4	18.51	19.3	18.21	15.94

1991	15.84	17.3	20.38	21.9	22.81	22.01	19.1	20.26	18.23	16.04	13.92	14.38
1992	12.8	15.63	19.12	17.73	18.37	18.86	17.53	17.89	17.57	17.73	17.15	18.02
1993	17.77	17.55	18.08	19.23	19.39	18.52	17.06	18.97	18.56	18.69	19.02	18.35
1994	16.39	17.63	19.16	19.6	21.66	20.08	20.52	19.56	19.42	20.11	19.58	18.77
1995	17.98	18.61	20.69	21.59	23.35	22.42	20.87	20.73	19.43	18.7	18.3	15.8
1996	15.17	16.81	18.13	18.77	21.47	18.89	18.46	18.89	20.34	19.48	18.63	17.52
1997	15.9	17.56	20.15	20.43	21.62	23.03	21.38	21.53	21.43	19.56	18.97	16.13
1998	15.92	16.55	18.44	21.18	23.56	22.93	20.44	19.57	19.64	18.71	18.52	16.65
1999	14.93	17.46	18.63	21.32	22.21	21.27	19.28	19.56	19.44	18.15	15.52	15.02
2000	15.99	17.77	20.2	23.38	21.7	19.98	19.94	19.52	19.78	19.63	18.28	15.72
2001	16.02	18.1	18.43	21.34	21.03	20.08	19.32	19.98	19.82	18.51	16.5	16.19
2002	15.81	16.76	19.22	21.57	22.64	20.47	19.46	19.44	19.1	19.08	16.31	15.39
2003	19.37	16.89	18.96	21.01	23.13	20.42	19.72	19.22	20.01	18.6	18.15	14.37
2004	14.49	15.1	19.12	19.79	21.04	19.77	19.17	19.65	19.63	19.49	17.61	16.16
2005	16.02	18.28	17.88	21.61	21.81	22.67	20.27	19.59	19.67	18.94	17.34	15.94
2006	15.52	18.1	19.31	21.6	21.38	20.38	19.89	19.45	19.23	18.82	16.73	15.02
2007	15.75	16.86	19.1	19.88	21.69	20.63	19.78	19.48	18.96	18.18	16.92	17.02
2008	15.58	17.16	18.07	21.37	21.2	20.57	18.86	19.77	19.27	18.41	16.12	15.11
2009	16.14	17.32	19.07	20.62	21.76	21.23	20.23	20.4	19.69	19.9	16.39	15.9
2010	14.23	14.59	18.01	19.75	22.56	21.85	19.96	19.87	19.76	18.56	16.59	14.88
2011	15.41	17.32	19.3	21.81	23.31	21.63	19.23	20.15	18.98	18.15	17.19	16.4
2012	15.4	15.68	19	19.71	21.66	20.77	19.1	19.4	19.63	19.71	17.02	16.29
2013	15.5	18.09	17.34	20.9	21.31	21.43	19.55	19.4	19.31	19.4	17.84	16.69
2014	15.82	17.94	18.88	20.98	20.93	20.52	19.4	19.75	19.78	19.27	16.53	15.76
2015	15.96	16.76	17.28	20.41	20.54	20.43	19.91	20.14	20.21	19.55	19.25	16.98
2016	14.77	16.91	17.52	20.69	22.73	20.72	19.91	19.71	19.96	19.12	17.21	17.01
2017	15.66	16.97	18.27	20.15	22.62	21.82	19.41	20.46	19.84	18.87	17.55	15.78
2018	15.13	17.16	20.29	20.4	22.18	20.67	19.9	19.2	19.76	19.19	16.69	15.48
2019	16.16	18.14	19.93	20.3	22.55	21.34	19.79	20	21.25	19.18	17.68	16.31

Anexo 11. Datos completados de temperatura media de la estación Huandacareo.

DATOS COMPLETOS DE TEMPERATURA MEDIA – ESTACIÓN HUANDACAREO												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	13.7	15.52	18.05	18.38	21.33	20.33	17.81	17.81	17.61	17.38	13.68	14.6
1963	13.4	13.75	16.79	18.16	19.9	20.96	19.16	18.99	19.73	17.32	15.31	14.81
1964	15.58	17.4	18.78	21.07	21.79	20.77	19.37	18.96	19.89	16.89	16.43	15.44
1965	14.46	15.29	17.1	21.28	21.85	20.59	19.38	19.3	18.78	17.14	16.78	15.36
1966	15.27	16.07	17.19	18.86	21.18	20.27	19.7	19.71	19.09	18.27	14.81	14.57
1967	14.63	15.58	17.83	20.32	20.85	20.08	18.9	20.06	19.98	16.6	15.53	15.32
1968	15.17	15.25	16.36	20.4	21.36	19.59	19.76	19.94	19.6	19.01	15.81	15.25
1969	15.37	15.34	17.49	20.18	22.14	21.49	20.09	19.76	19.65	18.6	15.47	15.42
1970	15.21	15.38	18.64	20.85	21.28	20.95	20.11	19	18.77	18.42	15.05	15.32
1971	15.42	15.47	19.1	19.94	21.33	20.55	19.3	18.46	19.64	18.57	15.55	15.8
1972	14.65	15.34	18.33	20.65	21.11	21.56	19.98	19.74	19.53	18.53	18.04	15.31
1973	14.65	17.84	19.53	19.85	21.49	20.4	19.62	19	19.57	18.34	15.84	14.38
1974	15.38	16.91	17.72	20.45	20.14	20.43	18.5	18.75	18.19	17.45	15.69	15.98
1975	14.97	16.16	18.96	21.23	20.23	19.71	18.69	18.61	18.6	17.51	16.24	14.67
1976	14.56	16.43	18.21	19.82	20.03	20.29	18.88	19.4	19.52	18.74	15.53	16.37
1977	16.33	16.58	19.41	19.43	20.63	19.87	19.57	19.38	19.33	18.81	16.84	15.33
1978	16.05	16.19	17.96	20.49	21.37	20.22	19.73	19.41	18.91	17.71	18.16	16.78
1979	15.41	16.92	18.72	20.44	21.2	20.94	20.53	19.65	18.62	17.95	16.71	16.08
1980	15.08	16.43	19.15	19.42	20.73	20.6	19.26	19.4	19.35	19.08	16.27	15.34
1981	13.98	15.34	18.13	19.77	20.64	19.67	19.29	19.38	19.14	18.98	15.75	15.24
1982	15.21	16.29	19.68	21.13	21.04	21.43	19.72	19.46	19.07	17.33	16.7	14.53
1983	13.66	14.05	16.52	21.43	23.5	22.85	19.5	19.6	19.63	18.3	17.27	16.33
1984	14.98	15.94	19.48	19.83	20.93	20.18	18.81	18.69	18.02	18.56	16.2	15.45
1985	15.13	16.3	19.25	19.85	21.11	19.76	18.84	19.31	18.88	18.74	16.84	15.63
1986	14.39	16.53	16.89	21.37	21.74	20.18	19.05	19.23	19.7	19.04	18.82	17.02
1987	15.73	15.82	18.19	20	21.51	21.33	19.5	19.74	20.44	16.79	17.03	15.42
1988	13.93	16.99	16.79	19.45	21.96	21.41	19.09	19.1	18.8	18.58	17.62	16.11
1989	16.8	16.75	18.02	20.27	21.81	22.55	19.54	19.67	18.88	17.52	18.23	14.52
1990	13.93	14.79	16.27	19.23	21.13	20.3	20.72	21.56	20.8	20.49	19.66	17.77

1991	13.85	14.46	18.01	20.9	22.78	21.22	19.44	19.82	18.95	18.18	16.92	15.82
1992	15.15	15.56	19.35	19.63	20.4	21.56	20.69	20.17	19.96	18.2	17.23	16.95
1993	15.99	16.69	18.67	20.43	22.29	21.81	19.6	19.27	19.1	19.19	18.06	15.68
1994	15.04	17.76	18.78	19.41	21.28	19.29	19.9	18.92	19.08	18.94	17.16	17.46
1995	16.84	17.07	19.15	20.12	21.48	21.15	20.4	20.3	18.42	17.68	16.95	14.51
1996	13.89	15.61	16.88	18.66	20.96	20.34	19.28	19.13	19.66	18.77	17.71	15.93
1997	14.49	16.97	18.21	18.78	20.59	22.06	21.69	20.54	20.37	18.8	17.21	15.02
1998	13.76	15.47	18.24	20.26	21.95	21.46	20.1	18.81	19.01	18.1	16.18	15.73
1999	15.49	18.28	21.06	20.26	20.44	19.96	17.59	17.85	17.6	16	14.03	12.31
2000	13.35	15.2	17.31	18.98	20.14	18.05	17.89	17.79	17.65	17.44	16.72	13.2
2001	14	15.61	17.32	19.13	19.79	18.43	17.73	18.45	17.37	16.29	13.95	13.82
2002	12.95	14.2	17.95	19.95	20.9	19.68	18.1	18.42	17.75	17.45	13.42	14.02
2003	12.82	15.46	16.5	19.21	21.83	19.73	18.46	20.24	19.86	18.48	16.51	12.3
2004	12.62	13.76	17.31	18.02	19.52	16.62	17.84	17.52	16.7	16.66	13.92	12.56
2005	11.17	15.73	15.19	19.4	20.23	22.04	19.66	18.62	19.73	17.4	15.57	13.98
2006	13.81	15.96	17.84	21.03	20.76	20.33	19.4	18.42	19	17.48	14.51	14.5
2007	13.66	15.53	17.19	18.95	21.74	20.89	19.41	18.58	18.54	17.38	15.21	14.95
2008	13.54	15.88	17.25	20.63	21.34	21	18.19	18.66	17.37	16.27	14.04	13.91
2009	14.41	15.69	18.24	20.07	21.34	20.16	18.73	19.04	18.27	17.31	14.5	14.13
2010	14.38	15.91	17.09	18.36	21.43	19.38	18.69	18.26	18.53	16.02	15.32	16.27
2011	17.15	15.79	18.66	20.92	22.47	20.17	18.27	18.79	18.35	17	15.25	17.02
2012	14.84	13.5	16.71	19.13	20.76	19.47	17.95	18	18.57	18.95	17.9	15.82
2013	17.06	20.13	20.4	23.38	23.71	22.83	20.53	21	20.47	20.89	19.12	18.27
2014	18.92	22.09	24.45	23.95	21.89	22.18	20.48	21.15	20.6	18.33	14.81	14.58
2015	13.91	15.59	16.53	20.41	20.34	20.37	18.85	18.52	18.35	17.46	17.46	17.46
2016	15.74	18.55	22.08	24.01	25.59	22.51	21.87	21.19	22.8	21.98	18.68	19.29
2017	18.24	19.57	21.17	23.4	25.53	24.2	21.06	21.98	21.83	21.53	19.53	17.17

Anexo 12. Datos completados de temperatura media de la estación El Colegio.

DATOS COMPLETOS DE TEMPERATURA MEDIA – ESTACIÓN EL COLEGIO												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	13.67	15.69	17.2	17.94	21.83	20.32	17.54	17.45	17.3	16.28	13.85	13.92
1963	14.03	13.82	15.86	17.1	19.35	20.54	18.84	18.96	18.82	16.65	15.33	14.72
1964	15.12	16.69	17.44	21.11	21.14	19.71	19.08	19.16	19.12	16.1	15.63	15.27
1965	14.29	14.18	16.82	20.27	21.28	20.34	18.3	17.37	18.03	16.19	16	15.18
1966	14.22	15.43	15.95	17.63	21.11	20.06	19.1	18.81	17.91	17.15	14.07	14.02
1967	14.21	15.09	16.56	19.17	20.53	19.75	18.05	18.17	18.1	16.1	15.53	15.2
1968	14.17	14.18	15.85	19.2	20.68	20.19	18.49	18.55	18.13	17.7	15.67	15.43
1969	14.96	15.03	17.01	19.18	21.52	22.33	19.09	18.72	18.7	17.57	15.62	14.18
1970	14.18	14.63	16.79	20.6	21.88	20.83	19.18	19.15	18.61	18.23	14.74	15.49
1971	15.18	15.97	18.28	18.38	21.74	20.01	18.86	18	19.01	18.21	15.72	15.46
1972	14.96	15.13	16.97	20.49	22.42	20.22	19.44	19.18	19.57	18.24	17.52	15.41
1973	14.65	16.83	18.92	19.31	21.96	20.87	19.54	18.82	19.59	17.52	15.68	14.07
1974	15.45	16.52	17.47	19.41	20.4	19.66	18.13	18.75	17.44	16.52	15.63	15.66
1975	14.88	15.94	18.23	21.48	20.6	18.95	18.03	18.26	17.29	16.87	16.35	13.99
1976	14.01	15.89	17.63	18.55	19.29	19.95	18.34	18.11	18.27	17.58	16.25	16.37
1977	16.11	16.18	18.17	17.77	21.21	19.85	19.24	19.36	19.54	18.11	16.71	15.97
1978	15.83	16.19	17.34	19.68	22.17	20.5	19.58	19.32	18.6	17.48	17.12	16.28
1979	14.86	16.36	18.05	19.96	21.28	20.96	20.51	19.52	18.24	17.24	16.34	15.53
1980	15	15.65	18.25	19.23	21.5	21.41	20.39	19.9	19.52	18.82	15.97	15.07
1981	14.5	15.3	17.36	19.49	20.81	20.8	19.25	18.93	17.93	18.44	15.13	14.86
1982	15.17	16.15	18.65	21.56	21.81	21.66	20.21	19.72	19.76	17.4	15.83	14.36
1983	14.14	14.3	15.53	18.75	21.64	21.15	19.53	19.05	18.72	17.06	15.81	14.66
1984	15.09	15.16	17.29	19.55	19.89	20.37	18.87	19.4	17.94	18.18	14.9	15.12
1985	13.82	16	16.95	18.13	21.04	20.05	18.69	19.23	18.51	17.66	15.89	14.85
1986	19.13	15.06	15.66	19.88	21.23	20.13	19.64	19.13	19.62	18.27	17.63	15.65
1987	15.39	16	17.88	19.25	20.4	21.27	20.85	20.68	20.29	17.02	16.07	16.38
1988	13.9	14.63	17.8	19.48	21.82	21.71	20.51	20.31	19.33	16.22	18.1	15.55
1989	15.49	15.43	16.75	18.77	21.15	21.93	20.34	19.91	18.77	16.77	17.14	14.02
1990	15.04	15.78	17.58	19.57	21.64	20.89	19.72	19.81	18.97	18.32	16.11	14.82

1991	15.03	16.2	18.87	20.47	21.69	21.63	19.32	19.75	18.84	17.57	15.57	14.85
1992	13.4	14.78	17.72	17.38	18.78	21.5	20.42	19.89	19.35	17.19	16.23	15.27
1993	15.17	15.78	16.8	18.92	20.11	21.82	19.9	19.85	19.13	18.41	16.94	14.9
1994	14.54	16.75	18.29	19.24	21.78	20.85	20.11	19.73	19.3	19.01	17.66	16.88
1995	15.55	16.34	17.72	19.18	22.29	21.97	20.36	20.5	20.02	17.46	17.45	15.11
1996	13.88	16.2	16.47	18.29	22.23	21.02	20.82	20.31	20.87	18.84	16.24	15.4
1997	14.13	16.79	17.4	18.01	19.62	22.1	21.19	20.75	20.3	18.68	17.85	15.4
1998	13.76	14.21	17.06	20.07	22.73	22.37	20.73	20.45	20.37	15.03	17.93	14.55
1999	14.1	16.79	17.78	18.48	23.74	21.77	20.33	20.52	19.99	18.22	17.6	13.9
2000	14.1	16.05	17.55	19.76	21.6	20.88	20.38	19.94	20.07	18.97	17.66	13.99
2001	14.5	16.4	16.5	20.47	21.05	21.07	20.47	20.65	20.06	17.53	15.07	14.64
2002	14.08	15.38	18.31	20.71	22.62	21.66	20.57	20.48	20.02	19.74	15.86	15.06
2003	14.66	16.54	17.64	20.3	23.17	21.57	20.8	20.15	21.45	19.26	16.48	12.96
2004	13.15	13.5	15.45	15.17	18.31	18.49	17.04	17.26	17.23	17.33	14.57	12.81
2005	13.6	15.02	16.43	17.93	19.7	21.69	19.83	18.69	18.48	18.73	19.16	15.27
2006	13.89	16.61	17.74	20.84	18.27	17.43	17.35	16.08	16.06	16.29	15.8	14.9
2007	15.29	16.52	17.39	17.76	19.27	17.83	17.23	16.74	16.89	17.44	16.02	14.74
2008	14.72	16.13	16.78	19.48	20.25	19.15	18.65	18.59	19.79	18	15.25	13.85
2009	15.15	16.25	17.46	19.63	21.82	22.13	21.15	20.86	20.51	19.58	15.44	15.02
2010	13.51	14.19	17.13	18.53	21.34	22.09	20.77	20.55	20	17.57	14.88	12.44
2011	14.11	16.05	17.8	20.7	22.82	22.28	20.27	20.4	18.85	17.02	16.02	15.11
2012	14.31	15.42	17.48	18.35	21.31	21.13	19.92	19.94	19.57	18.63	15.87	14.77
2013	14.85	16.46	16.63	19.45	21.33	21.56	20.3	19.76	19.37	18.35	16.23	14.31
2014	13.04	15.49	17.11	18.82	19.64	20.38	19.21	18.97	19.1	16.99	15.09	13.91
2015	13.71	14.38	15.82	18.58	19.98	20.46	19.8	19.67	19.51	18.45	17.29	14.75
2016	12.76	14.7	16.28	18.2	21.22	20.02	19.71	19.58	18.69	17.14	15.05	14.56
2017	12.76	14.67	16.34	17.78	21.52	20.93	19.42	19.53	19.15	17.66	14.81	12.66
2018	12.25	15.5	17.75	18.35	20.57	19.95	19.41	19.04	19.1	18.32	14.84	12.79
2019	13.21	15.67	17.45	17.71	20.62	20.67	19.28	19.7	19.1	18.32	14.84	12.79

Anexo 13. Datos completados de temperatura media de la estación Álvaro Obregón.

DATOS COMPLETOS DE TEMPERATURA MEDIA – ESTACIÓN ÁLVARO OBREGÓN												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	13.79	15.7	17.57	18.17	22.62	20.06	18.17	18.11	17.7	15.81	14.27	12.47
1963	13.89	13.3	16.04	16.72	18.88	21.19	19.21	19.33	19.55	17.03	14.62	12.71
1964	14.27	17.18	18.05	21.18	22.35	20.43	19.96	19.47	19.82	16.08	15.76	14.18
1965	13.2	13.1	17.32	21.1	22.5	20.68	18.75	18.59	18.55	16.49	15.82	14.32
1966	13.12	15.44	15.79	18.43	22.02	20.36	20.16	19.93	18.45	17.65	12.61	12.63
1967	13.11	14.06	16.88	20.2	21.51	20.46	18.57	18.81	18.95	15.82	15.25	14.06
1968	13.18	12.87	15.9	20.1	21.38	20.68	19.18	18.92	18.72	18.36	15.81	14.47
1969	13.36	14.65	17.13	19.6	22.07	22.52	20.31	19.82	19.3	17.89	14.93	13.29
1970	13.37	14.77	17.06	20.18	20.97	21.6	20.13	19.53	18.4	18.68	15.02	13.56
1971	13.87	13.54	17.18	17.78	20.26	19.45	18.95	18.56	18.82	18.37	14.97	13.85
1972	13.73	14.18	15.55	20.08	21.27	20.38	19.6	18.84	18.98	18.27	17.45	14.02
1973	13.48	15.55	18.29	18.73	21.03	20.55	19.39	18.69	18.97	17.52	15.15	12
1974	14.1	14.96	16.76	18.88	20.5	20.03	18	18.56	17.55	15.9	14.8	14.24
1975	12.65	14.21	16.82	19.03	17.85	17.1	16.5	17.03	15.7	14.9	13.05	10.88
1976	11.05	10.75	12.98	14.5	15	17.02	15.77	15.4	15.24	14.99	11.55	12.24
1977	9.82	8.11	16.6	16.4	19.21	19.15	18.44	18.4	18.5	16.61	13.68	12.56
1978	13.18	13.46	19.85	19.85	20.34	19.82	19.52	19.65	18.48	17.84	16.47	15.47
1979	14.6	15.32	17.77	19.83	20.37	21.25	20.84	19.48	18.36	17.3	15.73	15.44
1980	14.15	15.11	18.26	19.07	21.29	21.97	20.47	20.44	19.52	18.65	15.33	14.26
1981	13.1	15.29	17.23	19.82	20.89	21.72	20.13	20	18.93	19.03	14.85	15.06
1982	15.27	16.02	19.03	21.13	21.35	22.98	20.53	19.42	19.77	17.48	15.59	14.26
1983	13.86	14	15.87	18.95	22.26	22.43	20.9	20.21	19.78	16.84	16.78	16.08
1984	14.1	15.2	17.89	19.77	20.69	20.95	19.99	19.74	18.97	18.85	15.45	13.94
1985	12.26	13.57	15.85	16.07	20.5	19.7	19.89	20.27	19.28	18.65	15.62	14.8
1986	13.44	15.15	15.56	20.84	21.47	20.58	19.6	19.83	20.18	18.06	16.48	14.9
1987	13.26	15.81	18.12	18.49	20.3	21.7	20.54	20.48	20.04	17.77	15.6	13.8
1988	13.65	16.46	17.25	19.48	21.62	21.63	20.85	20.04	18.57	17.61	16.25	14.56
1989	15.35	15.41	16.59	18.8	21.17	21.92	20.06	19.68	18.84	16.54	16.65	14.19
1990	15.03	15.55	17.24	20.06	21.38	21.14	19.52	19.19	18.93	18.77	15.62	14.47

1991	14.82	14.86	18.06	20.33	22.1	21.13	19.56	19.84	19.21	16.69	14.7	14.85
1992	14.66	15.46	17.23	18.43	21.38	21.07	19.48	19.17	18.92	18.83	15.24	13.84
1993	15.34	15.71	17.18	19.48	20.58	21.92	21.05	20.73	19.52	18.04	17.46	15.08
1994	14.69	16.78	18.84	20.02	22.24	21.88	20.99	19.49	18.85	18.74	17.42	16.47
1995	15.47	16.95	18.26	19.82	22.79	22.9	20.98	20.53	19.53	17.92	17.55	14.94
1996	14.78	16.77	17.03	17.5	23.1	21.52	21.44	20.58	21.08	17.92	15.2	15.47
1997	13.94	16.86	17.94	18.42	20.56	22.47	22.11	21.05	20.77	18.34	17.73	14.9
1998	14.19	14.52	17.56	20.27	22.19	23.77	20.53	20.39	21.12	19.4	17.47	15.38
1999	13.95	16.74	17.83	20.23	21.56	21.89	19.82	19.87	19.19	17.15	14.27	12.93
2000	14.22	16.08	17.44	19.81	21.43	21.55	20.3	19.77	19.37	18.49	17.33	14.06
2001	14.93	16.57	16.95	20.51	20.74	20.21	19.9	20.27	19.81	17.32	14.51	15.11
2002	14.21	15.63	18.59	20.53	22.22	21.43	20.52	19.9	19.31	19.11	16.52	14.99
2003	14.73	16.45	17.65	19.93	22.68	21	20.15	19.43	21.85	20.72	19.52	15.15
2004	15.29	17.31	21.39	22.02	24.08	22.3	22.42	22.48	22.2	21.85	18.49	16.13
2005	16.15	19.12	18.99	23.56	24.1	25.46	23.15	21.83	21.57	20.56	18.09	16.7
2006	16	18.59	20.63	23.14	23.51	23.28	23.33	20.72	19.82	19.46	17.23	15.32
2007	15.98	16.38	19.77	22.35	23.54	22.75	22.45	21.23	19.74	18.49	15.18	15.34
2008	14.19	17.1	18.8	22.37	23.67	23.62	21.85	22.22	20.19	18.29	15.4	16.82
2009	16.63	17.54	18.96	22.39	23.62	23.71	21.86	22.19	20.17	18.54	15.29	16.78
2010	15.04	16.7	17.38	20.76	23.69	22.04	21.13	21.27	20.47	17.65	14.65	12.53
2011	14.09	17.51	19.77	23.04	24.72	23.76	21.36	21.91	19.99	18.1	15.95	14.9
2012	15.15	16.26	19.81	21.14	23.06	23.02	20.66	20.79	20.45	19.97	16.43	15.62
2013	15.74	18.21	18.03	22.51	22.96	22.21	21.06	20.36	20.07	19.35	17.47	15.15
2014	14.65	18.11	20.1	21.82	20.66	21.94	20.18	20.79	20.38	19.31	16.67	14.98
2015	15.37	15.99	17.49	20.82	21.58	21.22	20.44	20.79	20.79	18.95	18.11	15.51
2016	14.05	16.16	17.6	20.98	23.13	22.74	21.05	20.95	20.42	18.93	16.41	15.79
2017	15	17.09	18.61	21.1	24.08	22.97	20.29	20.92	20.01	19.09	16.35	14.25
2018	13.86	17.12	21.09	21.1	20.79	22.12	20.62	20.21	20.65	19.79	16.24	13.8
2019	14.66	18.36	21.08	21.54	23.98	22.8	21.04	21.44	20.81	19.19	16.78	14.87

Anexo 14. Datos completados de temperatura media de la estación Jesús del Monte.

DATOS COMPLETOS DE TEMPERATURA MEDIA – ESTACIÓN JESÚS DEL MONTE												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	12.8	18.25	22.09	20.65	21.19	22.15	17.2	17.59	16.82	17.57	14.73	15.39
1963	13.56	13.56	17.33	21.15	20.73	20.03	17.69	16.96	17.69	16.1	16.73	14.35
1964	14.23	17.22	19.45	23.56	21.86	19.62	18.19	17.69	17.61	18.11	17.91	15.89
1965	14.57	16.48	17.73	22.19	20.77	20.24	17.63	17.9	18.46	18.27	17.49	16.7
1966	16.78	16.64	20.35	17.81	21.18	19.26	17.84	17.63	17.73	18.81	17.77	16.09
1967	14.89	17.1	19.6	24.12	21.07	16.82	20.03	16.83	16.33	17.4	18.6	19.48
1968	19.62	16.53	19.23	22.64	21.59	19.29	16.19	16.31	16.24	16.99	18.01	17.69
1969	19.66	20.41	22.5	24.99	24.75	23.26	17.5	15.35	15.43	18.13	19.62	18.89
1970	19.33	19.02	21.7	26.59	24.6	17.05	16.24	16.38	15.61	18.78	17.09	17.12
1971	16.26	18.52	18.61	22.27	23.27	18.72	18.81	18.57	16.94	17.03	17.64	16.18
1972	13.19	16.86	17.15	22.75	22.19	22.85	16	15.79	16.18	16.16	15.4	15.38
1973	14.84	16.3	21.12	18.57	20.81	17.42	15.01	15.95	16.48	15.2	16.06	15.23
1974	15.09	15.04	20.39	22.97	20.43	18.25	19.16	18.83	18.23	19.75	16.2	14.79
1975	14.53	15.33	20.31	25.42	22.21	20.2	19.28	19.08	17.32	18.62	16.24	14.31
1976	16.15	16.97	22.79	22.96	22.42	20.35	16.51	17.81	17.83	17.27	16.39	16.07
1977	16.44	16.59	18.06	18.25	19.75	21.54	18.08	16.71	16.87	15.55	14.93	14.92
1978	14.76	14.98	19.45	24.19	24.17	15	15.17	15.5	14.95	15	15.88	15.1
1979	14.67	15.19	18.52	23.75	23.27	21.18	17.26	15.16	15.68	17.24	15.53	15.4
1980	14.66	16.06	19	18.75	16.12	15.85	15.11	14.86	14.46	14.05	13.97	14.39
1981	13.43	14.55	15.94	21.29	22.09	16.22	15.46	15.62	15.58	15.35	14.31	14.75
1982	15.21	15.52	20.03	20.5	18.64	18.25	15.6	15.68	14.99	14.81	14.74	13.8
1983	13.49	13.68	15.53	21.75	22.71	16.02	15.15	14.88	14.16	14.37	14.28	13.93
1984	13.81	14.95	16.51	18.4	17.25	15.06	13.2	14.73	14.36	14.82	14.21	14.25
1985	13.95	14.75	16.89	17.76	15.98	15.98	14.81	14.69	15.57	15.46	14.88	14.91
1986	13.54	15.1	19.04	21.87	23.08	18.52	15.49	15.69	15.24	15.67	14.76	14.46
1987	14.31	15.13	20.07	21.63	16.6	15.42	14.38	14.88	15.21	14.63	14.17	16.46
1988	14.65	15.25	14.89	14.88	23.97	20.41	15.32	15.16	15.01	14.33	15	14.58
1989	15.2	14.27	14.4	17.42	18.82	17.36	16.27	16.09	14.48	14.8	14.81	20.42
1990	15.38	16.09	18.11	21.65	21.16	18.85	15.23	15.1	16.33	16.13	15.62	15.79

1991	15.1	15.36	20.27	23.1	23.43	20.93	16.56	17.23	15.7	15.39	14.63	14.85
1992	13.79	15.09	17.45	19.57	22.34	20.33	17.02	15.84	15.27	15.05	15.22	15.9
1993	15.69	15.25	16.97	22.63	24	20.98	15.89	14.53	14.91	15.37	15.45	14.92
1994	14.77	17.46	19.27	20.75	22.53	18.03	19.15	18.27	16.33	18.35	19.53	18.37
1995	15.24	16.66	20.7	21.88	22.1	21.02	17.47	15.44	16.15	16.27	15.12	15.02
1996	14.95	16.89	20.5	21.25	21.76	20.58	18.21	16.87	15.55	15.5	15.05	15.39
1997	14.63	15.79	16.26	16.74	18	20.97	17.47	18.97	17.82	15.44	15.68	14.56
1998	14.79	16.8	21.66	21.92	22.92	19.75	17.48	15.08	17.61	15.16	15.12	14.4
1999	15.03	14.73	18.53	21.57	22.79	17.66	14.4	15.04	15.65	14.55	15.2	13.63
2000	14.27	15.88	17.55	22.28	22.55	16.27	17.73	16	16.2	15.97	15.4	14.71
2001	15.11	15.84	17.5	20.63	17.42	15.67	16.24	16.18	15.23	15.89	14.97	13.89
2002	15.03	15.45	20.08	22.48	20.48	16.99	15.6	15.74	15.25	14.87	14.07	14.77
2003	14.58	15.54	20.16	21.18	23.23	15.38	15.24	15.08	14.38	14.97	15.88	14.64
2004	14.53	13.19	16.92	17.2	18.98	19.17	18.38	18.47	17.05	17.82	16.06	14.77
2005	13.1	16.26	13.99	17.8	19.15	19.5	18.64	18.15	19.23	20.5	15.81	14.82
2006	13.84	15.38	17.18	20.74	19.97	20.18	18.82	18.19	17.95	17.87	16.3	14.16
2007	15.02	16.27	18.74	19.83	22.02	19.92	18.89	18.35	17.73	18.11	17.47	16.5
2008	13.26	16.68	21.37	18.68	25.13	23.53	21.48	21.53	18.62	17.69	15.12	13.27
2009	15.66	16.88	18.5	20.93	21.55	20.85	19.53	19.58	19.1	20.6	17.35	16.13
2010	14.81	14.59	17.45	20.1	22.45	20.98	19.69	19.45	19.65	19.58	16.47	14.29
2011	15.58	17.61	20.08	21.97	22.95	22.45	19.35	20.65	19.27	19.22	18.6	17.22
2012	15.19	15.76	17.16	18.05	21.07	18.77	17.38	16.87	17.72	15.85	15.37	15.2
2013	15.26	21.84	20.15	20.75	22.71	18.7	17.73	16.69	16.73	17.16	16.83	14.06
2014	12.26	16.64	17.37	19.6	18.47	19	17.81	17.74	17.55	16.87	15.98	13.98
2015	13.9	14.66	16.29	19.12	18.76	18.25	18.45	18.58	18.72	18.43	18.13	16.03
2016	13.38	15.98	16.74	18.91	18.09	18.15	17.58	17.09	17.25	17.4	15.48	15.06
2017	11.29	13.38	15.2	17.26	18.56	17.73	16.45	17.2	16.58	15.88	13.61	12.98
2018	12.66	14.96	17.95	19.08	20.3	20.21	19.74	19.04	18.63	18.16	16.03	12.83
2019	13.54	16.05	17.56	16.88	17.95	17.65	17.11	17.16	17	16.67	15.94	15.32

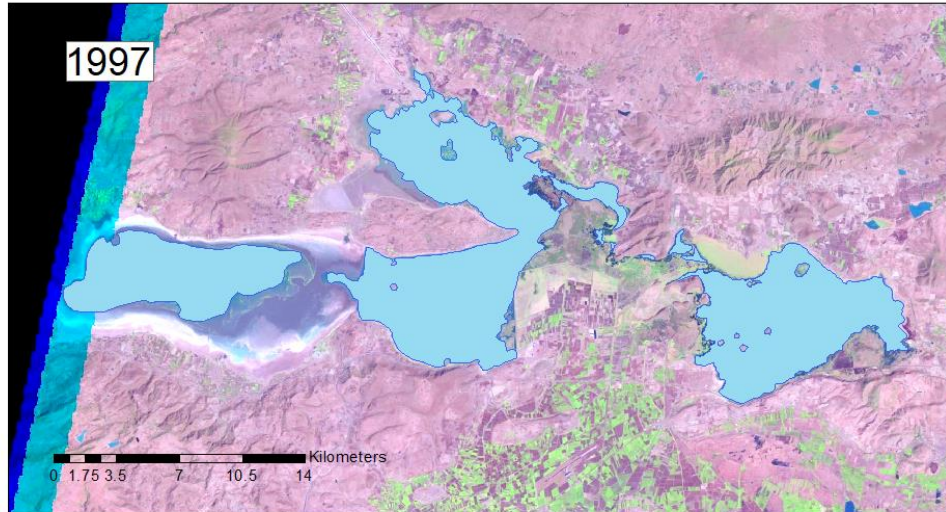
Anexo 15. Datos completados de temperatura media de la estación Huingo.

DATOS COMPLETOS DE TEMPERATURA MEDIA – ESTACIÓN HUINGO												
Nota: Las celdas en color amarillo señalan los datos faltantes que fueron estimados.												
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	13.31	15.55	16.94	17.52	20.9	19.86	15.93	15.97	16.13	14.66	9.62	10.19
1963	9.44	7.76	13.13	14.32	18.44	20.32	18.57	18.9	18.89	16.94	14.71	13.42
1964	14.64	16.45	17.4	20.45	20.9	19.59	19.09	19.03	19.11	16.6	16.05	13.94
1965	12.18	13.28	16.36	19.83	20.85	20.51	18.7	18.39	18.56	17.01	16.36	14.17
1966	12.98	15.88	16.63	18.23	21.07	20.68	19.2	19.14	18.68	17.4	12.48	11.97
1967	12.52	13.66	16.83	19.53	20.75	19.81	18.99	18.53	18.57	16.5	15.32	13.74
1968	12.62	12.48	16.24	19.27	20.79	20.23	18.82	18.6	18.65	18	15.69	15
1969	13.44	14.54	16.31	18.82	20.8	22.47	19.79	19.2	18.93	18.08	15.24	13.17
1970	12.79	14.38	17.29	20.03	20.83	20.53	19.5	19.06	18.67	18.19	14.03	13.41
1971	14.04	14.2	17.6	17.38	21.08	19.94	18.72	18.33	18.63	18.15	15.1	14.4
1972	13.6	14.1	16.13	19.74	20.65	20.02	19.16	18.71	18.78	18.39	17.66	14.13
1973	13.04	15.67	17.98	18.97	20.78	20.39	19.06	18.25	18.88	17.45	15.32	12.22
1974	13.93	14.87	16.85	18.7	19.9	19.59	18.21	18.72	18.13	16.49	15.08	14.49
1975	13.53	14.54	17.42	20.57	20.45	20.14	18.73	18.85	17.63	16.84	15.01	13.27
1976	12.82	13.42	16.96	18.64	20.02	20.99	19.04	18.43	18.59	17.61	14.93	15.15
1977	14.23	14.39	17.55	17.12	20.25	19.66	18.9	18.86	18.94	17.53	15.26	13.75
1978	13.42	13.47	15.75	19.4	20.9	20.05	19.35	18.82	18.39	16.9	15.77	14.49
1979	13.59	14.98	16.94	19.24	20.16	20.52	20.15	19.19	18.18	16.78	15.54	14.77
1980	13.9	14.58	18.08	19	20.91	20.65	19.97	19.71	18.97	18.57	15.38	13.66
1981	12.35	15.12	16.81	18.88	20.16	20.88	19.93	19.56	18.48	18.33	14.52	14.2
1982	13.9	15.21	17.91	20.1	20.8	21.15	19.27	18.9	19.02	16.95	15.14	13.32
1983	12.57	12.4	15.13	17.88	20.87	21.34	19.44	19	18.68	17.44	15.88	14
1984	13.48	14.72	16.22	18.81	19.51	19.39	18.35	18.65	18.2	18.33	14.37	13.46
1985	13.26	14.7	17.13	18.14	20.31	19.29	18.35	18.59	17.82	17.27	15.16	14.19
1986	13.5	13.66	14.96	18.92	20.24	19.68	18.72	18.39	19.15	17.53	16.14	14.24
1987	13.65	14.71	16.92	17.43	19.38	20.73	20.11	19.31	19.63	15.91	15.22	14.97
1988	12.68	16.02	16.37	18.75	20.91	21.23	19.65	19.55	18.58	17.16	15.37	13.64
1989	14.4	14.63	15.63	17.97	19.94	20.5	19.19	18.99	18.19	16.32	16.57	13.21
1990	14.44	15.19	16.23	18.82	18.79	20.02	19.21	18.8	18.23	16.21	14.58	13.58

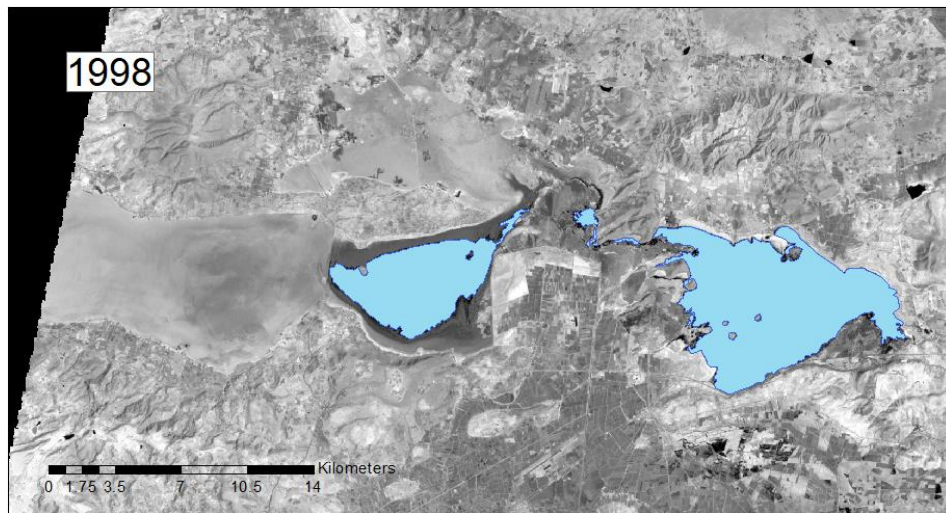
1991	13.85	15.29	17.42	19.37	21.03	20.42	18.98	19.18	18.12	16.69	14.8	14.16
1992	13.21	13.79	17.06	17.2	19.02	20.58	19.52	18.66	18.88	16.9	15.24	14.26
1993	13.92	14.63	15.85	18.12	19.08	20.92	19.2	19.08	18.49	17.56	16.05	13.61
1994	13.52	15.55	17.37	18.6	20.85	20.02	19.31	18.55	18.42	18.43	16.63	15.47
1995	14.48	15.76	18.11	18.89	21.29	20.67	19.23	19.86	18.97	16.68	16.36	14.22
1996	12.58	15.51	16.03	17.99	21.69	20.46	19.9	19.27	19.67	17.76	15.03	14.15
1997	12.8	15.77	17.23	17.68	19.52	21.38	20.24	19.31	19.25	17.4	16.51	14.03
1998	12.51	13.52	16.97	19.7	21.39	22.39	20.12	19.77	20	18.5	17.07	14.08
1999	12.6	15.47	17.13	19.28	20.65	20.52	18.79	19.04	18.77	16.3	13.8	12.19
2000	13.3	15.07	16.75	19.55	20.73	19.93	19.12	18.89	19.02	18.22	16.72	13.38
2001	14.46	15.91	16.37	19.87	20.52	19.98	18.98	19.7	19.04	16.87	14.49	14.22
2002	13.23	15.23	18.04	19.97	21.72	20.59	19.27	19.11	19.07	18.83	14.96	13.94
2003	13.64	15.41	16.45	19.59	21.84	20.31	19.34	18.5	19.74	18.24	16.4	11.75
2004	12.95	13.3	17.37	17.95	19.84	19.33	18.54	19.52	19.2	19.05	15.39	13.31
2005	13	15.78	16.21	19.51	19.4	21.45	19.96	19	19.12	18	15.55	13.77
2006	13.58	16.21	17.52	19.74	20.07	19.59	19.78	19.51	19.66	18.29	15.3	13.19
2007	14.77	15.23	17.04	18.79	20.65	20.03	19.48	15.5	19.66	18.29	15.3	13.2
2008	13.56	15.07	15.93	19.42	20.07	20.04	18.8	19.36	18.89	17.04	14.13	13.08
2009	14.33	15.13	16.04	19.63	20.42	20.97	19.79	19.66	19.76	18.81	14.65	14.27
2010	12.83	13.64	16.3	17.84	20.44	20.87	19.68	19.67	19.07	16.52	14.35	11.75
2011	13.19	15.54	17.06	19.61	21.23	20.82	19.6	19.57	18.58	16.76	15.56	14.35
2012	13.81	15.29	17.21	17.84	20.49	20.06	19.98	19.25	19.11	18.21	15.12	14.46
2013	14.67	17.19	17.11	20.01	20.81	20.82	19.49	19.38	19.24	18.11	16.34	14.66
2014	14.38	16.82	18.56	19.81	19.64	20.17	19.44	18.58	18.56	17.6	15.35	14.03
2015	13.81	14.94	16	19.09	20.26	20.2	18.9	19.41	19.28	18.95	17.55	14.86

Resultados de interpretación de imágenes satelitales

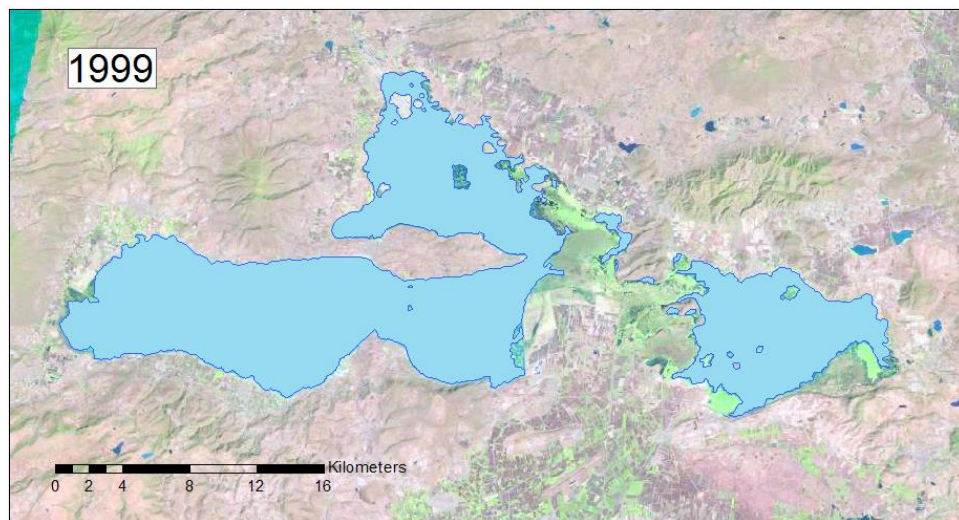
Anexo 16. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 1997 (Imagen Landsat 4-5 TM, 24/02/1997).



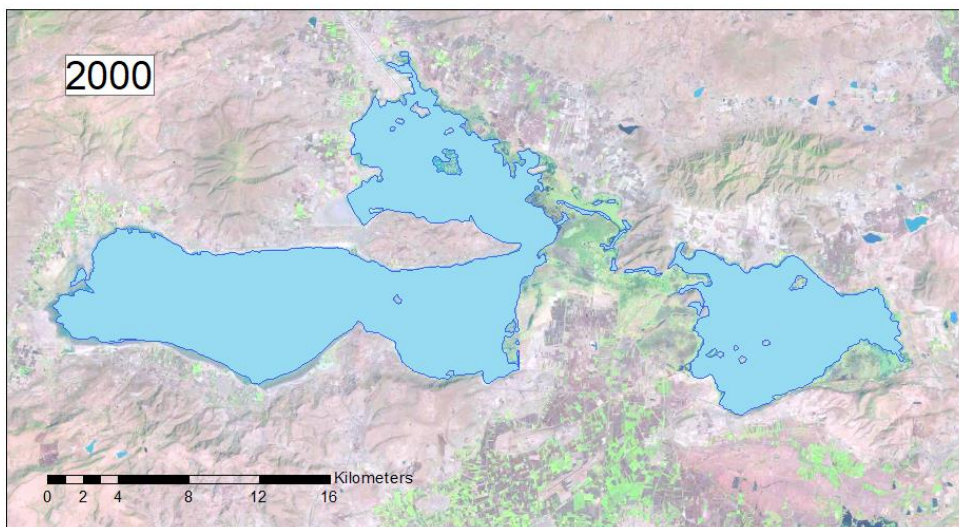
Anexo 17. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 1998 (Imagen Landsat 4-5 TM, 15/03/1998).



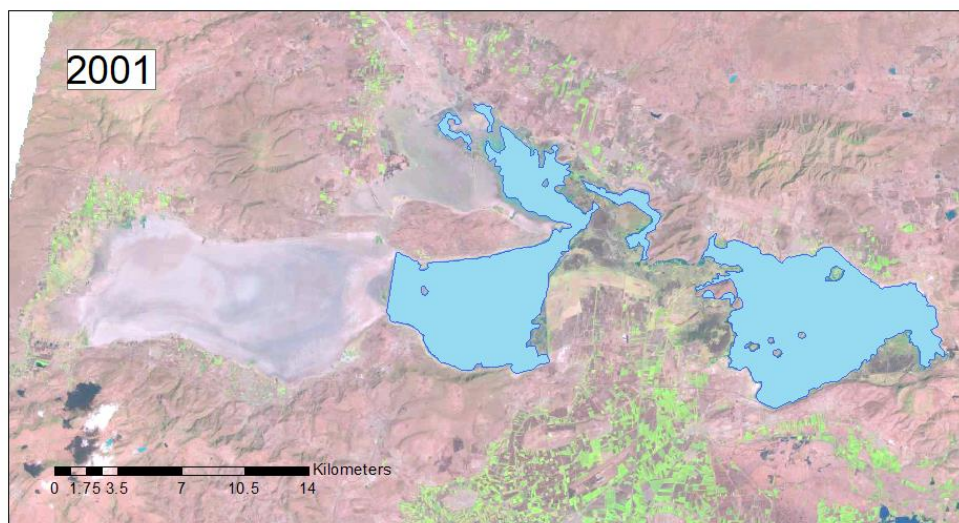
Anexo 18. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 1999 (Imagen Landsat 7, 14/02/1999).



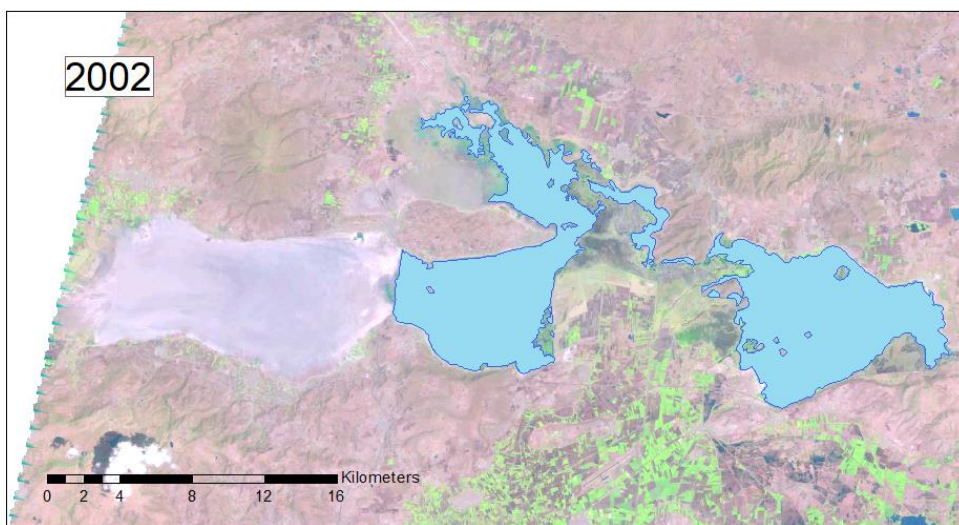
Anexo 19. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2000 (Imagen Landsat 7, 17/02/2000).



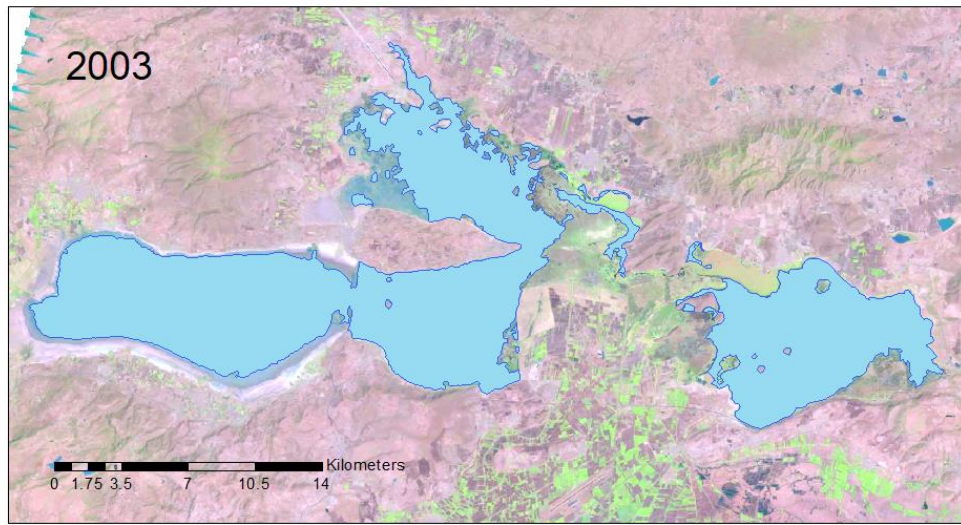
Anexo 20. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2001 (Imagen Landsat 7, 07/03/2001).



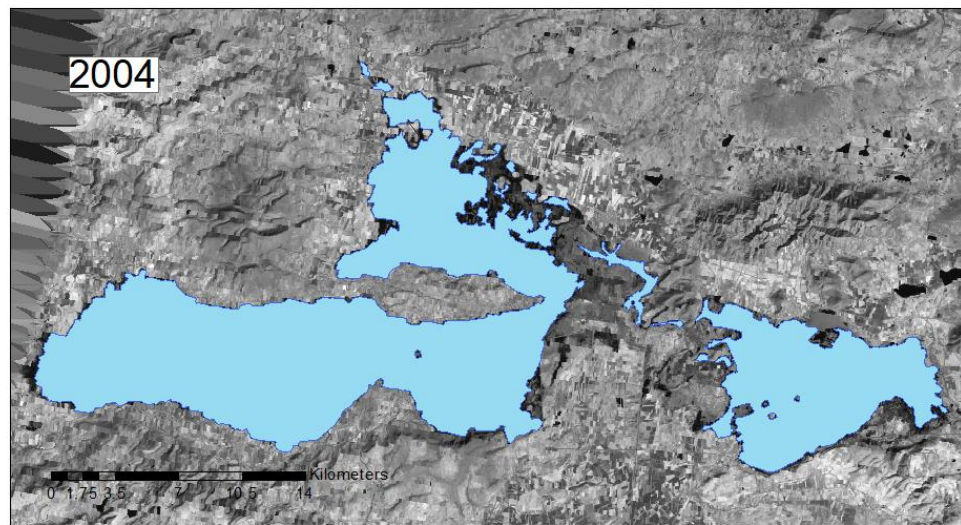
Anexo 21. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2002 (Imagen Landsat 7, 18/03/2002).



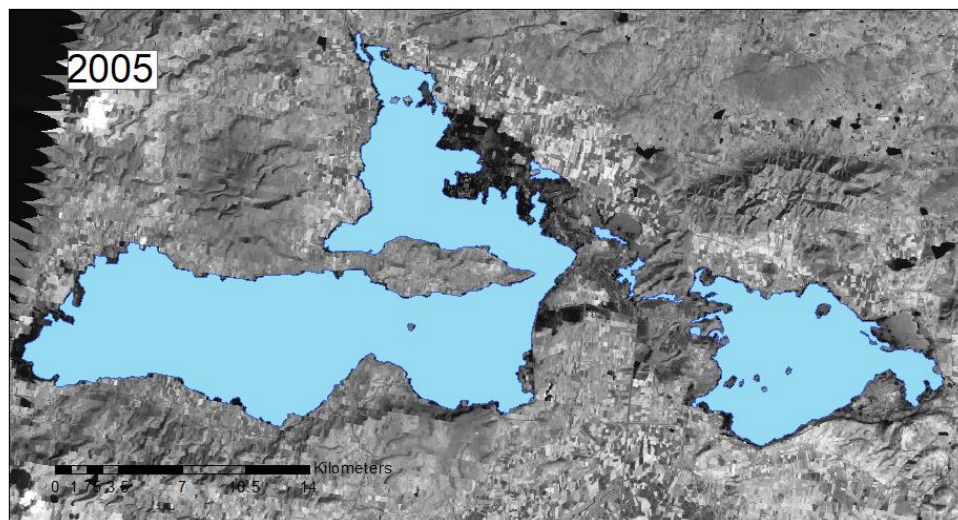
Anexo 22. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2003 (Imagen Landsat 7, 05/03/2003).



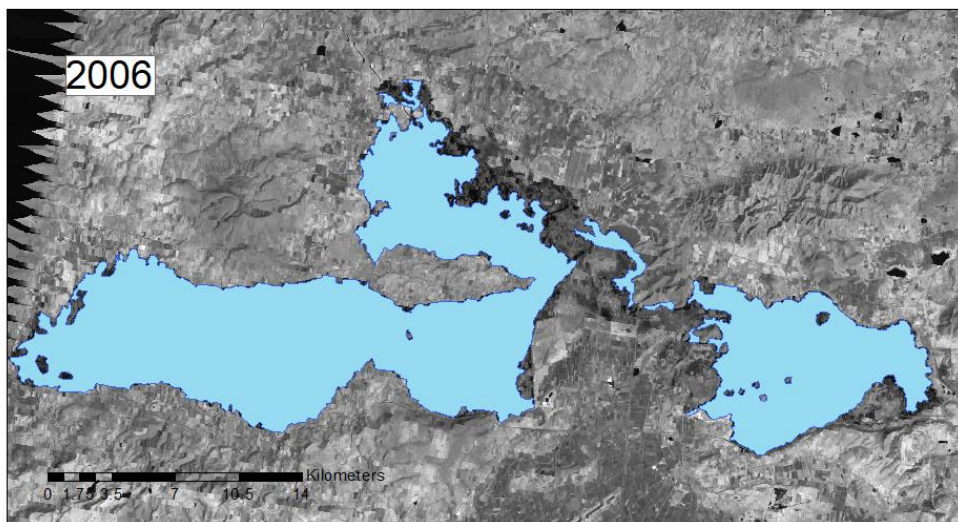
Anexo 23. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2004 (Imagen Landsat 7, 19/01/2004).



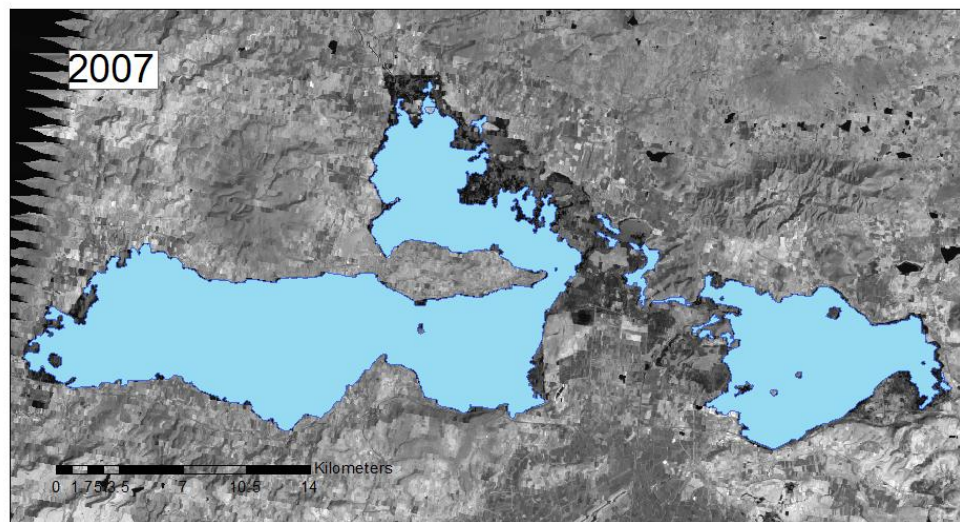
Anexo 24. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2005 (Imagen Landsat 7, 05/01/2005).



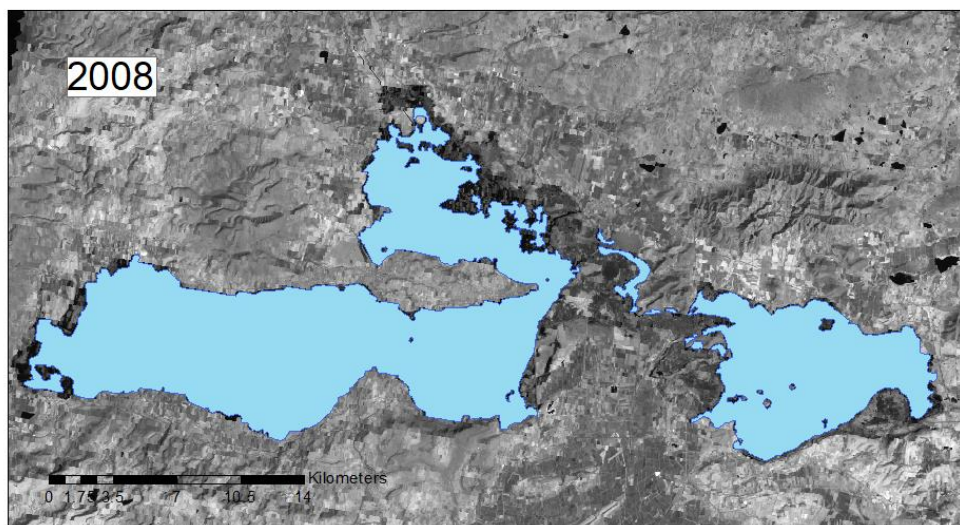
Anexo 25. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2006 (Imagen Landsat 7, 25/02/2006).



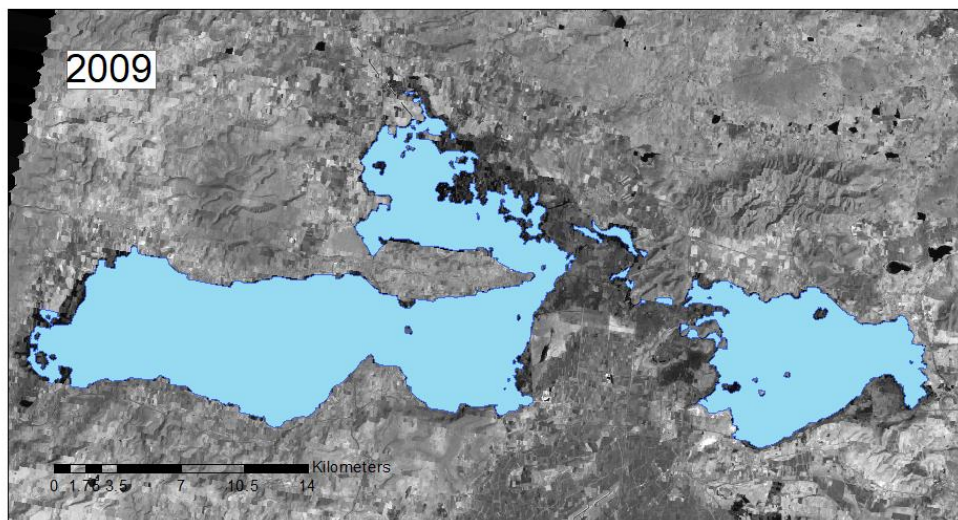
Anexo 26. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2007 (Imagen Landsat 7, 28/02/2007).



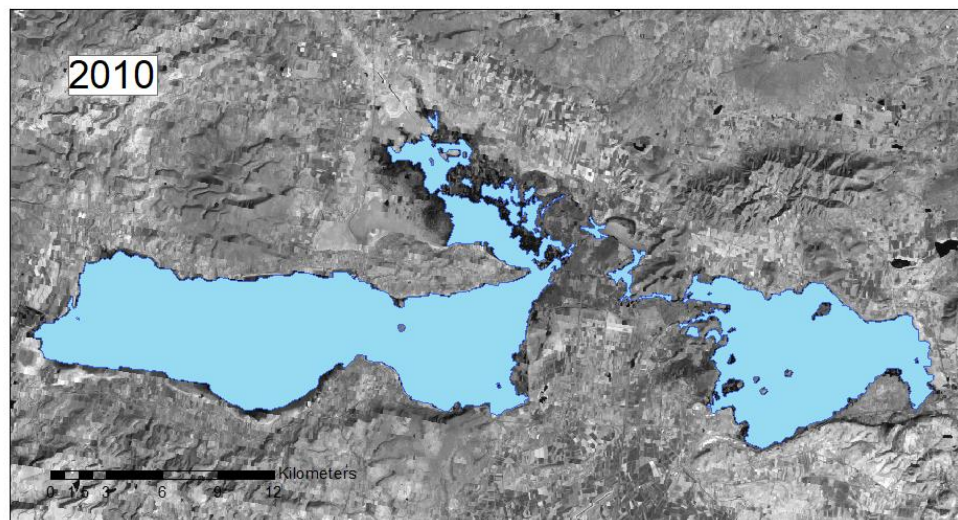
Anexo 27. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2008 (Imagen Landsat 7, 15/02/2008).



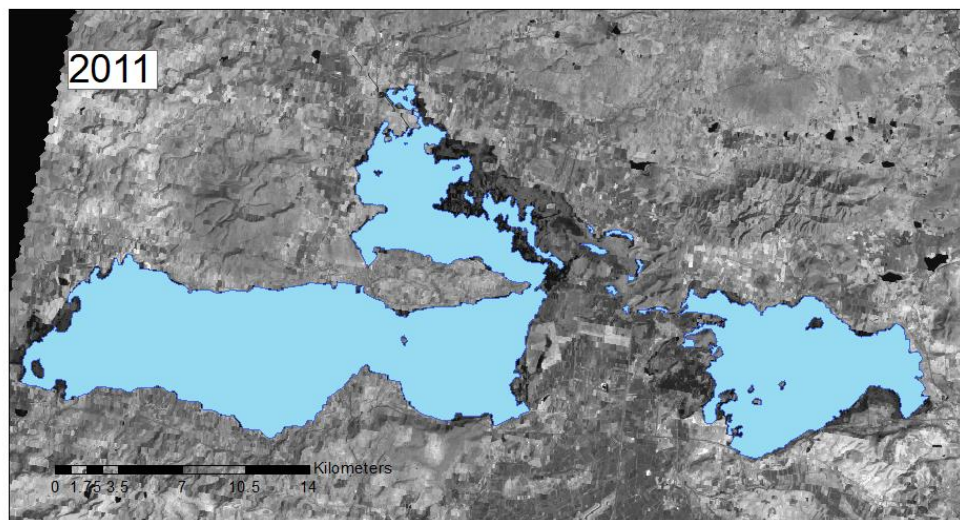
Anexo 28. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2009 (Imagen Landsat 7, 05/03/2009).



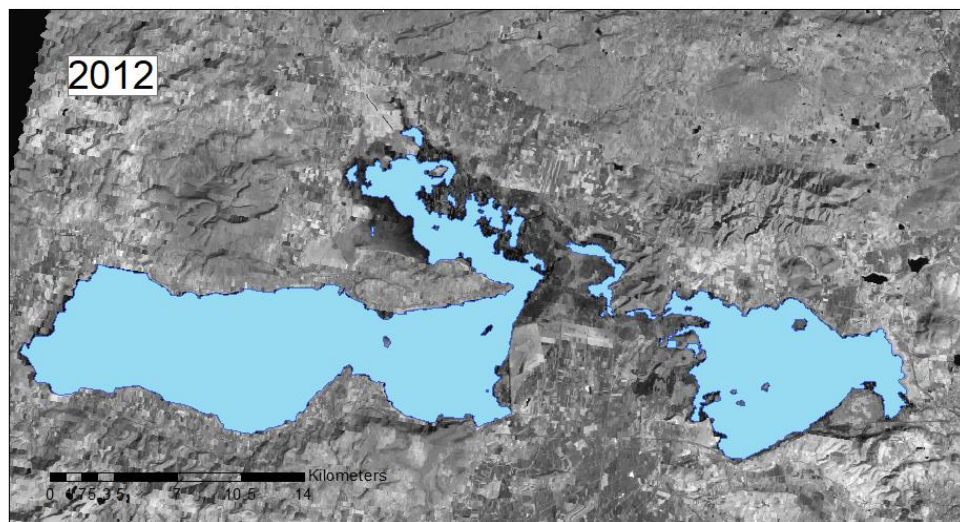
Anexo 29. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2010 (Imagen Landsat 7, 19/01/2010).



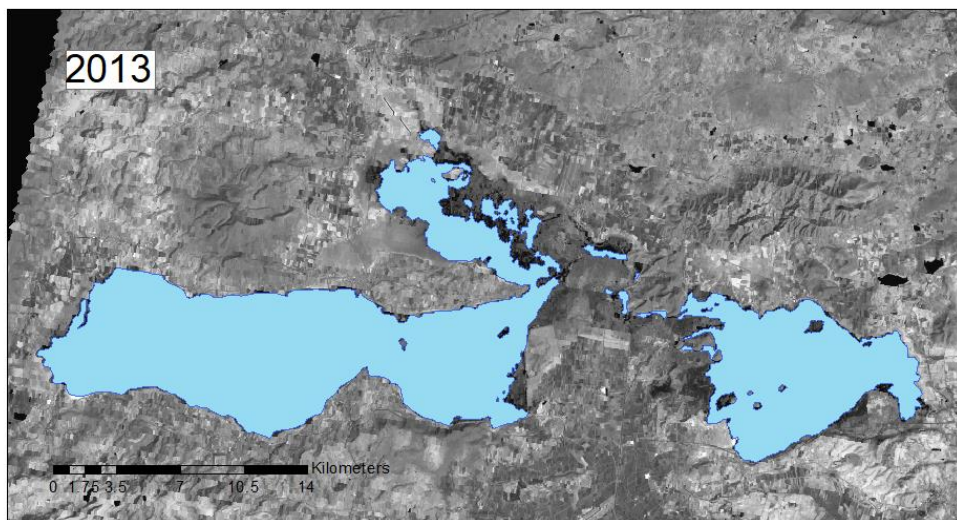
Anexo 30. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2011 (Imagen Landsat 7, 22/02/2011).



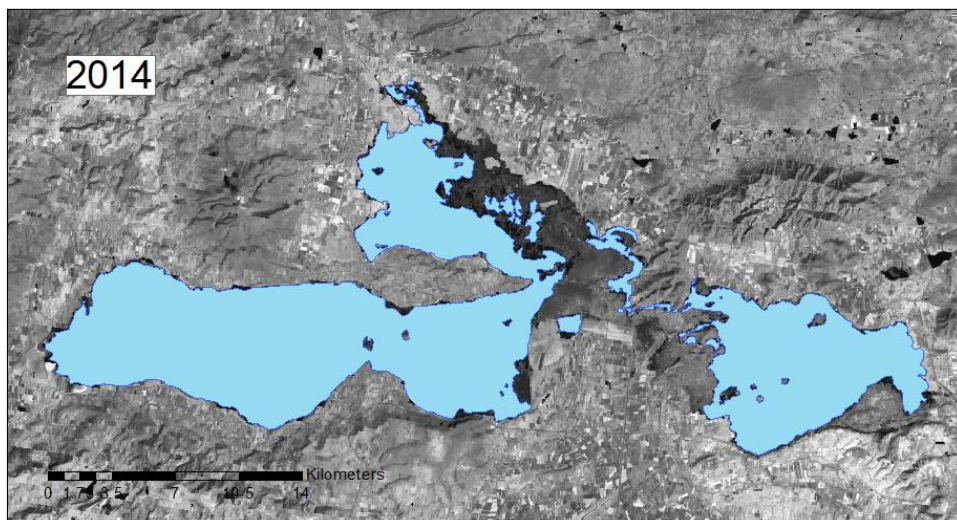
Anexo 31. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2012 (Imagen Landsat 7, 25/01/2012).



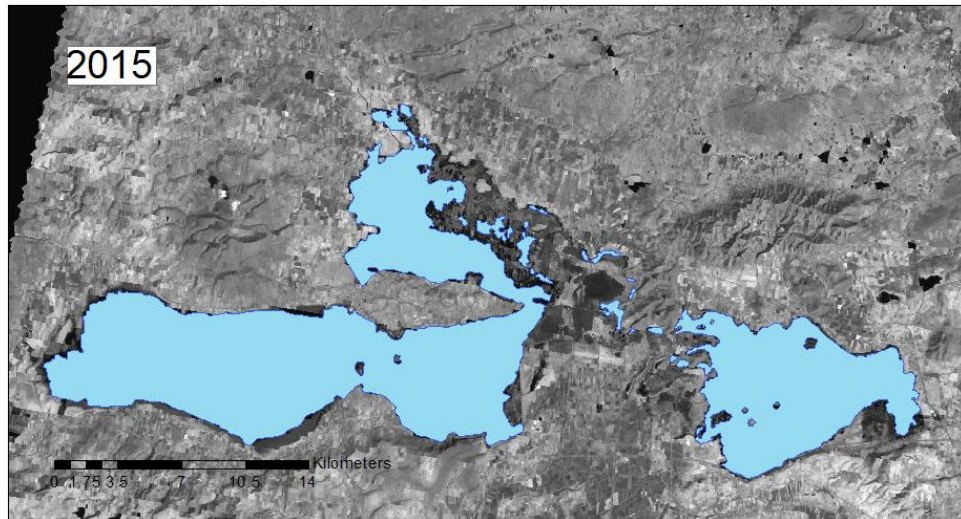
Anexo 32. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2013 (Imagen Landsat 7, 28/02/2013).



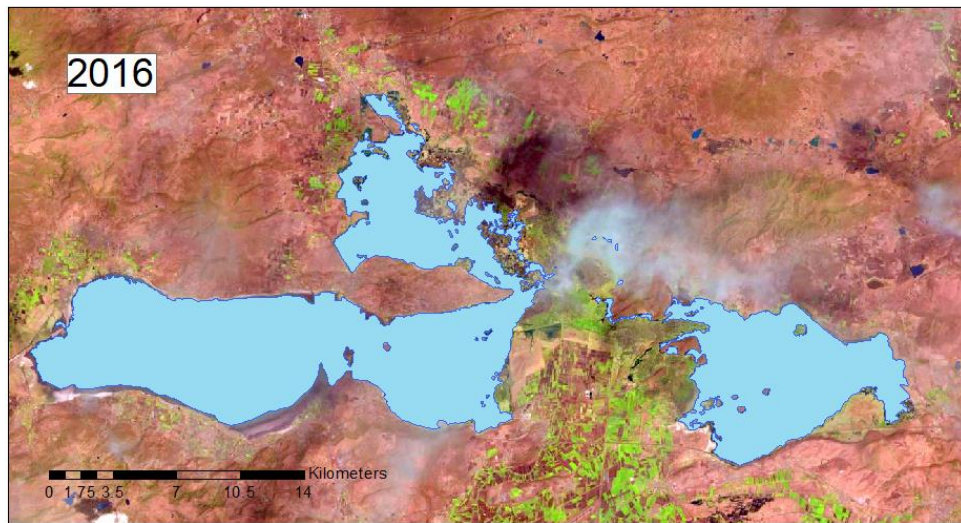
Anexo 33. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2014 (Imagen Landsat 7, 30/01/2014).



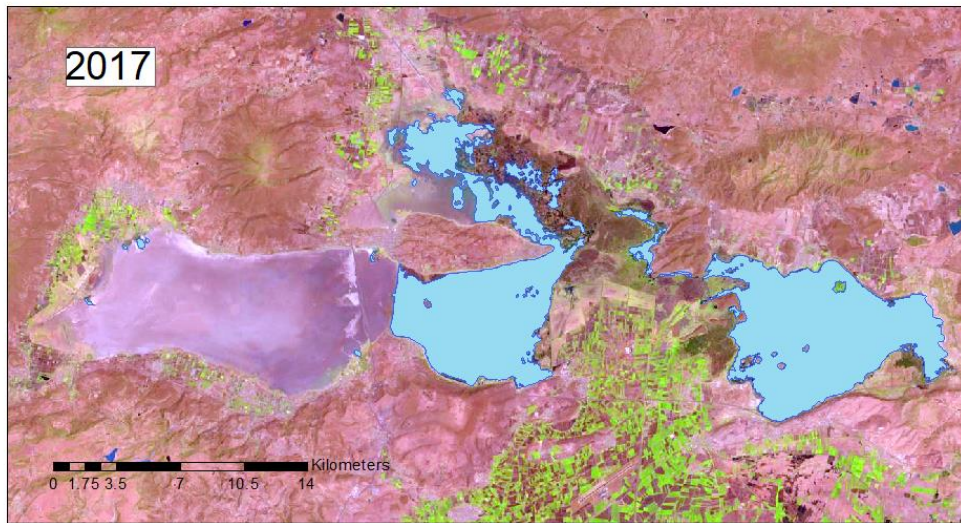
Anexo 34. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2015 (Imagen Landsat 7, 18/02/2015).



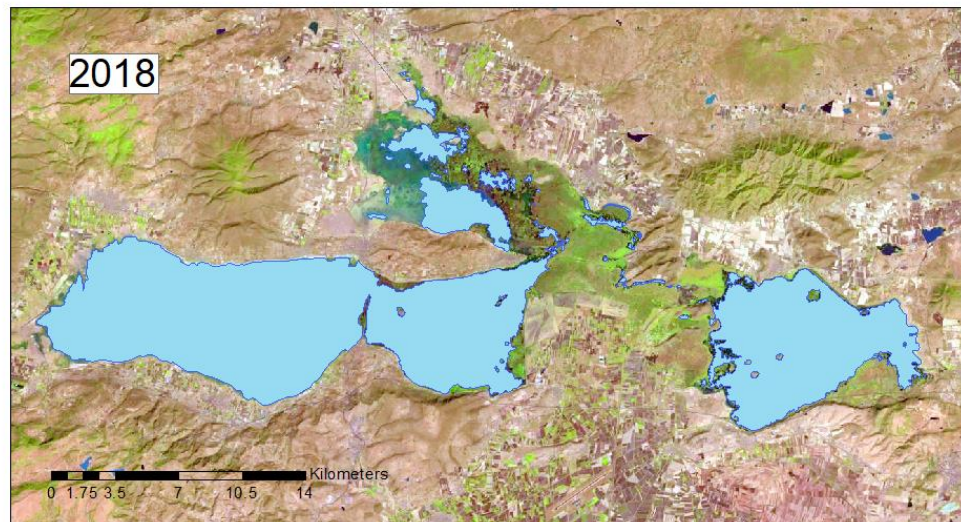
Anexo 35. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2016 (Imagen Sentinel, 16/03/2016).



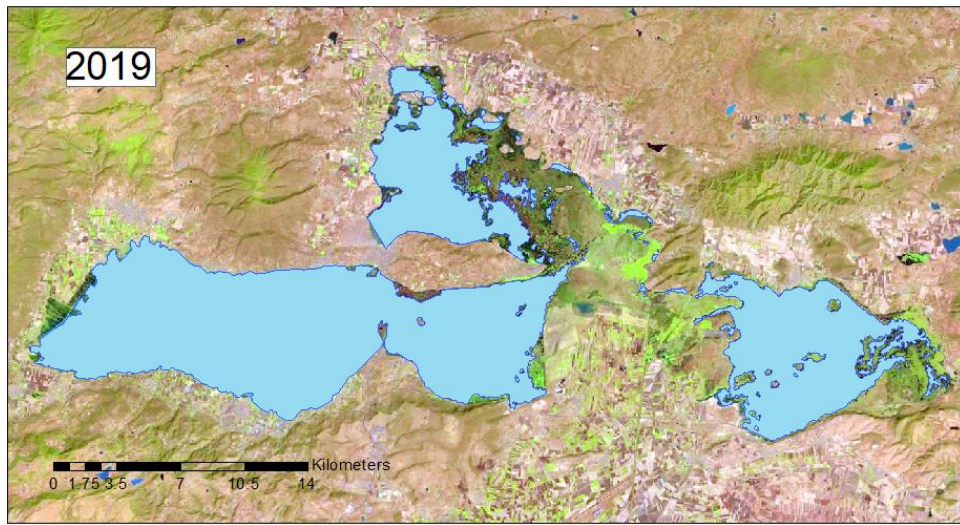
Anexo 36. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2017 (Imagen Sentinel, 21/03/2017).



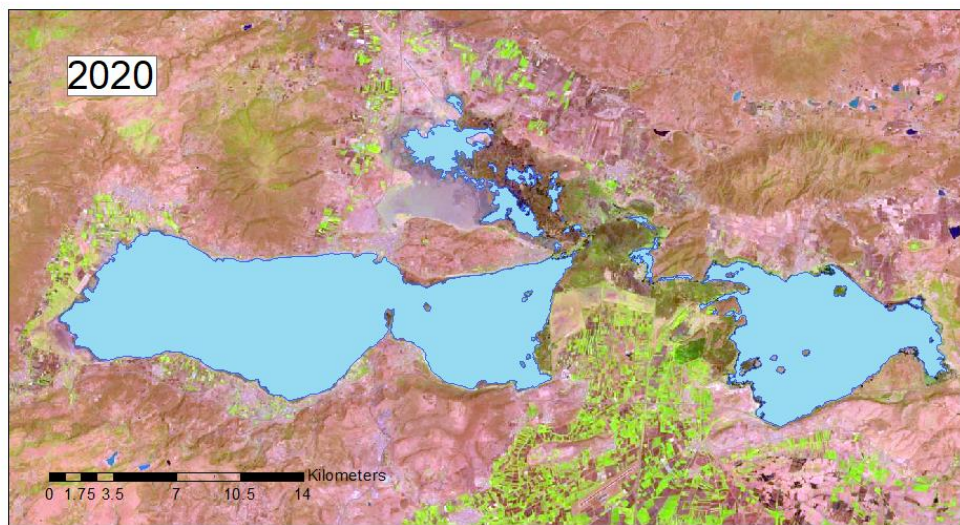
Anexo 37. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2018 (Imagen Sentinel, 15/01/2018).



Anexo 38. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2019 (Imagen Sentinel, 04/02/2019).



Anexo 39. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2020 (Imagen Sentinel, 25/03/2020).



Anexo 40. Extensión del espejo de agua del lago de Cuitzeo en el año 2021 (Imagen Sentinel, 28/02/2021).

