



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL - HIDRÁULICA

Análisis hidrológico de la cuenca del lago de Cuitzeo

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
Daniel Federico Martínez Rubio

TUTOR PRINCIPAL
DR. CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL (FACULTAD DE INGENIERÍA)

COMITÉ TUTOR
M.I. VÍCTOR FRANCO (INSTITUTO DE INGENIERÍA)
DRA. LILIA REYES CHÁVEZ (FACULTAD DE INGENIERÍA)
DR. RODOLFO SILVA CASARÍN (INSTITUTO DE INGENIERÍA)
M.I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS (FACULTAD DE INGENIERÍA)

Ciudad de México, Septiembre 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M.I. VÍCTOR FRANCO
Secretario: DRA. LILIA REYES CHÁVEZ
1 er. Vocal: DR. CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL
2 do. Vocal: M.I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS
3 er. Vocal: DR. RODOLFO SILVA CASARÍN

Lugar realizó la tesis: **FACULTAD DE INGENIERÍA**

TUTOR DE TESIS:
DR CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL

FIRMA

Contenido

Índice de Tablas.....	4
Índice de Figuras	8
Resumen.....	10
Introducción	11
Problemática	12
Objetivo General	14
Objetivo Particulares.....	14
1. Características de la Cuenca del Lago de Cuitzeo	15
1.1. Localización geográfica	15
1.2. Medio Físico	15
1.2.1. Geomorfología	15
1.2.2. Geología	16
1.2.3. Hidrología	16
1.2.4. Climatología.....	16
1.2.5. Suelo	17
1.2.6. Vegetación.....	17
1.2.7. Fauna	17
1.3. Medio Social	18
1.3.1. Población	18
1.3.2. Actividades económicas	19
2. Estudios previos en la zona de estudio	20
2.1. Resumen de las aportaciones y hallazgos de los estudios previos.	26
3. Información Disponible	28
3.1. Información climatológica.....	28
3.2. Información hidrométrica	29
3.3. Registros mensuales del nivel del lago de Cuitzeo.....	30
3.4. Curvas de elevación-capacidad-áreas	33
4. Procesamiento de la información	36
4.1. Selección del número de estaciones por analizar	36
4.2. Delimitación de Regiones Homogéneas.....	42

4.2.1.	Método del coeficiente de variación de los Momentos-L	42
4.2.2.	Método del parámetro de forma de la distribución GVE.....	44
4.2.3.	Método de la Región de Influencia (Distancia Euclidiana).....	45
4.3.	Obtención de datos faltantes mediante Técnicas Geoestadísticas y regresión.....	46
4.3.1.	Métodos de interpolación geoestadística.....	46
4.3.2.	Llenado por regresión	53
5.	Pruebas de Homogeneidad y Tendencia.....	56
5.1.	Pruebas de homogeneidad	56
5.1.1.	Prueba de Pettit	56
5.1.2.	Prueba normal estándar.....	57
5.1.3.	Prueba de Buishand	58
5.1.4.	Prueba de Van Newman.....	59
5.1.5.	Estadístico de Fisher	59
5.1.6.	Prueba estadística de Helmer	60
5.1.7.	Prueba t de student.....	60
5.1.8.	Prueba estadística de Cramer	62
5.2.	Pruebas de tendencia.....	63
5.2.1.	Prueba de Mann Kendall	63
5.2.2.	Prueba de Spearman	64
6.	Metodología	65
6.1.	Evapotranspiración	66
6.1.1.	Cálculo de la evapotranspiración real	68
6.2.	Escurrimiento	69
6.3.	Valores medios anuales de la cuenca	70
6.4.	Balance hídrico	71
6.4.1.	Modelo para calcular aporte anual al lago (ΔV).....	73
6.5.	Calibración del modelo.....	75
6.5.1.	Variable para calibrar el modelo (Cota observada del lago).....	76
6.5.2.	Periodo de calibración y prueba	76
6.5.3.	Modelo que mejor ajusta.....	77
6.6.	Proyección del comportamiento.....	77
7.	Resultados	80

7.1.	Periodo común	80
7.2.	Delimitación de regiones homogéneas.....	84
7.2.1.	Método del coeficiente de variación de los Momentos-L	88
7.2.2.	Método del parámetro de forma de la distribución GVE.....	89
7.2.3.	Método de la Región de Influencia (Distancia Euclidiana).....	89
7.2.4.	Regiones homogéneas	93
7.3.	Llenado de datos faltantes.....	100
7.3.1.	Verificación del llenado.....	102
7.4.	Región homogénea precipitación-temperatura.....	104
7.4.1.	Técnicas de delimitación de región homogénea.....	104
7.4.2.	Llenado de vacíos de región precipitación-temperatura	110
7.5.	Series de tiempo anuales de cada variable climatológica.....	113
7.6.	Pruebas de homogeneidad y tendencia.....	122
7.7.	Evapotranspiración real	128
7.8.	Coeficientes de escurrimiento e infiltración	131
7.9.	Curvas de elevación-capacidad-área del lago de Cuitzeo	131
7.10.	Llenado de datos faltantes en el registro de cotas mensuales	132
7.11.	Valores medios anuales de la cuenca.....	136
7.12.	Balance hídrico	141
7.12.1.	Modelo para calcular aporte anual al lago (ΔV).....	141
7.13.	Calibración del modelo.....	142
7.13.1.	Periodo de calibración.....	145
7.13.2.	Periodo de prueba.....	149
7.13.3.	Resumen de la calibración.....	152
7.14.	Selección del modelo que mejor se ajusta a la cuenca.....	153
7.15.	Proyección del comportamiento.....	154
7.15.1.	Bordo con vertedores a 1.5 m y área de 360 km ²	155
7.15.2.	Bordo con vertedores a 1.5 m y área de 370 km ²	157
7.15.3.	Bordo con vertedores a 1.5 m y área de 380 km ²	159
7.15.4.	Bordo con vertedores a 1.5 m y área de 390 km ²	161
7.15.5.	Selección de la mejor propuesta.....	163
8.	Propuestas y conclusiones	165

Bibliografía	169
Anexos	172
A. Pruebas de homogeneidad y tendencia.....	172
B. Evapotranspiración real	186
C. Calibración de modelos.....	200
D. Propuestas modeladas	214
E. Códigos.....	222

Índice de Tablas

Tabla 3.1. Tabla del registro mensual del nivel del lago.....	30
Tabla 4.1. Estaciones climatológicas seleccionadas	36
Tabla 4.2. Estaciones hidrométricas seleccionadas.....	40
Tabla 4.3. Monomios de la Técnica Polinomial.....	48
Tabla 5.1- Valores críticos de la prueba de Pettit.....	56
Tabla 5.2 - Valores críticos para la prueba normal estándar	58
Tabla 5.3 - Valores críticos para la prueba Buishand.....	59
Tabla 5.4 - Valores críticos para la prueba Van Newman.....	59
Tabla 5.5 - Estadístico t de la distribución t de student de dos colas	61
Tabla 7.1- Años del periodo común (Precipitación acumulada anual)	81
Tabla 7.2. Años del periodo común (Temperatura máxima anual).....	82
Tabla 7.3. Años del periodo común (Temperatura mínima anual).....	83
Tabla 7.4. Años del periodo común (Evaporación acumulada anual).....	84
Tabla 7.5. Parámetros del periodo común de precipitación acumulada anual	85
Tabla 7.6. Parámetros del periodo común de temperatura máxima anual.....	86
Tabla 7.7. Parámetros del periodo común de temperatura mínima anual	87
Tabla 7.8. Parámetros del periodo común de evaporación acumulada anual.....	87
Tabla 7.9. Variables para determinar la distancia euclidiana de precipitación acumulada anual	90
Tabla 7.10. Variables para determinar la distancia euclidiana de temperatura máxima anual.....	91
Tabla 7.11. Variables para determinar la distancia euclidiana de temperatura mínima anual	92
Tabla 7.12. Variables para determinar la distancia euclidiana de evaporación acumulada anual	93
Tabla 7.13. Resumen de las técnicas de regionalización de precipitación acumulada anual	94
Tabla 7.14. Resumen de las técnicas de regionalización de temperatura máxima anual	95
Tabla 7.15. Resumen de las técnicas de regionalización de temperatura mínima anual	96
Tabla 7.16. Resumen de las técnicas de regionalización de evaporación acumulada anual	97
Tabla 7.17. Estaciones pertenecientes a las regiones homogéneas de cada variable climatológica	100
Tabla 7.18. Resumen de series diarias de precipitación.....	101
Tabla 7.19. Resumen de series diarias de temperatura máxima.....	101

Tabla 7.20. Resumen de series diarias de temperatura mínima	102
Tabla 7.21. Resumen de series diarias de evaporación	102
Tabla 7.22. Comparación de estadístico de las series diarias de precipitación	103
Tabla 7.23. Comparación de estadístico de las series diarias de temperatura máxima	103
Tabla 7.24. Comparación de estadístico de las series diarias de temperatura mínima.....	103
Tabla 7.25. Comparación de estadístico de las series diarias de evaporación.....	104
Tabla 7.26. Estaciones para delimitar la región homogénea	105
Tabla 7.27. Periodo común de estaciones precipitación-temperatura	105
Tabla 7.28. Estadísticos del periodo común de estaciones precipitación-temperatura	106
Tabla 7.29. Variables para determinar la distancia euclidiana de estaciones precipitación-temperatura.....	108
Tabla 7.30. Resumen de pruebas de regionalización para estaciones precipitación-temperatura...	109
Tabla 7.31. Estaciones pertenecientes a la región homogénea Precipitación-Temperatura.....	110
Tabla 7.32. Estadísticos de la precipitación de la región homogénea Precipitación-Temperatura .	111
Tabla 7.33. Estadísticos de la temperatura máxima de la región homogénea Precipitación-Temperatura	111
Tabla 7.34. Estadísticos de la temperatura mínima de la región homogénea Precipitación-Temperatura	111
Tabla 7.35. Resumen de la serie de precipitación de la región homogénea Precipitación-Temperatura	112
Tabla 7.36. Resumen de la serie de temperatura máxima de la región homogénea Precipitación-Temperatura	112
Tabla 7.37. Resumen de la serie de temperatura mínima de la región homogénea Precipitación-Temperatura	113
Tabla 7.38. Precipitación acumulada anual de la región homogénea Precipitación-Temperatura..	114
Tabla 7.39. Temperatura máxima anual de la región homogénea Precipitación-Temperatura.....	116
Tabla 7.40. Temperatura mínima anual de la región homogénea Precipitación-Temperatura.....	118
Tabla 7.41. Evaporación acumulada anual de la región homogénea	120
Tabla 7.42. Parámetros de lluvia acumulada anual	122
Tabla 7.43. Parámetros de temperatura máxima anual	123
Tabla 7.44. Parámetros de temperatura mínima anual	123
Tabla 7.45. Parámetros de evaporación acumulada anual.....	123
Tabla 7.46. Resumen de pruebas de homogeneidad y tendencia para precipitación acumulada anual	124
Tabla 7.47. Resumen de pruebas de homogeneidad y tendencia para temperatura máxima anual .	125
Tabla 7.48. Resumen de pruebas de homogeneidad y tendencia para temperatura mínima anual .	126
Tabla 7.49. Resumen de pruebas de homogeneidad y tendencia para evaporación acumulada anual	127
Tabla 7.50. Evapotranspiración real en las estaciones de la región homogénea Precipitación-temperatura.....	129
Tabla 7.51. Parámetros obtenidos del estudio realizado por la CONAGUA	131
Tabla 7.52. Parámetros iniciales para calibrar el modelo.....	131

Tabla 7.53. Valores tabulados de las curvas elevación-capacidad-área	132
Tabla 7.54. Matriz de correlación entre meses.....	133
Tabla 7.55. Registro mensual de cotas del lago lleno	134
Tabla 7.56. Estadísticos de los mapas de distribución espacial para diferentes variables y años ...	138
Tabla 7.57. Valores medios de la cuenca	139
Tabla 7.58. Condiciones iniciales del lago.....	141
Tabla 7.59. Periodos de calibración y prueba	142
Tabla 7.60. Modelos propuestos	143
Tabla 7.61. Cota final anual.....	144
Tabla 7.62. Parámetros iniciales del periodo de calibración.....	145
Tabla 7.63. Serie anual del balance hídrico del periodo de calibración	146
Tabla 7.64. Parámetros iniciales del periodo de calibración	149
Tabla 7.65. Serie anual del balance hídrico del periodo de prueba.....	150
Tabla 7.66. Valores medios anuales.....	152
Tabla 7.67. Ecuación que mejor ajusta y EMC del periodo de calibración y prueba.....	153
Tabla 7.68. Error medio cuadrado de los diferentes modelos	153
Tabla 7.69. Valores medios de las series proyectadas	163
Tabla 7.70. Profundidad ponderada de la propuesta 1	163
Tabla 7.71. Profundidad del lago y frecuencia de desbordamiento	164
Tabla A.1. Prueba de Pettit para precipitación acumulada anual.....	172
Tabla A.2. Prueba de Pettit para temperatura máxima anual	172
Tabla A.3. Prueba de Pettit para temperatura mínima anual.....	173
Tabla A.4. Prueba de Pettit para evaporación acumulada anual	173
Tabla A.5. Prueba normal estándar para precipitación acumulada anual.....	173
Tabla A.6. Prueba normal estándar para temperatura máxima anual.....	174
Tabla A.7. Prueba normal estándar para temperatura mínima anual	174
Tabla A.8. Prueba normal estándar para evaporación acumulada anual.....	174
Tabla A.9. Prueba de Buishand para precipitación acumulada anual	175
Tabla A.10. Prueba de Buishand para temperatura máxima anual.....	175
Tabla A.11. Prueba de Buishand para temperatura mínima anual	175
Tabla A.12. Prueba de Buishand para evaporación acumulada anual.....	176
Tabla A.13. Prueba de Van Newman para precipitación acumulada anual	176
Tabla A.14. Prueba de Van Newman para temperatura máxima anual.....	176
Tabla A.15. Prueba de Van Newman para temperatura mínima anual	177
Tabla A.16. Prueba de Van Newman para evaporación acumulada anual.....	177
Tabla A.17. Prueba de Fisher para precipitación acumulada anual	177
Tabla A.18. Prueba de Fisher para temperatura máxima anual.....	178
Tabla A.19. Prueba de Fisher para temperatura mínima anual	178
Tabla A.20. Prueba de Fisher para evaporación acumulada anual.....	178
Tabla A.21. Prueba de Helmert para precipitación acumulada anual	179
Tabla A.22. Prueba de Helmert para temperatura máxima anual.....	179
Tabla A.23. Prueba de Helmert para temperatura mínima anual	179

Tabla A.24. Prueba de Helmert para evaporación acumulada anual.....	180
Tabla A.25. Prueba t de student para precipitación acumulada anual.....	180
Tabla A.26. Prueba t de student para temperatura máxima anual.....	180
Tabla A.27. Prueba t de student para temperatura mínima anual.....	181
Tabla A.28. Prueba t de student para evaporación acumulada anual.....	181
Tabla A.29. Prueba de Crammer para precipitación acumulada anual.....	181
Tabla A.30. Prueba de Crammer para temperatura máxima anual.....	182
Tabla A.31. Prueba de Crammer para temperatura mínima anual.....	182
Tabla A.32. Prueba de Crammer para evaporación acumulada anual.....	182
Tabla A.33. Prueba de Mann Kendall para precipitación acumulada anual.....	183
Tabla A.34. Prueba de Mann Kendall para temperatura máxima anual.....	183
Tabla A.35. Prueba de Mann Kendall para temperatura mínima anual.....	183
Tabla A.36. Prueba de Mann Kendall para evaporación acumulada anual.....	184
Tabla A.37. Prueba de Spearman para precipitación acumulada anual.....	184
Tabla A.38. Prueba de Spearman para temperatura máxima anual.....	184
Tabla A.39. Prueba de Spearman para temperatura mínima anual.....	185
Tabla A.40. Prueba de Spearman para evaporación acumulada anual.....	185
Tabla B.41. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 11002.....	186
Tabla B.42. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16022.....	188
Tabla B.43. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16027.....	189
Tabla B.44. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16028.....	191
Tabla B.45. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16052.....	193
Tabla B.46. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16081.....	195
Tabla B.47. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16096.....	197
Tabla B.48. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16120.....	198
Tabla C.49. Serie anual del balance hídrico del periodo de calibración del modelo Ce_E_2.....	200
Tabla C.50. Serie anual del balance hídrico del periodo de prueba del modelo Ce_E_2.....	201
Tabla C.51. Serie anual del balance hídrico del periodo de calibración del modelo Ci_E_1.....	204
Tabla C.52. Serie anual del balance hídrico del periodo de prueba del modelo Ci_E_1.....	207
Tabla C.53. Serie anual del balance hídrico del periodo de calibración del modelo Ci_E_2.....	209
Tabla C.54. Serie anual del balance hídrico del periodo de prueba del modelo Ci_E_2.....	212
Tabla C.55. Serie anual del balance hídrico de la propuesta A360.....	214
Tabla C.56. Profundidad ponderada de la propuesta A370.....	215
Tabla C.57. Serie anual del balance hídrico de la propuesta A370.....	216
Tabla C.58. Profundidad ponderada de la propuesta A380.....	217
Tabla C.59. Serie anual del balance hídrico de la propuesta A380.....	218
Tabla C.60. Profundidad ponderada de la propuesta A390.....	219
Tabla C.61. Serie anual del balance hídrico de la propuesta A390.....	220

Índice de Figuras

Figura 0.1. Lago de Cuitzeo en diferentes años	12
Figura 1.1 Mapa macro y micro localización de la cuenca	15
Figura 1.2. Municipios de la Cuenca del Lago de Cuitzeo	19
Figura 3.1. Interfaz de CLICOM para descargar información climatológica	29
Figura 3.2. Interfaz del BANDAS.....	29
Figura 3.3. Grafica por mes del nivel del lago	33
Figura 3.4. Plano de curvas de nivel del lago de Cuitzeo	34
Figura 3.5. Curvas elevación-capacidad-área del lago de Cuitzeo.....	34
Figura 4.1. Estaciones hidrométricas y climatológicas seleccionadas	42
Figura 4.2. Diagrama de flujo de llenado de datos faltantes por medio de regresión	53
Figura 6.1 - Diagrama de flujo de la metodología empleada	66
Figura 6.2. Metodología para estimar el incremento de volumen en el lago	73
Figura 7.1- Estaciones con periodo común (Precipitación acumulada anual).....	80
Figura 7.2. Estaciones con periodo común (Temperatura máxima anual)	81
Figura 7.3. Estaciones con periodo común (Temperatura mínima anual).....	82
Figura 7.4. Estaciones con periodo común (Evaporación acumulada anual).....	83
Figura 7.5. Prueba del coeficiente de variación-L para las 4 variables	88
Figura 7.6. Prueba de parámetro β para para las 4 variables.....	89
Figura 7.7. Estaciones pertenecientes a la región homogénea de precipitación acumulada anual....	97
Figura 7.8. Estaciones pertenecientes a la región homogénea de temperatura máxima anual	98
Figura 7.9. Estaciones pertenecientes a la región homogénea de temperatura mínima anual.....	98
Figura 7.10. Estaciones pertenecientes a la región homogénea de evaporación acumulada anual ...	99
Figura 7.11. Prueba de coeficiente de variación - L para estaciones precipitación-temperatura	107
Figura 7.12. Prueba de parámetro β para estaciones precipitación-temperatura	107
Figura 7.13. Región homogénea Precipitación-Temperatura de la cuenca del lago de Cuitzeo	110
Figura 7.14. Estaciones de la región homogénea Precipitación-Temperatura y región homogénea de Evaporación.....	122
Figura 7.15. Graficas de las curvas elevación capacidad-área	132
Figura 7.16. Ecuación que mejor ajusta y correlación entre valores medidos y estimados	133
Figura 7.17. Datos medidos vs datos estimados.....	134
Figura 7.18. Distribución espacial de la precipitación en la cuenca para el año 1994	137
Figura 7.19. Distribución espacial de la evapotranspiración real en la cuenca para el año 1994 ...	137
Figura 7.20. Distribución espacial de la evaporación en el lago para el año 1994.....	138
Figura 7.21. Resultados del modelo sin calibrar	142
Figura 7.22. Cota final del lago por año.....	145
Figura 7.23. Volumen aportado anualmente del periodo de calibración.....	148
Figura 7.24. Volumen final anual del periodo de calibración	148
Figura 7.25. Cota final anual del lago del periodo de calibración.....	149
Figura 7.26. Volumen aportado anualmente del periodo de prueba.....	151
Figura 7.27. Volumen final anual del periodo de prueba	151

Figura 7.28. Cota final anual del lago del periodo de prueba	152
Figura 7.29. Cotas del lago y límites recomendados.....	154
Figura 7.30. Curvas e-c-a original y propuesta 1	155
Figura 7.31. Comparación del comportamiento del lago real vs estimado 1	155
Figura 7.32. Proyección del comportamiento con bordo y límites recomendados 1.....	156
Figura 7.33. Área del lago por año (propuesta1)	156
Figura 7.34. Curvas e-c-a original y propuesta 2	157
Figura 7.35. Comparación del comportamiento del lago real vs estimado 2	157
Figura 7.36. Proyección del comportamiento con bordo y límites recomendados 2.....	158
Figura 7.37. Área del lago por año (propuesta2)	158
Figura 7.38. Curvas e-c-a original y propuesta 3	159
Figura 7.39. Comparación del comportamiento del lago real vs estimado 3	159
Figura 7.40. Proyección del comportamiento con bordo y límites recomendados 3.....	160
Figura 7.41. Área del lago por año (propuesta 3)	160
Figura 7.42. Curvas e-c-a original y propuesta 4	161
Figura 7.43. Comparación del comportamiento del lago real vs estimado 4	161
Figura 7.44. Proyección del comportamiento con bordo y límites recomendados 4.....	162
Figura 7.45. Área del lago por año (propuesta 4)	162
Figura 8.1. Propuestas de bordos para estabilizar el nivel del lago de Cuitzeo.....	166
Figura C.0.1. ΔV , Volumen y cota del periodo de calibración del modelo Ce_E_2.....	201
Figura C.0.2. ΔV , Volumen y cota del periodo de prueba del modelo Ce_E_2	203
Figura C.0.3. ΔV , Volumen y cota del periodo de calibración del modelo Ci_E_1	206
Figura C.0.4. ΔV , Volumen y cota del periodo de prueba del modelo Ci_E_1	208
Figura C.0.5. ΔV , Volumen y cota del periodo de calibración del modelo Ci_E_2	211
Figura C.0.6. ΔV , Volumen y cota del periodo de prueba del modelo Ci_E_2	213

Resumen

La cuenca del lago de Cuitzeo se localiza al norte del estado de Michoacán y una pequeña parte en el estado Guanajuato, se encuentra en el Sistema Volcánico Mexicano Transversal, entre los 19° 30' y 20° 05' latitud norte y 100° 35' y 101° 30' longitud oeste y ocupa una superficie de 4,023.6 km² de las cuales el vaso del lago abarca una superficie promedio de 424 km². El 30% de la población económicamente activa trabaja en el sector primario y el otro 70% lo hace en los sectores secundario y terciario.

La problemática principal del lago, es la inestabilidad en su nivel, ya que en el estiaje el nivel puede llegar a estar muy bajo, incluso llegar a secarse completamente, lo que afecta económica y socialmente a la población, además de generar serios problemas ambientales y sanitarios.

La metodología propuesta consistió en recabar información histórica de la cuenca y del vaso del lago, así como el registro histórico de los niveles hipsométricos y las curvas de elevación-capacidad-área del lago de Cuitzeo; además, de los registros diarios de precipitación, temperaturas, evaporación y gastos medios diarios de las estaciones climatológicas e hidrométricas de la zona. Posteriormente se delimitaron las regiones homogéneas de cada variable y se hizo el llenado de los datos faltantes en los registros con las técnicas de interpolación. A las series anuales llenas se les aplicó las pruebas de homogeneidad y tendencia, para determinar el comportamiento de las series anuales. Finalmente se propusieron diferentes modelos de balance hídrico, utilizando variables como el coeficiente de escurrimiento, evapotranspiración real, coeficiente de infiltración, etc. Estos modelos se calibraron con los registros mensuales de la cota del lago y se determinó el mejor ajuste a la cuenca.

Con el modelo calibrado se propusieron diferentes escenarios en el lago, modificando la topografía del vaso, con el fin de estimar el comportamiento del nivel del lago con dicha propuesta.

Se determinó que con la existencia de un bordo que reduzca el área de evaporación del lago a 360 km², el nivel se estabiliza; ya que se logra minimizar el número de años que el lago se encuentra debajo de la cota mínima recomendable, además la profundidad media del lago aumento en comparación a la profundidad media sin bordo, y se calculó que en 200 km² del lago se mantiene una profundidad mínima de 1.73 m y una profundidad promedio de 1.97 m; y en 360 km² la profundidad mínima es de .97 m y la profundidad promedio es de 1.59 m.

Un modelo de balance hídrico calibrado es una herramienta útil para el manejo de los recursos hídricos de una cuenca; ya que podemos evaluar todas las propuestas y seleccionar la óptima para mejorar las condiciones productivas, sociales y ambientales del Lago de Cuitzeo.

Introducción

El lago de Cuitzeo es un lago endorreico ubicado en un valle del Eje Neovolcánico de México, perteneciente a los estados de Michoacán y Guanajuato. Su nombre proviene de la palabra purépecha “*cuisseo*”, que significa “*lugar de tinajas*” (García Vega D., 2016). Con una superficie variable de 300 a 400 km², ocupa el segundo lugar en superficie entre los lagos del país, el primero es el lago de Chapala. El lago de Cuitzeo tiene una profundidad promedio de 1 m y se ubica a una altitud promedio de 1,819 msnm.

El lago de Cuitzeo es de gran importancia para la región, ya que contribuye a regular el clima de la cuenca; además, es sustento y hábitat de diversas especies acuáticas. Forma parte de la red hemisférica de reservas para aves playeras como sitio de categoría regional. La economía local depende, en gran medida, de la pesca de charal, carpa, mojarra y tilapia, así como de la caza de rana.

El lago tiene una edad geológica avanzada y desde el periodo Mioceno Tardío ha sido un lago muy somero, por lo que tiende a secarse periódicamente. Se estima que ya se han secado de forma permanente cerca de 120 km². (Bocco G., 2012)

En el ámbito nacional, la CONABIO considera que la cuenca del lago de Cuitzeo es una región prioritaria para la conservación de su biodiversidad, ya que su flora y fauna se encuentran en un precario estado de supervivencia, es decir, cerca del punto de extinción. (Vargas Uriel, 2012), en tanto que en lo internacional, el lago ha sido declarado como zona prioritaria para la investigación y la conservación por el Comité Tripartita, compuesto por la Dirección General de Conservación Ecológica de los Recursos Naturales, el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos, el Servicio Canadiense para la Vida Silvestre y la Oficina para la Coordinación de la Gestión de los Humedales de México, Sección Pacífico (Bocco G., 2012).

Se han operado diversos proyectos dirigidos a la cuenca, sin embargo, para la importancia del lago y la severidad del problema que este presenta, estas acciones no han sido suficientes; ya que se requiere más atención e inversión por parte de los tres niveles de gobierno para el correcto manejo y restauración del lago de Cuitzeo.

El nivel del lago depende del volumen de agua y de sus curvas elevación-capacidad-área; los volúmenes que llegan al lago dependen de las variables climatológicas, las cuales no han tenido un cambio significativo en los últimos años. En la zona se presentan periodos húmedos y periodos secos, los cuales se ven reflejados en el lago. El lago por naturaleza es muy somero, lo que significa que el

nivel es bajo, además de tener un área muy grande lo que propicia la evaporación en el embalse, por lo que naturalmente tiende a secarse.

El vaso norte y oeste son los más someros y por consiguiente es donde se presenta una mayor pérdida de agua por evaporación, al mismo tiempo, estas áreas son las primeras que se secan y en consecuencia es donde se presentan las tolvaneras.

Problemática

El lago y la cuenca de Cuitzeo es de gran importancia ya que en ella se ubica un porcentaje importante de la población del estado, sin embargo, presentan serios problemas que afectan ecológica o socialmente al sistema.

El problema que se plantea solucionar es la inestabilidad del nivel del Lago de Cuitzeo, ya que este puede llegar a su máximo nivel en algunos períodos o llegar a secarse casi por completo, tal y como se observa en las siguientes imágenes (2008, 1990):



Figura 0.1. Lago de Cuitzeo en diferentes años

A causa de esto, se generan diversos problemas económicos, sociales y ecológicos, tales como:

Los pescadores se ven afectados cuando el nivel del lago es muy bajo o este se seca, mientras que, si el nivel es muy elevado, el lago invade tierras agrícolas o de pastoreo, por lo que los agricultores y ganaderos de la ribera del lago no pueden disponer de sus tierras.

Esto repercute directamente la economía de la población de la zona, ya que las variaciones del nivel representan pérdidas económicas muy grandes; y al no tener fuentes de trabajo estables mucha gente opta por migrar a otros sitios buscando una mejor calidad de vida.

Cuando el nivel es muy elevado dificulta el drenaje por gravedad del distrito de riego Morelia-Queréndaro y eleva el nivel freático de las parcelas. (Sistemas hidráulicos y ambientales S. d., 1986)

El proceso de desecación en el vaso del lago y la dirección-velocidad del viento favorecen la generación de tolveneras que cubren las poblaciones ribereñas, principalmente: Capacho (Huandacareo), Doctor Miguel Silva y Jeruco (Cuitzeo), con el consiguiente incremento de las enfermedades respiratorias, gastrointestinales y dermatológicas. (Trueba Regalado, 2019)

Cuando el nivel del lago baja o se seca completamente, los contaminantes que posee el agua lacustre se concentran en el lago o se asientan en el suelo.

Los principales contaminantes que se han encontrado en la superficie del lago, debido a las descargas de aguas residuales de origen industrial, agropecuario y de servicio municipal son: arsénico, plomo, níquel, cadmio, cobre, zinc, vanadio, antimonio, carbono orgánico, epóxido de heptocloro, fósforo y coliformes fecales.

Estos son componentes tóxicos, cancerígenos o mutagénicos, aun en bajas concentraciones, tanto para humanos y animales. Algunos son bioacumulables en la cadena alimenticia, como lo son el cromo, cadmio y plomo.

Al ser el segundo lago más grande de México y contar con un pueblo mágico en su ribera lo convierten en un punto de interés para los turistas, lo cual genera una derrama económica considerable que contribuye a crear fuentes de empleo.

En invierno es un punto de reunión de diversas especies de aves migratorias como el pelicano borregón y pato canadiense, etc. que atraen a los turistas.

En varias poblaciones ribereñas presentan importante infraestructura turística, es decir, centros recreativos con aguas termales medicinales; estos se localizan principalmente en: Huandacareo, Zinapécuaro, Copandaro, Chucándiro y Cuitzeo.

Objetivo General

Realizar un análisis del comportamiento hidrológico de la cuenca del lago de Cuitzeo, tal que permita contar con una herramienta para la gestión del lago, con la cual sea posible proponer y analizar alternativas que resuelvan el problema de la inestabilidad del nivel en el lago de Cuitzeo.

Objetivo Particulares

1. Delimitar una región homogénea de precipitación, temperaturas y evaporación; además de crear una base de datos climatológicos en la cuenca.
2. Definir y calibrar el modelo que describa la variación en el nivel del lago de Cuitzeo
3. Realizar el balance hídrico del lago de Cuitzeo.
4. Aplicar el modelo con diferentes escenarios y proponer la mejor alternativa para la estabilidad del lago.

1. Características de la Cuenca del Lago de Cuitzeo

1.1. Localización geográfica

La zona en estudio se localiza entre los paralelos 19°30' y 20°05' latitud norte, y meridianos 100°35' y 101°30' longitud oeste y abarca una superficie de 3,822 km². El mayor porcentaje de la cuenca de estudio pertenece al estado de Michoacán y la parte norte corresponde al estado de Guanajuato (Figura 1.1). Cuitzeo junto con los lagos de Pátzcuaro, Zirahuén y Zacapu forma parte del grupo de cuencas endorreicas del Sistema Volcánico Transversal. El Lago Cuitzeo es en extensión el segundo cuerpo de agua más grande, pero es el que tiene mayor grado de salinidad. El cuerpo de agua y las zonas de inundación de Cuitzeo, abarcan una superficie de ente 300 a 400 km² y, donde se localizan 11 islas (Bocco G., 2012).

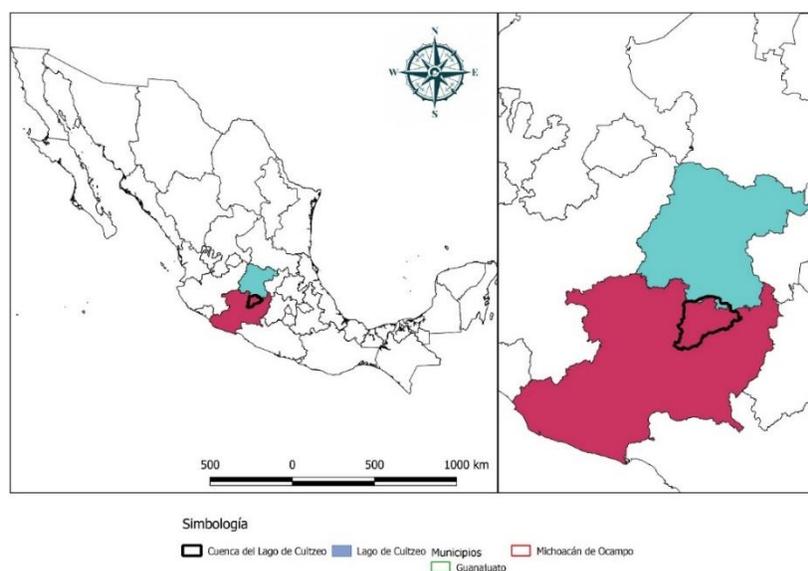


Figura 1.1 Mapa macro y micro localización de la cuenca

1.2. Medio Físico

1.2.1. Geomorfología

La cuenca es en general, una unidad hidrológica de baja amplitud de relieve. La cuenca se desarrolla desde los 1,830 hasta los 3,420 msnm; sin embargo, el 90% de la cuenca se localiza por debajo de la curva de 2,500 msnm. En relación a las pendientes, éstas varían principalmente entre 0 y 20° (90%). En consecuencia, el 90% de la densidad de la disección es de nula a moderada, lo que tiene importantes implicaciones en los procesos de desprendimiento y transporte de materiales (erosión). Las características morfométricas de la cuenca no favorecen los procesos erosivos y en consecuencia

no existe suficiente material para ser depositado en las porciones más bajas de la cuenca, especialmente en el vaso del lago de Cuitzeo. (Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas (CEAC), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2009)

El lago de Cuitzeo inicio su formación hace siete millones de años y mantuvo niveles profundos en el centro, pero se fue azolvando debido a la erosión con el paso del tiempo, actualmente el lago tiene una profundidad promedio de un metro. (Bravo E. M., 2008).

1.2.2. Geología

El área de Tafetán, Tzitzio, Morelia, Mil Cumbres y Angangueo, corresponde al periodo terciario medio superior volcánico y está conformada por las sucesiones volcánicas pseudoestratificadas. Está constituida por derrames de lavas basálticas a dacíticas, conglomerados volcánicos, ignimbritas, brechas andesíticas o riolíticas y algunos delgados horizontes de arenisca y limonita. Al periodo terciario superior clástico está representada por una alternancia de limonitas y areniscas de origen lacustre, tal es el caso de Charo donde existen algunos depósitos de diatomita. La depresión Cuitzeo se extiende, desde el municipio de Zacapu hasta los límites entre los Estados de Michoacán y Estado de México, en la cual se presentan los denominados Altos de Purúandiro-Huaniqueo y el Alto de los Azufres. Estos elementos estructurales están cortados por fallas NE-SW en el sector occidental y E-W en el sector oriental. (Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas (CEAC), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2009)

1.2.3. Hidrología

El lago de Cuitzeo presenta tres afluentes principales que confluyen en su ribera sureste: el río Grande de Morelia, el río Queréndaro y el río Zinapécuaro. Estos ríos descargan aguas negras al lago de Cuitzeo, las cuales provienen de usos doméstico, agropecuario e industrial. Cuitzeo cuenta además con las aportaciones de numerosos arroyos de temporal y al menos 30 fuentes termales que se localizan en lomeríos de la parte baja de la cuenca del lago. (Bocco G., 2012).

1.2.4. Climatología

El clima predominante es; templado sub húmedo C(w) (w), con lluvias en verano, además se ha registrado un gradiente de incremento de humedad y descenso de temperatura de norte a sur, correspondiente a un incremento en la amplitud de relieve de la cuenca; de igual manera se tiene un porcentaje de lluvia invernal menor del 5% de la anual, registrándose tres variantes en cuanto a precipitación:

- C (w0) (w) El más seco.
- C (w1) (w) Intermedio, en cuanto a humedad.
- C (w2) (w) El más lluvioso.

En la porción centro-norte, se presenta el clima semicálido con lluvias en verano A (C) (w). (Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas (CEAC), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2009).

1.2.5. Suelo

En la mayor parte de la cuenca se encuentran suelos vertisoles, luvisoles, andosoles y acrisoles (suelos constituidos por materiales con texturas predominantemente finas), entre los que destacan en la parte baja (porción centro y norte) los Vertisoles (33.8%), que se utilizan para agricultura de riego y temporal.

En las partes altas y medias de la cuenca (sección este sobre los conos volcánicos y sección centro-oeste en piedemontes volcánicos) se encuentran los suelos Luvisoles (17.3%), distribuidos en sierras, lomeríos y mesetas; los Andosoles (11.6%), al sur y sureste; Acrisoles al sur (10.3%), Feozem (10%), Litosoles (3.4%). Solonchack (2.1%), Ranker (6,010.3 ha), Planosoles (3,493.3 ha), Gleysol (2,706 ha), Cambisol (1,681.2 ha) y Regosoles (137.1 ha) los cuales están en forma dispersa en toda la cuenca. (Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas (CEAC), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2009).

1.2.6. Vegetación

En la cuenca de Cuitzeo, se encuentran los siguientes tipos de vegetación más extensos, con las superficies correspondientes: se estiman 81,750 ha de Bosque de pino-encino; 7,770 ha de encino-pino, 32,500 ha de Bosque de encino; 57,500 ha de Matorral subtropical; 50,750 ha de pastos inducidos y la superficie agrícola de 152,250 ha.

Hay otros tipos de vegetación, aunque representados en menores superficies, como: son el Bosque de pino, Bosque de oyamel, Bosque de galería, Bosque mesófilo de montaña, Mezquital, Pastizal halófilo, el Tular y Carrizal, en gran parte de los márgenes del Lago. (Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas (CEAC), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2009).

1.2.7. Fauna

La fauna característica que encontramos en la cuenca de Cuitzeo es: de crustáceos, Cambarellus (Cambarellus montezumae); de peces, (Algansea tincella), (Allophorus robustus), (Chirostoma aculeatum), (Hubbsina turneri), (Xenotoca variatade); de aves, el vencejo frente blanca (Cypseloides storeri); de mamíferos, mapache (Procyon lotor), coyote (Canis latrans), el zorrillo (Conepatus

mesoleucus), el tlacuache (*Didelphis virginiana*), la comadreja (*Mustela frenata*), el tejón (*Nasua larica*), la ardilla de tierra (*Spermophilus variegatus*), el conejo (*Sylvilagus floridanus*) y la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*). Endemismos de peces (*Algansea lacustris*), (*Allotoca dugesi*), (*Chirostoma attenuatum*), (*C bartoni*), (*C. grandocule*), (*C. jordani*), (*Goodea atripinnis*), (*Poecilopsis infans*); de aves (*Geothlypis speciosa*). Los peces (*Hubbsina turneri*), (*Lampetra spadicea*), (*Skiffia bilineata*), (*S. lermae*); la rana (*Anas acuta*) y las aves (*Accipiter striatus*), (*Geothlypis speciosa*), (*Ixobrychus exilis*), (*Vireo nelson*) se encuentran amenazados por contaminación, desecación de cuerpos de agua y extracción de acuíferos (Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas (CEAC), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2009).

1.3. Medio Social

1.3.1. Población

La zona de estudio se encuentra conformada por 28 municipios, de los cuales 23 corresponden al estado de Michoacán de Ocampo y 5 municipios corresponden al estado de Guanajuato (Figura 1.2). Dentro de la cuenca se localizan 15 cabeceras municipales: Acuitzio del Canje, Álvaro Obregón, Copándaro de Galeana, Cuitzeo del Porvenir, Charo, Chucándiro, Huandacareo, Huiramba, Indaparapeo, Lagunillas, Queréndaro, Santa Ana Maya, Tarímbaro, Zinapécuaro y Morelia. Según datos (INEGI, 2019), en el año de 1970 existían 391 asentamientos humanos que aumentaron a 680 en el 2000. Según las mismas fuentes, la población de la cuenca en el año de 1970 era de 380,787 habitantes (16.4% de la población estatal) y en el año 2000 era de 837,773 habitantes (21.6% de la población estatal). Los municipios con mayor población eran Morelia, Zinapécuaro, Tarímbaro y Cuitzeo, en donde se encuentran ubicadas las ciudades con mayor población de la cuenca, incluyendo la ciudad de Morelia, el asentamiento más importante en términos poblaciones y económicos del área de estudio, al ser la capital del estado (Bocco G., 2012).

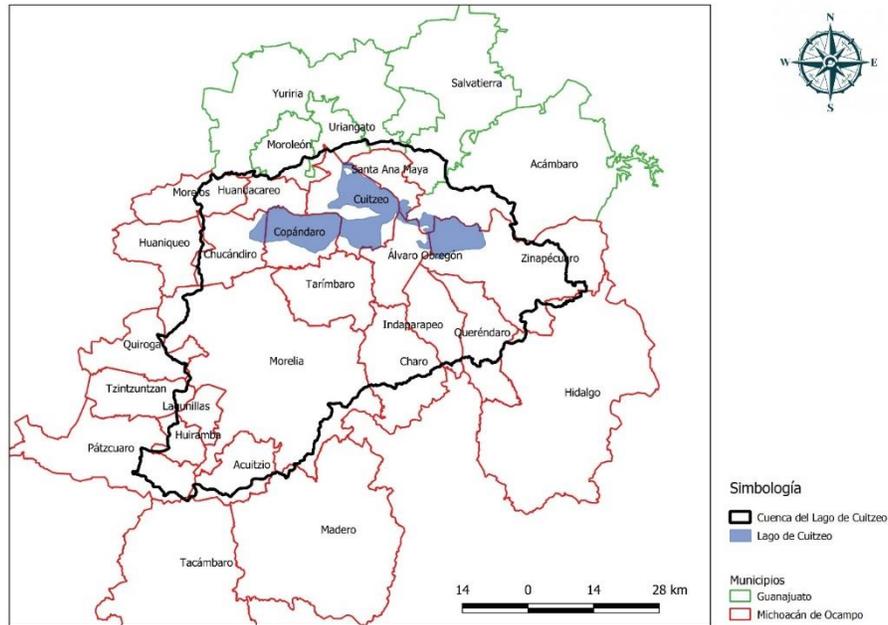


Figura 1.2. Municipios de la Cuenca del Lago de Cuitzeo

1.3.2. Actividades económicas

Las principales actividades económicas que se desarrollaban en la zona de estudio en 1975 eran principalmente agropecuarias con cultivo de granos y producción de animales (en promedio el 88% de la población económicamente activa (PEA) se dedicaba a realizar actividades primarias). En el año 2000 únicamente el 30% de la PEA se mantenía en el sector primario y el resto se dedicaba a actividades secundarias y terciarias. Una característica importante de la población que habita en la cuenca, es su tendencia a la emigración hacia la ciudad de Morelia y los Estados Unidos; el 78.6% de los municipios que conforman la zona tienen intensidades migratorias altas y muy altas. (Bravo E. M., 2008).

2. Estudios previos en la zona de estudio

A continuación, se presentan algunos trabajos realizados en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, los cuales sirvieron de base para comprender los aspectos ecológicos, sociales, económicos, además de describir los problemas y la importancia de la cuenca en la región.

- **Simulación del impacto de las descargas de agua residual en el río grande de Morelia** (Rodríguez Castro, 2012)

El análisis de la variación del oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno en el Río Grande de Morelia, a través de la simulación numérica, permitió identificar el impacto de la evolución de la materia orgánica proveniente de las descargas puntuales de dicho cauce. Los resultados obtenidos con el modelo ayudan a visualizar el comportamiento hidráulico-ambiental del cauce, lo que es importante y puede servir de apoyo en la selección de mejores alternativas de tratamiento para el saneamiento.

- **La erosión en cárcavas en la subcuenca de Coíntzio, Michoacán: Características, impacto y control** (Bravo-Espinosa, 2012).

El propósito de este trabajo fue caracterizar las cárcavas profundas, determinar su impacto como fuentes de sedimento y degradación, y proponer medidas para su control. La erosión en cárcavas es quizás la mayor fuente puntual de sedimento, y, por lo tanto, el mayor proceso de degradación del suelo en la cuenca de Coíntzio. Se proponen medidas de control de la erosión en cárcavas con base en el uso de la vegetación nativa e introducida, bajo el concepto de cuenca y con el involucramiento de los usuarios de las áreas afectadas y las instituciones gubernamentales.

- **Simulación hidrológica en la cuenca del lago de Cuitzeo, con apoyo de un sistema de información geográfica** (Rodríguez-Castro, 2012).

Con la finalidad de tener un panorama completo de la cantidad, calidad y distribución de los volúmenes de agua que circulan a través de la cuenca de Cuitzeo, se desarrollaron herramientas de apoyo para el análisis y toma de decisiones, consistentes en modelos gráficas y mapas, entre otros. Estas herramientas están orientadas al manejo racional del recurso hídrico en la cuenca, el cual es parte fundamental del desarrollo de la región y el estado en general.

El resultado indica una tendencia paulatina a la reducción del escurrimiento superficial, lo cual tiene como consecuencia la disminución de las profundidades y extensión del vaso receptor (Lago de Cuitzeo). De continuar con esta tendencia, el lago eventualmente entrara en condiciones más severas de desecamiento con consecuencias desastrosas para el medio ambiente y las poblaciones dentro de la cuenca. Por lo tanto, este modelo puede servir en la exploración de escenarios encaminados a la protección y preservación del lago.

- **Perspectiva de solución a los problemas ambientales de la Cuenca del Lago de Cuitzeo** (Vargas Uriel, 2012).

El grave deterioro ambiental que presenta la Cuenca del Lago de Cuitzeo, justifica la implementación de un proyecto interdisciplinario, que incluya urgentes acciones específicas como: realizar un ordenamiento ecológico territorial, resolver la contaminación química y microbiana de las aguas residuales utilizadas en la agricultura del Distrito de riego Morelia-Queréndaro a través de la separación de las aguas negras y las pluviales que representan una valiosa fuente para el suministro municipal con aguas de excelente calidad, la racionalización del uso de los recursos naturales de esta cuenca: fundamentalmente los bosques, pastos y el agua superficial y subterránea, así como un programa permanente de educación ambiental dirigido a estudiantes desde el nivel preescolar hasta el de licenciatura, a fin de consolidar la formación del alumno con base en valores, actitudes, percepciones y reflexión sobre la dualidad causa-efecto de los daños ocasionados al ambiente y las repercusiones en contra del ser humano. Se recomienda la implementación del pago por servicios ambientales para mejorar la calidad de vida en la cuenca.

- **Planta potabilizadora de Morelia, Michoacán** (Barboza Ornelas, 2012).

La presa de Coíntzio es la principal fuente de abastecimiento para la ciudad de Morelia, en 1949 se iniciaron las obras de la planta potabilizadora en la loma de Santa María, las cuales incluyen un canal de conducción de 13.76 km de longitud con una capacidad de 700 lps. El sistema de potabilización consiste de 4 clarifloculadores, 10 filtros rápidos de arena, un tanque de almacenamiento de 3600 y 6500 m³ de capacidad, un tanque para aguas de servicio, una estación de cloración, 2 pilas de concreto para preparar soluciones, y una planta eléctrica de emergencia. El proceso de tratamiento es el adecuado al tipo de impurezas presentes en el agua de la presa de Coíntzio, la cual generalmente aparece como turbia y colorada, y contiene una arcilla ferruginosa en estado coloidal. El proceso en

la planta potabilizadora se lleva a cabo en las siguientes etapas: coagulación, floculación, sedimentación, acondicionamiento, desinfección, filtración, almacenamiento y distribución. Se cuenta con un laboratorio para vigilar la calidad del agua, en el cual se practican análisis físicos, químicos y bacteriológicos al agua.

- **Áreas potenciales para plantaciones forestales comerciales en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán** (Sáenz Reyes, 2012).

Las plantaciones forestales comerciales son una alternativa para aumentar la productividad de los suelos, protegerlos de la erosión y asegurar el abastecimiento de materia prima a la industria forestal; además, generan fuente de empleo. Dado lo anterior, es necesaria la ubicación de zonas potenciales para plantaciones con las especies forestales de mayor rendimiento, las cuales, con un adecuado manejo silvícola, aumentarían la posibilidad de alcanzar una silvicultura industrial con enfoque económico y de sustentabilidad.

Determinando las áreas potenciales dentro de la cuenca se aumenta la probabilidad de que se incremente la sobrevivencia y su desarrollo, el uso más eficiente o aumento de la productividad de terrenos actualmente dedicados a actividades agrícolas o ganaderas, mayor derrama económica, y seguridad del abastecimiento de materia prima, abatimiento de costos de transporte y por ende de los costos de producción de la industria forestal, asimismo, la reconversión de terrenos con vocación forestal, contribución al mejoramiento del microclima, fijación de carbono, control de tolvaneras, protección de cuerpos de agua, mejoramiento del paisaje y protección a centros urbanos.

- **Programa de rehabilitación y mantenimiento del Lago de Cuitzeo Barajas Mendoza, G: A., Zarazúa Sánchez, R. & Fuentes Rodríguez, E.** (Barajas Mendoza, 2012)

El objetivo de este trabajo es difundir las obras y resultados que se han obtenido con la implementación del programa de rehabilitación y mantenimiento del Lago de Cuitzeo, el cual busca mantener condiciones favorables, que permitan realizar las actividades dependientes del lago, sobre todo la pesca. Los trabajos que ejecuta la Comisión de Pesca mediante este programa, consisten en la extracción y trituración mecánica de vegetación acuática, lo que permite restaurar y abrir áreas de pesca, así como rehabilitar y construir canales de navegación. Estas obras tienen un impacto ecológico importante, ya que se reduce en gran medida la evapotranspiración causada por la maleza acuática,

con lo que se reduce el desecamiento del lago durante los meses de estiaje y se reactiva la actividad biológica, ya que se facilita la circulación de las aguas interiores.

Las actividades de control de vegetación acuática no son la solución a fondo a la problemática de este embalse, ya que no resuelven los problemas que le dan origen, como lo son: el fuerte proceso de urbanización, la contaminación del agua, la producción de desechos sólidos y la erosión. Sin embargo, brindan un beneficio directo a los habitantes de la región, ya que permiten la pesca, la artesanía y el turismo, propiciando un mejor nivel de vida a los que hacen uso de los recursos del lago. Además, estas acciones intentan restablecer un escenario natural sano, que incida en la conducta y actitud de los propios pobladores y visitantes para el cuidado, respeto y disfrute de los recursos naturales y pesqueros, ante la adopción de una cultura ecológica.

- **El enfoque de sistemas complejos co-evolutivos como marco referencial para el manejo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo (Méndez de Martínez, 2012).**

Como consecuencia de las actividades humanas, la Cuenca del Lago de Cuitzeo muestra signos de deterioro tales como erosión, reducción de la cobertura forestal, cambio en la cobertura de suelo y contaminación del agua. La importancia de lograr la sustentabilidad de la cuenca, considerándola como un complejo sistema biofísico y socioeconómico, es evidente. Para enfrentar el reto de lograr la sustentabilidad de la cuenca del Lago de Cuitzeo, se sugiere la aplicación del Enfoque de Sistemas Complejos Coevolutivos (SCCs), entidades basadas en los humanos, sus actividades y recursos para lograr sus propósitos y objetivos. Los SCCs coevolucionan con su medio ambiente a través de la generación y aplicación de conocimiento, empoderando a los humanos para entender la complejidad de sus sistemas y de su medio ambiente, para desarrollar nuevas y mejores reglas de decisión, y para descubrir umbrales de fracaso y puntos de palanca para intervenir en sus sistemas. Bajo este enfoque, proponemos que la sustentabilidad emerge de un proceso orientado a satisfacer propósitos múltiples, semi-estructurados, en conflicto, incommensurables y dinámicos, con recursos escasos y bajo un ambiente de incertidumbre, y lo suficientemente flexible para coevolucionar con su medio ambiente socioeconómico y biofísico a través de la constante generación de conjuntos de opciones óptimas factibles para alcanzar sus propósitos, contrastando con la visión tradicional de sustentabilidad como un estado de equilibrio o estable. Este enfoque propone una combinación de metodologías cualitativas y cuantitativas. Para planeación, recolección, procesamiento, integración, interpretación, y utilización de datos de información, con el fin de generar, explicar, confirmar y/o refutar el conocimiento y mejorar el entendimiento y manejo de la Cuenca del Lago de Cuitzeo para hacerla sostenible.

- **Uso de técnicas multicriterio para la gestión de recursos y aplicación de políticas ambientales en la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán** (González Terrazas, 2012)

El objeto de estudio es la identificación de áreas prioritarias para la implementación de políticas ambientales con intención de apoyar el desarrollo sostenible en la Cuenca del Lago de Cuitzeo. Este trabajo se enfoca en 2 importantes políticas: Conservación y Uso sustentable. La identificación y priorización se basó en el uso de un proceso de toma de decisiones espacial multicriterio. Los criterios se refieren a los objetivos (definidos por las políticas ambientales) y los atributos (definidos por las características socio-ambientales de la cuenca).

La combinación del AMC y AJ permiten la transformación de juicios lógicos cualitativos en valores cuantificables relacionados con atributos seleccionados para el estudio. De esta manera se facilita la integración de los datos espaciales de acuerdo a los objetivos de cada una de las políticas ambientales analizadas. El análisis de procesos de cambio en periodos múltiples, de corto y largo plazo, permite identificar las tendencias de cambio de uso de terreno. Este proceso puede incorporarse al análisis de aptitud para la aplicación de políticas ambientales como un atributo del paisaje; lo anterior constituye un enfoque novedoso en la toma de decisiones espaciales en la cuenca. Los resultados del análisis de conflictos apoyan la idea de que la aplicación de recursos a programas ambientales a nivel de subcuencas generaría mayores consensos, minimizando los conflictos entre los sectores involucrados. Los resultados del presente estudio sugieren que puede optimizarse la asignación de recursos financieros por subcuencas y municipios, maximizando la eficiencia de un presupuesto limitado para políticas de conservación y de uso sostenible.

- **Ordenamiento ecológico territorial de la Cuenca del Lago de Cuitzeo** (Acosta A., 2012)

En este trabajo se elaboró y gestionó el ordenamiento ecológico del territorio de la Cuenca del Lago de Cuitzeo con el objeto de planear el uso del territorio de acuerdo con su potencia natural. El objetivo de este trabajo es proponer el mejor escenario para dirigir las políticas públicas de gobierno en busca de un mejor nivel de vida de la sociedad y un manejo sustentable de los recursos naturales.

- **La investigación ambiental en la Cuenca del Lago de Cuitzeo: Una revisión de la bibliografía pública** (Bocco G., 2012)

Este trabajo ofrece una reseña de los resultados de investigación ambiental en la cuenca del Lago de Cuitzeo. En primer lugar, se describen las características geográficas del área. En segundo lugar, se

presenta el análisis de la bibliografía por temas y por zona (toda la cuenca, o porciones de la misma). Finalmente se proponen algunas conclusiones en cuanto a los alcances y utilidad de la investigación referida.

- **La importancia socio-ambiental de la Cuenca del Lago de Cuitzeo: consideraciones sociales, económicas y ambientales** (García Vega D., 2016).

Se analiza la situación socio ambiental que presenta la Cuenca del Lago de Cuitzeo (CLC), uno de los espacios geográficos de mayor importancia en términos de riqueza ambiental y relevancia económica para la región y, especialmente, para el estado de Michoacán. La problemática de la CLC se aborda desde el enfoque de las Teorías del Desarrollo Regional y desde la perspectiva del Desarrollo Sustentable. Esta problemática radica primordialmente en las disfunciones y desequilibrios que se presentan en una cuenca, debido a que los recursos son utilizados más allá de la capacidad de carga o de renovación y porque la generación de residuos y efluentes rebasan la capacidad de asimilación del ecosistema (presiones sociales). Se concluye que la dinámica de la CLC no responde de manera unilateral a un solo aspecto, sino que está en función de la configuración y desempeño de diferentes aristas: sociales, económicas y políticas.

El objetivo general que se persigue es analizar los aspectos sociales, ambientales y económicos, que configuran la dinámica de la CLC; identificar los efectos o consecuencias que ha tenido en la población el deterioro de los recursos naturales, así como las medidas o estrategias que se han tomado a nivel local, regional o federal, para afrontar o mitigar dichos escenarios, los cuales demuestran un “deterioro” progresivo en dicha área de estudio.

- **Implicaciones hidrológicas del cambio de cobertura vegetal y uso de suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del Lago de Cuitzeo, Michoacán** (Mendoza M., 2002).

Este estudio intenta contribuir en la comprensión de las implicaciones del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo (CCVUS) a nivel regional en el balance hídrico espacialmente distribuido (BHED) en una cuenca poco aforada para 1975 y 2000. Los resultados de esta investigación son producto de la integración de herramientas de percepción remota y sistemas de información geográfica con un modelo de balance de agua; además, se utilizaron técnicas de análisis de dinámica de cambio. El análisis del cambio de los componentes del BHED a nivel de formas de relieve y por

matrices de transición determinó que durante el periodo de estudio las condiciones hidrológicas regionales de la cuenca no se modificaron sustancialmente. Sin embargo, las planicies y los piedemontes mostraron un incremento en los valores de escorrentía, como resultado de un incremento de la superficie ocupada por asentamientos humanos. En ambos años, las formas de relieve de las zonas bajas de la cuenca mostraron fuerte presión sobre el recurso hídrico, lo cual repercute en el deterioro del lago de Cuitzeo, principalmente por contaminación y reducción del suministro de agua superficial al vaso. El enfoque integral utilizado puede representar una alternativa viable para entender el cambio en la distribución y cantidad del agua disponible en cuencas poco aforadas como resultado de un CCVUS.

- **Valoración socioeconómica de las externalidades negativas en la salud para la región oeste del Lago de Cuitzeo** (Trueba Regalado, 2019).

En el presente trabajo de investigación se planteó como objetivo determinar el valor socioeconómico de las externalidades negativas en salud que sufren los habitantes de la Región Oeste del Lago de Cuitzeo ante el deterioro ambiental del sistema lacustre ocasionado por las partes altas de la cuenca. La postura metodológica de la investigación se centró en la cuantificación de los costos defensivos y la aplicación del método de Valoración Contingente. Se generaron 2 mercados hipotéticos. El primero está orientado en identificar la disposición a aceptar una compensación por parte de los entrevistados mediante un vale de gastos médicos. El segundo se generó para contemplar la Disposición a Pagar de los habitantes vía incremento en recibo de agua, para realizar acciones que permitan mejorar las condiciones ambientales del cuerpo de agua. Por último, se construyeron indicadores de compromiso ecológico que indican la conciencia ambiental de los entrevistados en la región y brindan un punto de referencia respecto a su grado de involucramiento.

2.1. Resumen de las aportaciones y hallazgos de los estudios previos.

Los principales problemas presentes en la cuenca son:

Los problemas de disponibilidad y calidad del agua en el lago han sido agravados por la deforestación del bosque, lo cual propicia un déficit de capa vegetal, así como el desarrollo económico y el intenso proceso de urbanización, asociados al crecimiento de la población, en el caso de la erosión del suelo, esta se intensifica con niveles de degradación extrema en la Subcuenca de Cointzio, que es la fuente productora de agua para el abasto de la ciudad de Morelia.

Por otra parte, la contaminación del agua en el lago, por las descargas residuales de origen urbano e industrial, en particular descargas provenientes de la ciudad de Morelia, contribuye a la concentración principalmente de metales pesados. (Trueba Regalado, 2019)

En el sector hidro-agrícola existe una baja eficiencia en el aprovechamiento del agua. La escasa tecnificación y el mal estado de la infraestructura para conducción y distribución reducen la eficiencia de riego a menos de 50%. (Trueba Regalado, 2019)

Los problemas ya mencionados, se ven reflejados en la disminución del vaso del lago y eutrofización de sus aguas.

Es así, que un problema generalizado dentro de la Cuenca del Lago de Cuitzeo es, que las actividades primarias han sido minimizadas y poco apoyadas debido a la competencia con las actividades terciarias, concentradas principalmente en los centros urbanos de la cuenca. Esto ha ocasionado una alta tasa de emigración rural y una baja rentabilidad de las actividades pesqueras y agropecuarias; además, ha contribuido para que dentro de la Cuenca del Lago de Cuitzeo se presente una gran heterogeneidad en los niveles de desarrollo humano, ya que existen asentamientos con bajo desarrollo colindando con otros que presentan un mayor desarrollo. (García Vega D., 2016)

En cuanto al análisis de series de tiempo de precipitación de la estación Cuitzeo, muestra evidencias de ciclos recurrentes con una duración aproximada de 20 años. El primer ciclo es seco, este empieza en 1934 y termina en 1957, con una duración de 23 años. El segundo corresponde a un ciclo húmedo con una duración de 20 años, los cuales inician en 1958 y culminan en 1978, y el último ciclo es seco y tiene una duración de 19, que inició en 1979 y termina en el año 2000. (Bocco G., 2012).

De forma natural es un lago que tiende a secarse, debido a las condiciones del vaso y los periodos húmedos y secos presentes en la serie de precipitación, si incluimos el incremento en el consumo de agua causada por una rápida urbanización en la cuenca provoca que la desecación del lago sea más evidente.

Aunque las condiciones hidrológicas regionales de la cuenca se encuentran prácticamente igual que hace 25 años, es indiscutible que el Lago de Cuitzeo presenta altos grados de deterioro por contaminación y falta de agua, la cual no drena directamente al vaso del lago, por el uso inadecuado del agua en las zonas de riego y como consecuencia de un mayor uso en las ciudades debido al incremento poblacional, especialmente el área urbana de la ciudad de Morelia. (Bocco G., 2012)

3. Información Disponible

En México los registros de variables climatológicas son escasos, y en muchos casos, con calidad deficiente, ya que presentan huecos o datos faltantes, así como datos erróneos producto de errores en la medición, captura o procesamiento; esto genera incertidumbre debido a que desconocemos que eventos sucedieron en los periodos sin información.

Tener una base de datos confiable es fundamental para cualquier estudio hidrológico, sin importar la magnitud o precisión del objetivo del trabajo, dado que son los datos de ingreso de cualquier método o modelo hidrológico; de tal manera, que el utilizar los registros de variables climatológicas actuales implicaría utilizar datos inciertos, y el resultado sería de igual forma incierto y/o poco confiable.

Es por eso, que uno de los objetivos del presente estudio, es generar una base de datos con la menor incertidumbre posible; por lo que a continuación, se presenta el proceso que se siguió para su construcción.

3.1. Información climatológica

La información climatológica nacional, que va de 1900 hasta la fecha, está disponible con información actualizada por los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales de la CONAGUA, la cual implica aproximadamente 55 millones de registros diarios de lluvia en 24 horas y temperatura mínima y máxima, reportados por alrededor de 5,500 estaciones climatológicas. Estas variables climatológicas y, los registros históricos medidos por dichas estaciones pueden ser descargados de CLICOM (Figura 3.1) que es una base de datos de estaciones climáticas superficiales de México administrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

CLICOM es un sistema de software de manejo de datos climatológicos desarrollado por las Naciones Unidas, que significa CLImate COMputing project. Las observaciones diarias del CLICOM representan los datos recopilados durante las últimas 24 horas, finalizando a las 08:00 AM. Cada una de las diferentes estaciones del país contiene diferentes periodos de información, pero se pueden encontrar datos de 1920 a 2012. (CLICOM, 2019)

Las variables climatológicas descargadas a través de CLICOM son:

- Precipitación
- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Evaporación

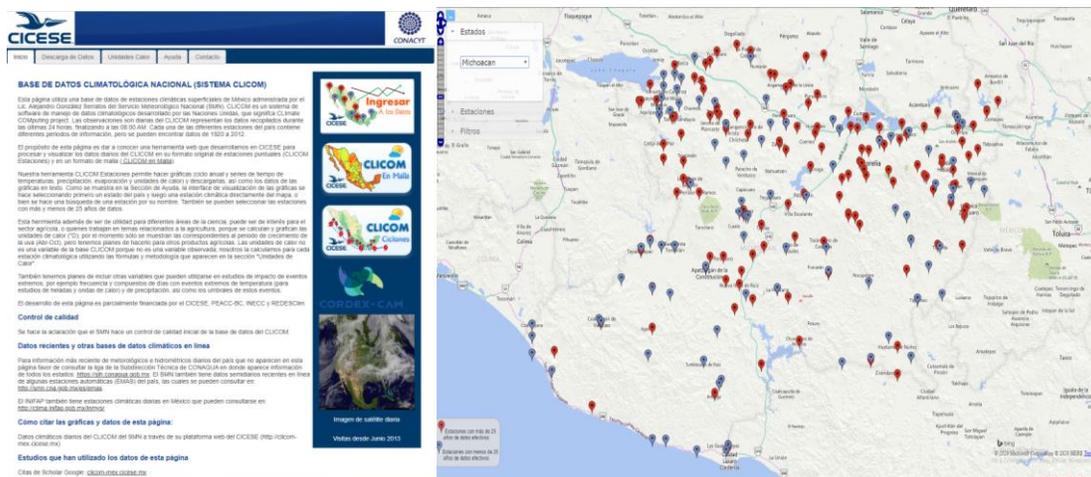


Figura 3.1. Interfaz de CLICOM para descargar información climatológica

En el mapa vectorial en formato shape de la (CONABIO, 2019) se incluyen todas las estaciones climatológicas existentes en el país con su información (geográfica, funcionamiento y operación); por lo que podemos localizar las estaciones climatológicas, que se encuentren dentro y en las inmediaciones de la zona de estudio.

3.2. Información hidrométrica

De igual manera se descarga la información de los gastos medios diarios a través del banco nacional de datos de aguas superficiales (BANDAS, 2019) administrado por la CONAGUA.

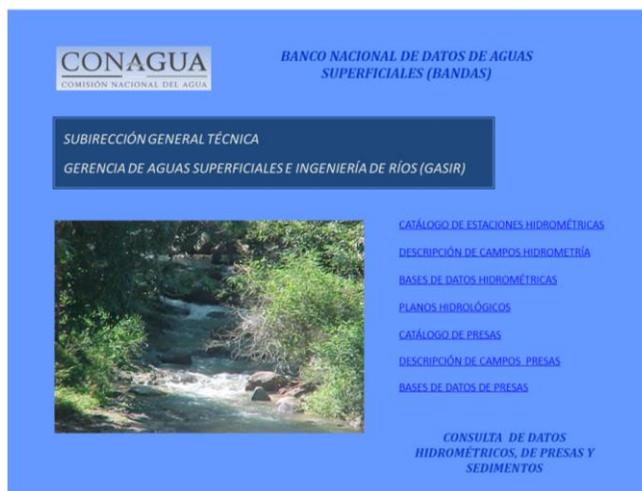


Figura 3.2. Interfaz del BANDAS

Las variables que se descargarán del BANDAS son:

- a) Gasto medio diario
- b) Gasto máximo instantáneo mensual
- c) Gasto mínimo instantáneo mensual

El código que se describe en el Anexo E, descarga de la base de datos (CLICOM y BANDAS) los registros existentes de cada estación.

3.3. Registros mensuales del nivel del lago de Cuitzeo

La dirección local de CONAGUA Michoacán proporciono el registro mensual del lago (Tabla 3.1) que contiene información mensual desde 1927 hasta el 2019.

Tabla 3.1. Tabla del registro mensual del nivel del lago

DIRECCION LOCAL MICHOACAN
SUBDIRECCIÓN TÉCNICA
AGUAS SUPERFICIALES E INGENIERÍA
DE RÍOS



NIVELES DEL AGUA REGISTRADOS EN EL LAGO DE CUITZEO EL DIA PRIMERO DE CADA MES (msnm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1927	1,820.94	1,820.87	1,820.81	1,820.73	1,820.62	1,820.46	1,820.40	1,820.56	1,820.76	1,820.12	1,821.21	1,821.22
1928	1,821.18	1,821.18	1,821.12	1,820.98	1,820.84	1,820.78	1,820.72	1,820.73	1,820.88	1,821.10	1,821.18	1,821.12
1929	1,821.04	1,820.99	1,820.91	1,820.75	1,820.59	1,820.48	1,820.40	1,820.58	1,820.82	1,820.98	1,820.90	1,820.88
1930	1,820.82	1,820.73	1,820.63	1,820.45	1,820.28	1,820.18	1,820.21	1,820.38	1,820.47	1,820.41	1,820.49	1,820.52
1931	1,820.44	1,820.43	1,820.35	1,820.18	1,820.19	1,819.94	1,819.95	1,820.17	1,820.57	1,820.69	1,820.54	1,820.39
1932	1,820.32	1,820.21	1,820.11	1,819.98	1,819.82	1,819.63	1,819.52	1,819.54	1,819.62	1,819.85	1,819.89	1,819.80
1933	1,819.74	1,819.66	1,819.60	1,819.42	1,819.26	1,819.01	1,818.97	1,818.97	1,819.13	1,819.40	1,819.38	1,819.31
1934	1,819.22	1,819.17	1,819.09	1,818.95	1,818.87	1,818.85	1,818.83	1,819.01	1,819.26	1,819.47	1,819.48	1,819.41
1935	1,819.39	1,819.32	1,819.23	1,819.10	1,818.85	1,818.74	1,818.97	1,819.37	1,819.77	1,820.14	1,820.17	1,820.11
1936	1,820.09	1,820.02	1,819.93	1,819.80	1,819.70	1,819.49	1,819.35	1,819.50	1,819.70	1,819.88	1,819.96	1,819.93
1937	1,819.86	1,819.78	1,819.71	1,819.61	1,819.46	1,819.34	1,819.33	1,819.76	1,819.90	1,820.18	1,820.19	1,820.14
1938	1,820.09	1,820.02	1,819.95	1,819.86	1,819.65	1,819.50	1,819.53	1,819.61	1,819.73	1,819.86	1,819.75	1,819.70
1939	1,819.54	1,819.56	1,819.46	1,819.32	1,819.05	1,818.93	1,818.90	1,818.95	1,819.03	1,819.17	1,819.07	1,818.98
1940	1,818.93	1,818.82	1,818.69	1,818.58	1,818.35	1,818.37	1,818.37	1,818.42	1,818.57	1,818.59	1,818.45	1,818.40
1941	1,818.37	1,818.37	1,818.38	1,818.33	1,818.31	1,818.33	1,818.42	1,818.61	1,818.79	1,819.11	1,819.38	1,819.37
1942	1,819.37	1,819.32	1,819.25	1,819.20	1,819.07	1,818.94	1,818.94	1,819.08	1,819.14	1,819.23	1,819.24	1,819.19

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1943	1,819.13	1,819.05	1,818.95	1,818.82	1,818.71	1,818.59	1,818.66	1,818.66	1,818.72	1,818.90	1,818.84	1,818.77
1944	1,818.75	1,818.75	1,818.61	1,818.49	1,818.31	1,818.37	1,818.46	1,818.48	1,818.38	1,818.68	1,818.81	1,818.77
1945	1,818.70	1,818.62	1,818.57	1,818.41	1,818.31	1,818.31	1,818.34	1,818.39	1,818.50	1,818.50	1,818.35	1,818.35
1946	1,818.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,818.47	1,818.44
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,818.58	1,818.44	1,818.42
1948	1,818.50	1,818.46	1,818.44	1,818.38	1,818.50	1,818.51	1,818.55	1,818.69	1,818.75	1,818.72	1,818.62	1,818.60
1949	1,818.55	1,818.52	1,818.48	1,818.50	-	-	-	-	-	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	1,818.38	1,818.53	1,818.47	1,818.39
1951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,818.53	1,818.50	1,818.39
1952	1,818.32	-	-	-	-	-	-	1,818.36	1,818.70	1,818.93	1,818.86	1,818.84
1953	1,818.78	1,818.72	1,818.62	1,818.44	1,818.34	-	-	-	-	1,818.34	1,818.37	1,818.35
1954	1,818.29	-	-	-	-	-	-	-	1,818.40	1,818.48	1,818.66	1,818.55
1955	1,818.47	1,818.37	1,818.38	-	-	-	-	1,818.35	1,818.80	1,819.19	1,819.44	1,819.42
1956	1,819.36	1,819.30	1,819.22	1,819.06	1,818.94	1,818.92	1,818.98	1,819.15	1,819.29	1,819.38	1,819.28	1,819.18
1957	1,819.15	1,819.07	1,819.00	1,818.89	1,818.72	1,818.58	1,818.67	1,818.58	1,818.63	1,818.50	1,818.44	1,818.45
1958	-	1,818.39	-	-	-	-	1,818.39	1,818.89	1,819.32	1,819.80	1,820.10	1,820.01
1959	1,819.94	1,819.86	1,819.78	1,819.65	1,819.53	1,819.39	1,819.41	1,819.58	1,819.86	1,819.77	1,819.87	1,819.76
1960	1,819.66	1,819.55	1,819.40	1,819.25	1,819.09	1,818.96	1,818.78	1,818.84	1,818.87	1,818.89	1,818.83	1,818.75
1961	1,818.67	1,818.65	1,818.54	1,818.46	-	-	-	1,818.58	1,818.57	1,818.58	1,818.47	1,818.37
1962	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,818.72	1,818.71	1,818.59
1963	1,818.51	1,818.54	1,818.41	-	-	-	-	1,818.61	1,818.84	1,818.84	1,818.98	1,818.93
1964	1,818.88	1,818.87	1,818.76	1,818.67	1,818.59	1,818.50	1,818.58	1,818.69	1,818.75	1,818.82	1,818.71	1,818.73
1965	1,818.72	1,818.68	1,818.50	1,818.57	1,818.44	1,818.35	1,818.41	1,818.59	1,819.00	1,819.20	1,819.29	1,819.24
1966	1,819.18	1,819.12	1,819.14	1,819.12	1,818.98	1,818.92	1,818.97	1,819.00	1,819.28	1,819.36	1,819.42	1,819.33
1967	1,819.24	1,819.34	1,819.23	1,819.14	1,819.01	1,818.98	1,819.04	1,819.29	1,819.46	1,820.04	1,820.24	1,820.18
1968	1,820.11	1,819.99	1,819.93	1,819.85	1,819.72	1,819.64	1,819.64	1,819.82	1,819.92	1,819.94	1,819.88	1,819.68
1969	1,819.57	1,819.44	1,819.34	1,819.17	1,819.02	1,818.86	1,818.78	1,818.88	1,819.01	1,819.41	1,819.39	1,819.32
1970	1,819.22	1,819.13	1,819.04	1,818.85	1,818.66	1,818.50	1,818.53	1,818.68	1,818.81	1,818.97	1,819.04	1,818.97
1971	1,818.85	1,818.76	1,818.68	1,818.62	1,818.43	-	1,818.36	1,818.64	1,819.02	1,819.25	1,819.61	1,819.58
1972	1,819.51	1,819.40	1,819.33	1,819.24	1,819.12	1,818.92	1,819.12	1,819.20	1,819.32	1,819.48	1,819.45	1,819.45
1973	1,819.39	1,819.32	1,819.21	1,819.13	1,818.93	1,818.87	1,818.78	1,819.01	1,819.31	1,819.55	1,819.84	1,819.76
1974	1,819.70	1,819.74	1,819.55	1,819.43	1,819.32	1,819.26	1,819.27	1,819.52	1,819.63	1,819.69	1,819.59	1,819.52
1975	1,819.46	1,819.42	1,819.34	1,819.19	1,819.02	1,818.93	1,818.95	1,819.07	1,819.42	1,819.63	1,819.55	1,819.39
1976	1,819.28	1,819.13	1,819.07	1,819.04	1,819.02	1,818.88	1,818.81	1,819.14	1,819.33	1,819.65	1,820.25	1,820.33
1977	1,820.49	1,820.09	1,819.97	1,819.83	1,819.71	1,819.72	1,819.64	1,819.72	1,819.78	1,819.96	1,819.93	1,819.85
1978	1,819.80	1,819.76	1,819.68	1,819.58	1,819.43	1,819.25	1,819.27	1,819.33	1,819.56	1,819.72	1,820.02	1,819.97
1979	1,819.87	1,819.81	1,819.78	1,819.64	1,819.47	1,819.31	1,819.20	1,819.23	1,819.35	1,819.38	1,819.25	1,819.18
1980	1,819.17	1,819.13	1,819.15	1,819.04	1,818.90	1,818.77	1,818.68	1,818.65	1,818.74	1,818.85	1,818.96	1,819.01
1981	1,818.96	1,818.94	1,818.87	1,818.77	1,818.67	1,818.52	1,818.53	1,818.60	1,818.83	1,819.12	1,819.21	-
1982	1,819.06	1,819.00	1,818.91	1,818.74	1,818.59	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	1,818.40	1,818.81	1,819.04	1,818.94	1,818.05
1984	1,818.78	1,818.72	1,818.61	1,818.43	-	-	1,818.46	1,818.63	1,818.86	1,819.25	1,819.19	1,819.12
1985	1,819.00	1,818.91	1,818.81	1,818.66	1,818.51	-	1,818.43	1,818.57	1,818.94	1,819.01	1,819.94	1,818.87
1986	1,818.82	1,818.73	1,818.62	-	-	-	1,818.49	1,818.51	1,818.61	1,818.75	1,818.94	1,818.88

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1987	1,818.80	1,818.71	1,818.48	-	-	-	-	1,818.44	1,818.57	1,818.64	1,818.58	1,818.52
1988	1,818.20	1,818.20	1,818.20	1,818.20	1,818.20	1,818.20	1,818.20	1,818.90	1,819.05	1,819.13	1,819.11	1,819.06
1989	1,818.95	1,818.89	1,818.83	1,818.69	1,818.56	1,818.20	1,818.20	1,818.33	1,818.45	1,818.67	1,818.87	1,818.70
1990	1,818.55	1,818.50	1,818.46	1,818.40	1,818.34	1,818.28	1,818.20	1,818.53	1,819.78	1,819.13	1,819.41	1,819.36
1991	1,819.24	1,818.17	1,819.10	1,818.92	1,818.81	1,818.62	1,818.59	1,818.94	1,819.50	1,819.88	1,820.08	1,819.96
1992	1,819.85	1,819.88	1,819.80	1,819.74	1,819.54	1,819.45	1,819.39	1,819.41	1,819.55	1,819.80	1,819.98	1,819.95
1993	1,819.90	1,819.82	1,819.75	1,819.64	1,819.51	1,819.29	1,819.31	1,819.62	1,819.99	1,820.29	1,820.15	1,820.00
1994	1,819.90	1,819.80	1,819.69	1,819.64	1,819.58	1,819.31	1,819.38	1,819.68	1,819.94	1,820.21	1,820.09	1,819.96
1995	1,819.88	1,819.78	1,819.64	1,819.59	1,819.54	1,819.28	1,819.36	1,819.70	1,819.98	1,820.17	1,820.06	1,819.92
1996	1,819.78	1,819.65	1,819.52	1,819.36	1,819.17	1,819.02	1,818.92	1,818.86	1,818.97	1,819.08	1,819.14	1,819.08
1997	1,819.02	1,818.95	1,818.84	1,818.82	1,818.73	1,818.60	1,818.60	1,818.70	1,818.80	1,818.83	1,818.78	1,818.73
1998	1,818.65	1,818.53	1,818.40	1,818.35	1,818.28	1,818.36	1,818.44	1,818.51	1,818.83	1,819.47	1,819.90	1,819.83
1999	1,819.74	1,819.58	1,819.47	1,819.38	1,819.30	1,819.10	1,819.19	1,819.27	1,819.53	1,819.70	-	-
2000	1,819.42	-	-	-	-	1,818.57	-	-	-	-	-	-
2001	1,819.08	1,819.00	1,818.90	-	-	-	1,817.85	1,818.40	1,818.50	1,819.02	1,819.06	1,819.03
2002	1,819.08	1,819.10	1,818.95	1,818.83	1,818.63	1,818.50	1,818.80	1,818.93	1,818.74	1,819.02	1,818.85	1,818.77
2003	1,818.78	1,818.85	1,819.10	1,818.97	1,818.92	1,818.67	1,818.80	1,818.93	1,819.26	1,819.90	1,820.10	1,819.92
2004	1,819.76	1,819.71	1,819.63	1,819.50	1,819.66	1,819.74	1,819.75	1,819.63	1,819.92	1,820.16	1,820.33	1,820.13
2005	1,820.04	1,820.00	1,819.89	1,819.76	1,819.72	1,819.56	1,819.53	1,819.45	1,819.18	1,819.03	1,819.10	1,819.17
2006	1,819.37	1,819.67	1,819.78	1,819.98	1,819.80	1,819.65	1,819.53	1,819.70	1,820.02	1,820.35	1,820.34	1,820.29
2007	1,820.22	1,820.17	1,820.11	1,820.05	1,819.94	1,819.82	1,819.87	1,820.01	1,820.23	1,820.37	1,820.32	1,820.24
2008	1,819.95	1,819.47	1,819.51	1,819.40	1,819.30	-	-	-	-	1,820.78	-	-
2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	1,819.16	1,819.01	1,819.95	1,818.82	1,818.82	1,818.59	1,818.41	1,818.40	-	-	-	-
2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2013	1,819.06	1,819.05	1,818.83	-	-	-	-	-	-	-	-	1,819.41
2014	-	-	-	-	-	-	-	-	1,819.38	-	-	-
2015	1,819.39	1,819.40	1,819.41	1,819.42	1,819.20	1,819.38	1,819.44	1,819.47	1,819.37	1,819.56	1,819.50	1,819.40
2016	1,819.40	1,819.32	1,819.15	1,819.12	1,819.12	1,818.72	1,818.81	1,818.90	1,818.93	1,819.01	1,819.07	1,819.01
2017	1,818.92	1,818.87	1,818.77	1,818.71	1,818.44	1,818.28	1,818.31	1,818.56	1,818.84	1,819.10	1,819.08	1,818.98
2018	1,818.88	1,818.78	1,818.70	1,818.64	1,818.36	1,818.36	1,817.80	1,818.40	1,818.87	1,819.16	1,819.52	1,819.67
2019	1,819.64	1,819.53	1,819.43	1,819.18	1,818.99	1,818.86	1,818.89	1,818.89	1,818.96	1,818.94	-	-

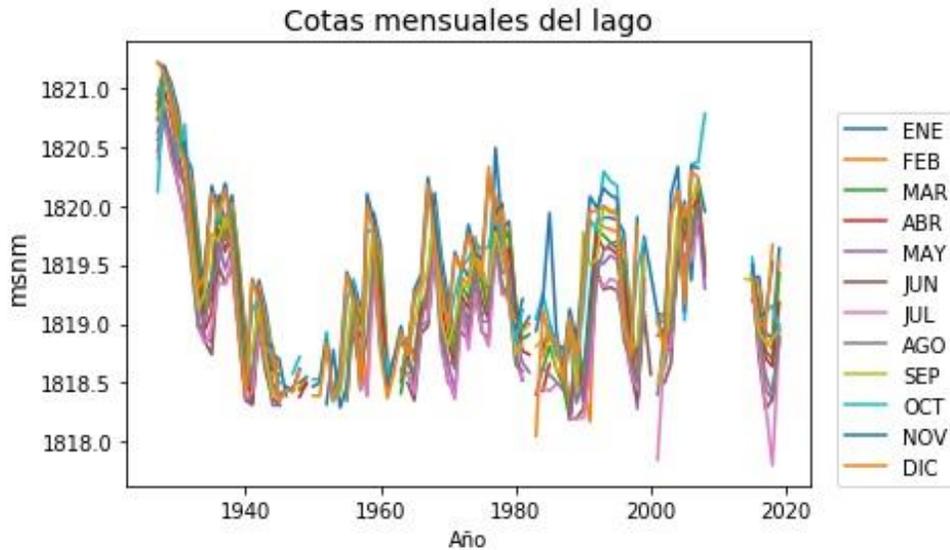


Figura 3.3. Grafica por mes del nivel del lago

3.4. Curvas de elevación-capacidad-áreas

Las curvas elevación-capacidad-área del lago sirven para determinar el volumen de agua en el lago y el área del espejo de agua en función de la elevación a la que se encuentre el nivel del lago.

Estas curvas son útiles ya que podemos estimar que nivel tendrá el lago de acuerdo a un cierto volumen de ingreso, además de, estimar el área que abarca el lago para determinado nivel, así como estimar el volumen de agua perdida, debido a la evaporación; la cual está en función del área de evaporación del lago.

La dirección local de la CONAGUA en Michoacán, proporcionó un plano en formato "PDF" con las curvas de nivel del lago de Cuitzeo (Figura 3.4), donde se puede apreciar la topografía del vaso del lago, además, se presentan de forma gráfica las curvas de elevación-capacidad-área del lago de Cuitzeo (Figura 3.5).

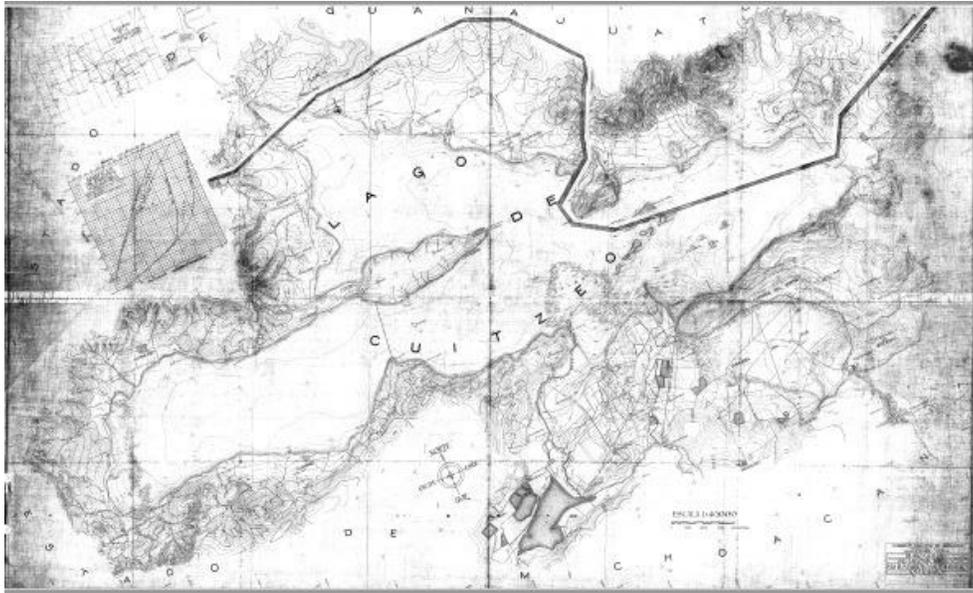


Figura 3.4. Plano de curvas de nivel del lago de Cuitzeo

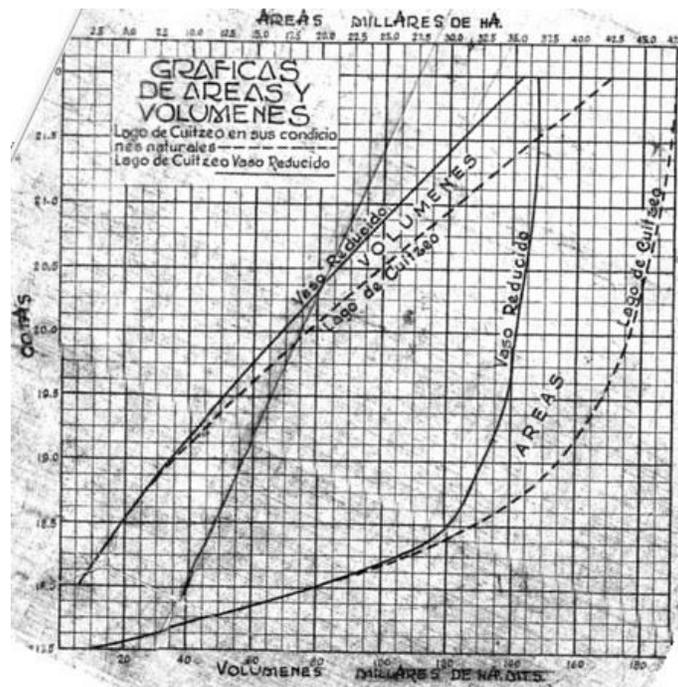


Figura 3.5. Curvas elevación-capacidad-área del lago de Cuitzeo

Este plano y por consiguiente las curvas se generaron hace muchos años (dato sin referencia en el plano); En términos generales los efectos del viento, agua, urbanización, erosión, sedimentación causan modificación de la topografía de un terreno, sin embargo, en el caso del lago de Cuitzeo la

erosión es mínima y se puede predecir que la alteración topográfica es poca, por lo que éstas curvas aunque ya no describen al 100% el verdadero comportamiento del lago son la única información disponible acerca de la topografía del vaso y, en el presente estudio, para minimizar los errores causados por dichos cambios, el modelo se calibra para que los resultados sean lo más parecido a la realidad.

Así mismo, se recomienda hacer un nuevo estudio topográfico del vaso del Lago de Cuitzeo para generar nueva información, con la finalidad de reducir la incertidumbre del cálculo.

4. Procesamiento de la información

4.1. Selección del número de estaciones por analizar

En este trabajo se tomará en cuenta la información climatológica e hidrométrica de estaciones que cumplan con las siguientes consideraciones:

- Cercanía y buena distribución geográfica: con cercanía se refiere a estaciones que estén a no más de 100 km de la cuenca; con buena distribución se refiere a seleccionar estaciones que cubran homogéneamente la cuenca y sus alrededores.
- Al menos con 30 años de registro.
- Porcentaje de información faltante menor al 30%.

Estas evaluaciones se hacen a partir de la información del mapa vectorial de (CONABIO, 2019).

En las Tabla 4.1 y Tabla 4.2 se presentan las estaciones climatológicas e hidrométricas seleccionadas en la zona de estudio, respectivamente.

Tabla 4.1. Estaciones climatológicas seleccionadas

Clave	Nombre	Municipio	Estado	Coordenadas		
				Longitud	Latitud	Altitud
11002	Acámbaro	Acámbaro	Guanajuato	320129.271	2216489.272	1850
11010	Cerano	Yuriria	Guanajuato	250365.935	2224914.601	1907
11012	Coroneo	Coroneo	Guanajuato	357557.371	2234008.931	2271
11021	El Sabino	Salvatierra	Guanajuato	290551.377	2243916.677	1750
11022	El Terrero	Apaseo El Alto	Guanajuato	337792.072	2252971.622	2022
11027	Iramuco	Acámbaro	Guanajuato	299456.700	2210778.204	1950
11031	Jerécuaro	Jerécuaro	Guanajuato	341246.033	2228031.321	1787
11047	Moroleón	Moroleón	Guanajuato	270908.653	2226877.920	1835
11060	Salvatierra	Salvatierra	Guanajuato	303002.612	2236357.715	1749
11070	Santa Julia	Jaral Del Progreso	Guanajuato	289114.151	2256883.844	1723
11071	Santa María (DGE)	Yuriria	Guanajuato	277109.640	2236886.957	1761
11072	Santa Rita	Jaral Del Progreso	Guanajuato	284307.511	2245931.478	1726
11076	Presa Solís	Acámbaro	Guanajuato	324532.775	2217982.143	1903
11077	Tarandácuaro	Tarandácuaro	Guanajuato	333336.534	2211745.764	1922
11078	Tarimoro	Tarimoro	Guanajuato	316179.917	2244239.716	1755
11079	Valle De Santiago	Valle De Santiago	Guanajuato	272043.269	2255594.920	1748
11090	Puro agua (SMN)	Jerécuaro	Guanajuato	351875.795	2221326.532	1980
11097	Santa María (SMN)	Yuriria	Guanajuato	276710.326	2237445.803	1751
11099	Mariano Abasolo	Pénjamo	Guanajuato			1750
11114	El Refugio	Salvatierra	Guanajuato	297401.292	2216584.068	2040

Clave	Nombre	Municipio	Estado	Coordenadas		
				Longitud	Latitud	Altitud
11116	Hacienda San Lucas	Jerécuaro	Guanajuato	337626.488	2244639.549	2027
11126	El Savilar	Celaya	Guanajuato	315000.856	2258707.128	1790
11132	Puro agua (DGE)	Jerécuaro	Guanajuato	347597.308	2220410.166	2013
11133	Santa María Sanabria	Valle De Santiago	Guanajuato	260059.273	2259480.904	1730
11139	Camino Blanco	Jerécuaro	Guanajuato	328388.499	2231782.233	2320
11142	El Cubo	Salvatierra	Guanajuato	303375.472	2243611.997	1740
11145	La Gavia	Cortázar	Guanajuato	303809.129	2256186.55	2330
11146	Las Jícamas	Valle De Santiago	Guanajuato	253979.553	2244030.192	1840
11149	Parácuaro	Acámbaro	Guanajuato	315641.052	2229052.836	1930
11151	Tacubaya	Pénjamo	Guanajuato	209589.601	2247797.828	1700
11156	El Dormido	Santiago Maravatío	Guanajuato	288051.524	2229367.427	1743
11158	Pirícuaro	Moroleón	Guanajuato	266119.315	2218574.169	1848
11166	El Gigante	Jerécuaro	Guanajuato	348327.029	2210748.655	1980
14017	Atotonilco El Alto	Atotonilco El Alto	Jalisco			1600
14020	Ayotlán el Chico	Ayotlán	Jalisco			1610
14070	Huascato	Degollado	Jalisco			1619
14280	La Quemada (FFCC)	Degollado	Jalisco			1735
16001	Acuitzio Del Canje	Acuitzio	Michoacán de Ocampo	253909.269	2157705.931	2200
16002	Agostitlán (CFE)	Hidalgo	Michoacán de Ocampo	330206.731	2161037.566	2520
16004	Álvaro Obregón (SMN)	Álvaro Obregón	Michoacán de Ocampo	287022.887	2192469.993	1840
16005	Angamacutiro	Angamacutiro	Michoacán de Ocampo	216882.047	2230350.532	1685
16007	Apatzingán (SMN)	Apatzingán	Michoacán de Ocampo			320
16010	Bartolinas (CFE)	Tacámbaro	Michoacán de Ocampo	244138.785	2124739.406	1400
16012	Cajones	Gabriel Zamora	Michoacán de Ocampo			480
16014	Camécuaro	Tangancícuaro	Michoacán de Ocampo			1708
16015	Carapan	Chilchota	Michoacán de Ocampo			1940
16016	Carrillo Puerto	Álvaro Obregón	Michoacán de Ocampo	286635.91	2201394.459	1840
16017	Casa Blanca	José Sixto Verduzco	Michoacán de Ocampo	243220.989	2248740.656	1694
16020	Ciudad Hidalgo (Dge)	Hidalgo	Michoacán de Ocampo	337154.547	2178100.412	2060
16022	Cóintzio	Morelia	Michoacán de Ocampo	260774.621	2171579.3	2096
16023	Copandaro De Galeana	Copandaro	Michoacán de Ocampo	268242.917	2201073.117	1840
16024	Corrales	Penjamillo	Michoacán de Ocampo			1693
16027	Cuitzeo	Cuitzeo	Michoacán de Ocampo	276246.196	2208044.508	1831
16028	Cuitzillo Grande	Tarímbaro	Michoacán de Ocampo	277930.869	2187045.083	1840
16031	Chaparaco	Zamora	Michoacán de Ocampo			1632
16034	El Jacal (Smn)	Chucandiro	Michoacán de Ocampo	255461.908	2200630.569	1941
16036	El Bosque (Cfe)	Zitácuaro	Michoacán de Ocampo	354729.887	2143820.035	1750
16040	El Gigante	Maravatío	Michoacán de Ocampo	348018.784	2208721.907	1961
16045	El Temazcal	Charo	Michoacán de Ocampo	295018.313	2173983.487	2220
16049	Etucuario	Madero	Michoacán de Ocampo	267189.931	2144733.106	1612
16050	Huaniqueo	Huaniqueo	Michoacán de Ocampo	237761.931	2202269.592	2040
16052	Huingo	Zinapécuaro	Michoacán de Ocampo	305078.439	2203825.679	1830
16055	Jesús Del Monte	Morelia	Michoacán de Ocampo	274421.302	2174354.84	2180
16057	Villa Jiménez I	Jiménez	Michoacán de Ocampo	212458.83	2205249.545	2000
16058	Jungapeo	Jungapeo	Michoacán de Ocampo	342524.234	2149456.51	1300

Clave	Nombre	Municipio	Estado	Coordenadas		
				Longitud	Latitud	Altitud
16060	La Estanzuela	Ixtlán	Michoacán de Ocampo			1566
16061	Laguna Del Fresno	Maravatío	Michoacán de Ocampo	351742.868	2191778.674	2080
16065	La Piedad de Cavadas (DGE)	La Piedad	Michoacán de Ocampo			1640
16066	La Piedad De Cavadas (SMN)	La Piedad	Michoacán de Ocampo			1640
16071	Los Azufres	Hidalgo	Michoacán de Ocampo	327129.934	2186497.556	2860
16073	Los Limones (Cfe)	Los Reyes	Michoacán de Ocampo			1245
16077	Los Reyes	Los Reyes	Michoacán de Ocampo			1280
16078	Maravatío	Maravatío	Michoacán de Ocampo	348992.717	2200257.676	2020
16080	Morelia (Obs)	Morelia	Michoacán de Ocampo	271139.2836	2179748.884	1912.7
16081	Morelia (Dge)	Morelia	Michoacán de Ocampo	271880.4656	2178478.208	1903
16082	Nueva Italia (Cfe)	Múgica	Michoacán de Ocampo			460
16084	Panindicuario	Panindicuario	Michoacán de Ocampo	211215.983	2211086.301	1638
16085	Parácuaro	Parácuaro	Michoacán de Ocampo			498
16086	Pastor Ortiz	José Sixto Verduzco	Michoacán de Ocampo	228774.063	2247423.590	1692
16087	Pátzcuaro	Pátzcuaro	Michoacán de Ocampo	226111.355	2160045.796	2140
16088	Peribán	Peribán	Michoacán de Ocampo			1640
16089	Planta El Cobano (Cfe)	Gabriel Zamora	Michoacán de Ocampo			560
16091	Álvaro Obregón (Dge)	Álvaro Obregón	Michoacán de Ocampo	286507.909	2193214.387	1840
16092	Presa Agostitlán	Hidalgo	Michoacán de Ocampo	332161.385	2164309.391	2380
16093	Presa Gonzalo	Vista Hermosa	Michoacán de Ocampo			1530
16096	Presa Malpaís	Queréndaro	Michoacán de Ocampo	303216.492	2193358.921	1859
16097	Presa Pucuateo	Hidalgo	Michoacán de Ocampo	323245.398	2170545.187	2490
16098	Presa Sabaneta	Hidalgo	Michoacán de Ocampo	324951.755	2169236.877	2510
16099	Presa Tuxpan (Cfe)	Tuxpan	Michoacán de Ocampo	345155.848	2163762.071	1720
16100	Puente San Isidro	Huaniqueo	Michoacán de Ocampo	236222.752	2198600.371	2001
16103	Purépero	Purépero	Michoacán de Ocampo			1950
16104	Puruándiro	Puruándiro	Michoacán de Ocampo	236912.302	2223204.941	1888
16105	Quirio	Indaparapeo	Michoacán de Ocampo	291014.254	2190300.173	1858
16107	San Carlos Ii	Tiquicheo De Nicolas Romero	Michoacán de Ocampo	311856.660	2128961.549	740
16108	San Cristóbal	Ixtlán	Michoacán de Ocampo			1530
16109	San Diego Curupatzco	Madero	Michoacán de Ocampo	270622.217	2139152.691	1020
16114	San Miguel Del Monte	Morelia	Michoacán de Ocampo	276184.230	2170856.878	2140
16115	San Nicolasito	Maravatío	Michoacán de Ocampo	352827.334	2203177.032	745
16116	San Sebastián	Queréndaro	Michoacán de Ocampo	296657.291	2194970.921	1837
16117	Santa Fe Del Rio	Penjamillo	Michoacán de Ocampo	204573.882	2236341.564	1681
16118	Santa Fe	Quiroga	Michoacán de Ocampo	232000.504	2177310.374	2040
16119	Santa Rita	Copandaro	Michoacán de Ocampo	263285.221	2202431.049	1880
16120	Santiago Undameo	Morelia	Michoacán de Ocampo	256661.067	2169173.774	2048
16121	Senguio	Senguio	Michoacán de Ocampo	358303.109	2182470.170	2260
16122	Susupuato De Guerrero	Susupuato	Michoacán de Ocampo	352127.714	2125178.364	1260
16123	Tacámbaro	Tacámbaro	Michoacán de Ocampo	241710.524	2128711.378	1640
16125	Tangancícuaro	Tangancícuaro	Michoacán de Ocampo			1710
16134	Tuxpan	Tuxpan	Michoacán de Ocampo	347899.015	2164169.074	1800
16135	Tuzantla (Smm)	Tuzantla	Michoacán de Ocampo	333554.513	2125553.131	666
16136	Tzitzio	Tzitzio	Michoacán de Ocampo	298196.312	2166412.313	1540

Clave	Nombre	Municipio	Estado	Coordenadas		
				Longitud	Latitud	Altitud
16137	Urepetiro	Tlazazalca	Michoacán de Ocampo			1658
16139	Villa Madero	Madero	Michoacán de Ocampo	261960.700	2146646.698	2227
16140	Villa Madero (Cfe)	Madero	Michoacán de Ocampo	260807.920	2145554.486	2134
16141	Yurécuaro	Yurécuaro	Michoacán de Ocampo			1530
16142	Zacapu (Dge)	Zacapu	Michoacán de Ocampo	207180.484	2192349.471	1986
16143	Zamora (Obs)	Zamora	Michoacán de Ocampo			1561.9
16144	Zamora (Smn)	Zamora	Michoacán de Ocampo			1580
16145	Zinapécuaro	Zinapécuaro	Michoacán de Ocampo	308667.816	2196866.579	1880
16146	Zirahuén	Salvador Escalante	Michoacán de Ocampo	213167.089	2153354.568	2090
16148	Zitácuaro	Zitácuaro	Michoacán de Ocampo	356524.263	2149339.961	1981
16152	Ciudad Hidalgo (Smn)	Hidalgo	Michoacán de Ocampo	337558.372	2180864.152	2060
16155	Copandaro (Cfe)	Jiménez	Michoacán de Ocampo	221584.238	2202579.440	1980
16159	El Rosario	Angamacutiro	Michoacán de Ocampo	212601.402	2228081.916	1700
16162	Orandino	Jacona	Michoacán de Ocampo			1580
16163	Tuzantla (Dge)	Tuzantla	Michoacán de Ocampo	334449.076	2124345.847	600
16164	Uruapan (Smn)	Uruapan	Michoacán de Ocampo			1634
16165	Uruapan (Cfe)	Uruapan	Michoacán de Ocampo			1611
16168	Ario De Rosales	Ario	Michoacán de Ocampo	212576.399	2125207.731	1840
16171	Zacapu (Smn)	Zacapu	Michoacán de Ocampo	208424.281	2193590.704	1980
16188	Tirindaro	Zacapu	Michoacán de Ocampo	212701.995	2187981.471	2500
16192	La Encarnación	Zitácuaro	Michoacán de Ocampo	353647.566	2147087.815	1720
16199	San Miguel Curinhuato	Maravatío	Michoacán de Ocampo	333737.341	2211096.192	2060
16206	San José Purua	Jungapeo	Michoacán de Ocampo	344322.011	2154975.467	1470
16213	Irimbo	Irimbo	Michoacán de Ocampo	345053.584	2178860.173	2180
16221	Fruticultores	Zinapécuaro	Michoacán de Ocampo	310023.365	2198451.145	1960
16225	Villa Jiménez Ii	Jiménez	Michoacán de Ocampo	212430.739	2205311.553	2000
16231	Las Cruces Barreras	Chucandiro	Michoacán de Ocampo	250539.228	2206483.436	2070
16232	El Devanador	Tzitzio	Michoacán de Ocampo	308367.795	2144343.176	1060
16234	Galeana	Puruándiro	Michoacán de Ocampo	230637.901	2217854.407	1550
16235	Huajumbaro	Hidalgo	Michoacán de Ocampo	317424.412	2176907.811	2285
16241	Tafetán	Tzitzio	Michoacán de Ocampo	299749.840	2148834.168	2235
16245	San Carlos I	Tiquicheo De Nicolas Romero	Michoacán de Ocampo	311881.431	2128530.774	740
16247	Capula	Morelia	Michoacán de Ocampo	249253.036	2177274.791	1708
16250	Huandacareo	Huandacareo	Michoacán de Ocampo	261958.164	2211862.436	2285
16252	San Lorenzo	Maravatío	Michoacán de Ocampo	350006.478	2206583.166	1990
16254	Teremendo	Morelia	Michoacán de Ocampo	240395.916	2189400.617	2350
16255	Ucareo	Zinapécuaro	Michoacán de Ocampo	322911.450	2201300.006	1800
16257	Santa Isabel De Ajuno	Pátzcuaro	Michoacán de Ocampo	228854.981	2158188.877	2250
16258	Presa Tuxpan	Tuxpan	Michoacán de Ocampo	344492.583	2161215.748	1747
16512	El Colegio	Tarímbaro	Michoacán de Ocampo	271795.812	2187768.899	1880
16513	El Jacal (Dge)	Chucandiro	Michoacán de Ocampo	255402.862	2200569.860	1941
16514	Jaripeo	Irimbo	Michoacán de Ocampo	344541.318	2173545.211	1880
16515	La Sandía	Ario	Michoacán de Ocampo	218792.723	2132126.740	2180
22050	Ceja De Bravo	Huimilpan	Querétaro	355232.250	2254414.747	2190

Tabla 4.2. Estaciones hidrométricas seleccionadas

Estación	Nombre	Río o canal	Estado	Longitud	Latitud
12012	San Francisco	Canal Gugorrones	Guanajuato	-100.9000	20.2100
12014	Pasarela Villa Jiménez	Rio Angulo	Michoacán	-101.7458	19.9167
12020	El Salto	Canal San Isidro	Guanajuato	-100.9042	20.2000
12022	Reforma Numero 1	Canal Reforma	Guanajuato	-100.8833	20.1917
12023	Reforma Numero 2	Canal Ardillas	Guanajuato	-100.8833	20.1958
12034	Maravatío	Canal Maravatío	Guanajuato	-100.9042	20.1983
12067	Emenguaro	Rio Lerma	Guanajuato	-100.875	20.1708
12093	Zinzimeo	Rio Queréndaro	Michoacán	-100.9764	19.8708
12109	Batanes	Canal San Isidro	Guanajuato	-100.9042	20.2042
12117	Maravatío	Arroyo Cachivi	Michoacán	-100.4222	19.9000
12121	San Nicolas li	Canal San Nicolas	Guanajuato	-100.9042	20.2000
12139	Zirizicuaro	Canal Puro agua	Guanajuato	-100.4944	20.0208
12140	Zirizicuaro	Canal San Lorenzo	Michoacán	-100.4292	19.9542
12148	Zirizicuaro	Canal Peña Blanca	Michoacán	-100.4278	19.9556
12194	Ojuelos	Rio Lerma	Guanajuato	-100.9875	20.2625
12214	Emenguaro	Canal Emenguaro	Guanajuato	-100.8792	20.1375
12219	Coíntzio	Rio Grande De Morelia	Michoacán	-101.2583	19.6417
12221	Atapaneo	Rio Grande De Morelia	Michoacán	-101.1764	19.7250
12224	Chiquito	Rio Chiquito	Michoacán	-101.1903	19.6958
12232	Paso De Ovejas	Rio Lerma	Guanajuato	-100.4569	19.9917
12233	Corrales	Rio Lerma	Michoacán	-101.8042	20.1958
12237	Munguía (Zatemaye)	Rio Tigre	Guanajuato	-100.5597	20.1111
12254	San Isidro	Canal San Isidro	Guanajuato	-100.9083	20.2083
12257	Tarandacuao	Arroyo Tarandacuao	Guanajuato	-100.5125	19.9944
12258	Lavaderos	Rio Grande De Morelia	Michoacán	-101.0722	19.8486
12274	Monterrubio	Canal La Huerta	Michoacán	-101.2389	19.6542
12277	San Bartolo	Canal San Bartolo	Michoacán	-101.0111	19.8153
12283	Zacapendo	Canal Zacapendo	Michoacán	-101.0042	19.8153
12312	Coíntzio	Canal La Huerta	Michoacán	-101.2569	19.6375
12314	Queréndaro	Rio Queréndaro	Michoacán	-100.8894	19.8117
12323	Salidas de Malpaís	Rio Queréndaro	Michoacán	-100.8756	19.8319
12341	Salida Túnel	Rio Grande de Morelia	Michoacán	-101.2592	19.6333
12347	Santiago Undameo	Rio Grande de Morelia	Michoacán	-101.2881	19.6014
12365	El Salto	Rio Grande de Morelia	Michoacán	-101.2597	19.6375
12367	Vertedor Gugorrones	Canal Gugorrones	Guanajuato	-100.9000	20.2167
12376	Salvatierra	Rio Lerma	Guanajuato	-100.9042	20.2167
12415	Puente San Isidro	Rio de La Patera	Michoacán	-101.5250	19.8583
12424	Puerta del Monte	Canal Alimentador	Guanajuato	-101.0339	20.2644
12427	Puente San Isidro	Canal del Banadero	Michoacán	-101.5333	19.8583
12440	Puente San Isidro	Canal de la Peñita	Michoacán	-101.5292	19.8583
12466	Jerécuaro	Rio Tigre O Coroneo	Guanajuato	-100.5222	20.1417
12490	San Nicolasito	Rio Lerma	Michoacán	-100.4061	19.9194
12537	El Sifón	Canal Zanja Sur	Michoacán	-100.8778	19.8264
12560	Xoconole	Canal Xoconole	Michoacán	-101.0083	19.8019

Estación	Nombre	Río o canal	Estado	Longitud	Latitud
12588	El Plan	Río Grande De Morelia	Michoacán	-101.0111	19.8194
12611	Hacienda De Sánchez	Canal Gugorrones	Guanajuato	-100.9000	20.2208
12612	Angamacutiro 1	Canal Margen Izquierda	Michoacán	-101.7042	20.1333
12613	Angamacutiro 2	Canal Margen Derecha	Michoacán	-101.7000	20.1250
12620	Tarímbaro	Arroyo Guadalupe	Michoacán	-101.2236	19.7894
12661	La Cinta	Dren La Cinta	Guanajuato	-101.1625	20.0958
12664	El Gigante	Río Lerma	Michoacán	-100.4500	19.9667
12713	Angamacutiro I	Río Angulo	Michoacán	-101.7083	20.1375
12720	San Nicolas I	Canal San Nicolas	Guanajuato	-100.8894	20.2022
12734	El Sifón	Canal Zanja Sur Margen Derecha	Michoacán	-100.8811	19.8353
12742	Melchor Ocampo	Canal Vertedor Presa Melchor Ocampo	Michoacán	-101.7800	20.1667
12755	Angamacutiro 3	Canal Margen Derecha	Michoacán	-101.7042	20.1333
12756	Angamacutiro 4	Canal Margen Izquierda	Michoacán	-101.7042	20.1333
12932	Zinzimeo	Canal Zinzimeo	Michoacán	-101.0083	19.8256

De un total de 5436 estaciones climatológicas y 1126 estaciones hidrométricas, se preseleccionaron 154 estaciones climatológicas y 58 estaciones hidrométricas, las cuales cumplieron con las condiciones preestablecidas.

En la Figura 4.1 se puede apreciar que no hay suficientes estaciones hidrométricas para determinar el gasto total que llega al lago, ya que en la parte norte y oeste no hay estaciones hidrométricas, por lo que se deberá calcular el escurrimiento que llega al lago a través de modelos lluvia-escurrimiento.

Una vez que las estaciones fueron seleccionadas, el siguiente paso es aplicar las técnicas de regionalización a dichas estaciones (capítulo 4.2) para determinar cuáles de estas estaciones forman parte de una misma región homogénea, para posteriormente, llevar a cabo el proceso de llenado de datos faltantes mediante técnicas geoestadísticas (capítulo 4.3).

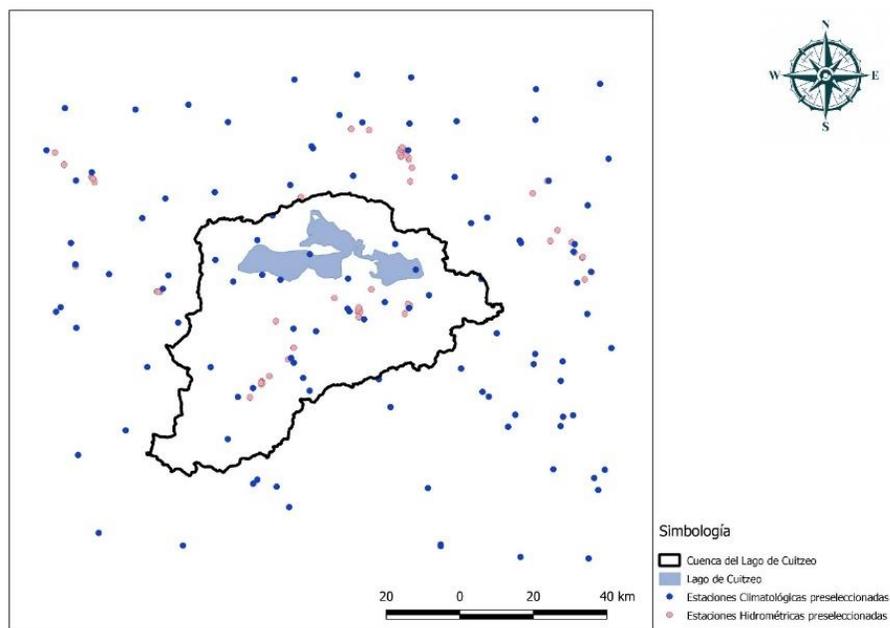


Figura 4.1. Estaciones hidrométricas y climatológicas seleccionadas

4.2. Delimitación de Regiones Homogéneas

Conocer la región homogénea permite minimizar el error al estimar eventos futuros, ya que se toma en cuenta la información de toda la región, además de poder obtener información en cualquier sitio dentro de la región sin importar que no exista información del tipo buscado en dicho punto.

Para saber si dos o más estaciones pertenecen a una misma región homogénea, lo primero, es contar con periodo común de registro de al menos diez años de todas las estaciones, para posteriormente, aplicar las técnicas de delimitación que se describen a continuación.

Para delimitar la región homogénea de variables climatológicas se emplean los métodos del parámetro β , coeficiente de variación de momentos-L y la distancia euclidiana (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2002).

4.2.1. Método del coeficiente de variación de los Momentos-L

Este método propuesto por Escalante-Sandoval (2008) utiliza el coeficiente de variación de los momentos-L ($Cv-L$), y establece que se pueden formar tres regiones definidas a partir de fijar dos límites, el superior, considerando el valor esperado de los $Cv-L$, \bar{c}_2 , más una desviación estándar de

esos Cv-L, S_{τ_2} , y otro inferior, tomando nuevamente el valor esperado de los Cv-L menos un desviación estándar de los Cv-L.

La media se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (4.1)$$

El coeficiente de variación es:

$$Cv_L = \tau_2 = \lambda_2 / \lambda_1 \quad (4.2)$$

El valor esperado de los coeficientes de variación es:

$$\bar{\tau}_2 = \frac{1}{ms} \sum_{j=1}^{ms} \tau_2^{(j)} \quad (4.3)$$

Y la desviación estándar del coeficiente de variación es:

$$S_{\tau_2} = \left[\frac{1}{ms} \sum_{j=1}^{ms} \left(\tau_2^{(j)} - \bar{\tau}_2 \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.4)$$

Donde los momentos-L son:

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (4.5)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (4.6)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (4.7)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (4.8)$$

Que dependen de los momentos de probabilidad pesada

$$\beta_{(0)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (4.9)$$

$$\beta_{(1)} = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} x_i(N-i) \quad (4.10)$$

$$\beta_{(2)} = \frac{1}{N(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^{N-2} x_i(N-i)(N-i-1) \quad (4.11)$$

En todos los casos, x_i son los valores de la serie de tiempo analizada, N representa el tamaño de muestra y m el número de estaciones analizadas.

4.2.2. Método del parámetro de forma de la distribución GVE

La distribución General de Valores extremos tiene la forma

$$F(x) = e^{-\left[1 - \left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)\right]^{1/\beta}} \quad (4.12)$$

Y su función de densidad

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\left[1 - \left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)\right]^{1/\beta}} \left[1 - \left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)\right]^{(1/\beta)-1} \quad (4.13)$$

Donde

μ es el parámetro de ubicación, α el parámetro de escala y β el parámetro de forma. Si,

$$\begin{aligned} \beta = 0 & \quad \text{Distribución Gumbel} \\ \beta < 0 & \quad \text{Distribución Fréchet} \\ \beta > 0 & \quad \text{Distribución Weibull} \end{aligned}$$

Los parámetros β de cada sitio se obtienen por la técnica de los Momentos L con la expresión:

$$\hat{\beta} = 7.859\hat{E} + 2.9554\hat{E}^2 \quad (4.14)$$

$$\hat{E} = \frac{\left[\frac{2\beta_{(1)} - \beta_{(0)}}{3\beta_{(2)} - \beta_{(0)}} \right] - \left[\frac{\ln(2)}{\ln(3)} \right]}{\quad} \quad (4.15)$$

Dónde: $\beta_{(0)}$, $\beta_{(1)}$ y $\beta_{(2)}$ son los momentos de probabilidad pesada obtenidos con las expresiones (5.9) a (5.11), x_i son los valores ordenados de mayor a menor de cada sitio.

La metodología consiste en ubicar el valor del parámetro β de cada estación en una gráfica y formar grupos a partir de sus valores; se pueden crear límites de intervalos a criterio del usuario.

4.2.3. Método de la Región de Influencia (Distancia Euclidiana)

En esta técnica cada sitio se considera el centro de su propia región. La identificación de una región de influencia se apoya en la medición de la distancia Euclidiana en un espacio de atributos multidimensionales. El conjunto de atributos (características fisiográficas y climatológicas) se relaciona a las características de los eventos extremos. También se define una función de peso que refleja la importancia relativa de cada sitio dentro de la región.

La distancia euclidiana de una estación cualquiera a la estación base se expresa como:

$$D_{ei} = \left[\sum_{i=1}^p (C_j^e - C_j^i)^2 \right]^{1/2} \quad (4.16)$$

$$C_j^e = \frac{x_j^e}{s(x^e)} ; C_j^i = \frac{x_j^i}{s(x^i)} \quad (4.17)$$

Dónde:

P es el número de atributos considerados

e es el indicador de la estación base

i es el indicador de la estación vecina, $i = 1, 2, 3, \dots$, ms (número de estaciones)

C_j^e y C_j^i son los valores estandarizados del atributo i para los sitios j y la estación base e

X_j^e son los valores del atributo i del sitio e

X_j^i son los valores del atributo i del sitio j

$S(x^i)$ es la desviación estándar del atributo i considerando todos los sitios j y la estación e .

El proceso de estandarización elimina las unidades de cada atributo y reduce cualquier diferencia de escala dentro de los valores del rango.

El proceso de identificación de la región de influencia implica proponer un valor de tolerancia que acote la media de la distancia. Así, se pudieran excluir todas aquellas estaciones que tengan una distancia más grande que el valor medio \bar{D}_{ie} desde el sitio base.

$$\bar{D}_{ei} = \sum_{i=1}^n \frac{D_{ei}}{n} \quad (4.18)$$

La región homogénea de la estación “e”, se define por todas aquellas estaciones que tengan una distancia euclidiana menor a la media obtenida por la ecuación (4.18).

4.3. Obtención de datos faltantes mediante Técnicas Geoestadísticas y regresión

4.3.1. Métodos de interpolación geoestadística

Delimitada la región homogénea, se puede considerar que la información de las estaciones que la conforman, fueron generados por mecanismos climáticos similares, por lo que es posible transferirla entre ellas, logrando con esto, tener la posibilidad de completar los datos faltantes en los registros.

Esta transferencia se lleva a cabo a través de la aplicación de técnicas geoestadísticas, que hacen la siguiente consideración general:

Sean X_j y Y_j las coordenadas de un punto j en un espacio bidimensional, y P_j una función de esas coordenadas, la que denota el proceso observado en ms estaciones de medición, j es el subíndice que indica el sitio al cual se refiere el proceso medido $j = 1, 2, 3, \dots, N$.

Además, sea P_e una estimación del proceso en un punto de coordenadas X_e y Y_e . La estimación puntual se tiene a partir de los datos medidos en las n estaciones y se puede representar por:

$$P_e = \sum_{j=1}^n w_j P_j \quad (4.19)$$

Donde

P_e es la estimación del proceso en el punto e

w_j son los factores de peso para los sitios j

P_j es el valor registrado del proceso en los sitios j

En todos los métodos la suma de los factores de peso w_j debe ser igual a uno, en caso de que sea diferente de 1 se utilizan multiplicadores de Lagrange, lo que implica el agregar un renglón y una columna a la matriz de datos y, con esto se garantiza que la suma es igual a uno.

Para estimar los factores de peso w_j existen varias técnicas, que se describen a continuación

4.3.1.1. Método de Thiessen

Este método es muy simple y considera que la estación del proceso P_e en el sitio de interés “e” es igual al valor observado de la estación más cercana en el área.

La distancia es determinada desde el sitio de interés “e” a cualquier sitio “j”, para $j=1, 2, \dots, n$ sitios.

$$d_{ej} = \sqrt{(x_e - x_j)^2 + (y_e - y_j)^2} \quad (4.20)$$

$$w = 1 \quad p_j = \min(Pd_{e1}, Pd_{e2}, Pd_{e3}, \dots, Pd_{en}) \quad (4.21)$$

4.3.1.2. Método de interpolación polinomial

Este método consiste en ajustar una ecuación global para el área de estudio. Está en función de las coordenadas del sitio a interpolar, empleando una función polinomial del tipo:

$$p_e = \sum_{j=1}^m \theta_k \varphi_k(x_e, y_e) \quad (4.22)$$

Donde:

P_e = Valor interpolado en el punto “e”

θ_k = k-esimo coeficiente polinomial

$\varphi_k(x_e, y_e)$ = k-esimo monomio en términos de las coordenadas (X_e, Y_e)

m = Número total de monomios, determinándose del grado de la función polinomial ajustada

Los monomios algebraicos se obtienen de la Tabla 4.3.

$$[w_j] = [\alpha k_j]^T [\varphi_k(x_e, y_e)] \quad (4.23)$$

$$[\alpha k_j] = [y k_j][\varphi_{ij}] \quad (4.24)$$

$$[y k_j] = [\theta k_j]^{-1} \quad (4.25)$$

$$[\theta k_j] = [\varphi_{ij}][\varphi_{ij}]^T \quad (4.26)$$

Donde:

$[\varphi_{ij}] = \text{Matriz de monomios}$

$[\varphi_k(x_e, y_e)] = \text{Matriz de monomios de la estacion } e$

Tabla 4.3. Monomios de la Técnica Polinomial

Grado	k	$\varphi_k(x_e, y_e)$	m
0	1	1	1
1	2-3	$x \ y$	3
2	4-6	$x^2 \ xy \ y^2$	6
3	7-10	$x^3 \ x^2y \ xy^2 \ y^3$	10
4	11-15	$x^4 \ x^3y \ x^2y^2 \ xy^3 \ y^4$	15
5	16-21	$x^5 \ x^4y \ x^3y^2 \ x^2y^3 \ xy^4 \ y^5$	21
6	22-28	$x^6 \ x^5y \ x^4y^2 \ x^3y^3 \ x^2y^4 \ xy^5 \ y^6$	28

- *Aproximación por mínimos cuadrados*

Esta variación del método de interpolación polinomial requiere que el número de monomios sea menor al número de estaciones ($m < n$) por lo que en este método tendremos $n-1$ estimaciones.

- *Aproximación por Lagrange*

La aproximación de Lagrange requiere que el número de monomios sea igual al número de estaciones ($m=n$).

4.3.1.3. Método de interpolación inversa (IDW)

La influencia en una estación para el cálculo de la misma en cualquier punto es inversamente proporcional a la distancia de los puntos. El método es de mayor peso a la estación más cercana, y se reduce conforme la distancia sea mayor, dependiendo del exponente β .

$\beta = 1$ interpolación de la distancia inversa

$\beta = 2$ interpolación de la distancia inversa al cuadrado

$$w_j = \frac{\left[\frac{1}{d_{ej}}\right]^\beta}{\sum_{j=1}^{mp} \left[\frac{1}{d_{ej}}\right]^\beta} \quad (4.27)$$

También se puede obtener el valor del parámetro β tal que se minimice el error

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_{real} - p_{estimada})^2} \quad (4.28)$$

4.3.1.4. Método de interpolación multicuadrática

En este método, la inferencia de pesos de cada estación está representada por superficies cuadradas en función de sus distancias.

La aplicación de este método requiere de obtener las siguientes matrices:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (4.29)$$

Donde:

$[d_{ij}] =$ Matriz de distancias entre estaciones

$[d_{ej}] =$ Matriz de distancias entre el punto e y estación j

$$[\delta_{ij}] = [d_{ij}]^{-1} \quad (4.30)$$

$$w_j = [\delta_{ij}][dej] \quad (4.31)$$

4.3.1.5. Método de interpolación óptima

Esta técnica requiere de las magnitudes de los eventos registrados en cada estación.

$$[w_j] = [\hat{\rho}(d_{ij})]^{-1}[\hat{\rho}(d_{ej})] \quad (4.32)$$

Donde $\hat{\rho}(d_{ij})$, $\hat{\rho}(d_{ej})$ son los estimadores de correlación espacial en los sitios “i,j” y “e,j”.

Se requiere primero obtener los valores de la estructura de correlación espacial:

$$\hat{\rho}(d_{ij}) = \frac{1}{n-1} \frac{\sum_{t=1}^{mp} (p_i^t - m_i)(p_j^t - m_j)}{s_i s_j} \quad (4.33)$$

Donde:

p_i^t, p_j^t = Observaciones de las series de tiempo p en el sitio i y j

m_i, m_j = Medias de las observaciones de las estaciones i y j

s_i, s_j = Desviación estándar de las observaciones de las estaciones i y j

mp = Número de datos en común entre pares de estaciones

los modelos pueden ser:

- **Modelo inverso:**

$$\hat{\rho}(d_{ij}) = \frac{1}{1 + \frac{d_{ij}}{c}} \quad (4.34)$$

- **Modelo de potencia inversa:**

$$\hat{\rho}(d_{ij}) = \frac{1}{\left(1 + \frac{d_{ij}}{c}\right)^a} \quad (4.35)$$

- **Modelo exponencial:**

$$\hat{\rho}(d_{ij}) = e^{-d_{ij}/c} \quad (4.36)$$

Donde a y c son constantes a estimarse y “d_{ij}” la distancia entre el sitio “i” y “j”

4.3.1.6. Método de interpolación de Kriging

Esta técnica es conceptualmente similar al método “óptimo” con la diferencia de que las matrices de correlación son remplazadas por un semivariograma $\Upsilon(d_{ij})$.

Para este método existen 2 variantes:

4.3.1.6.1. Kriging ordinario

$$[w_j] = [\hat{\gamma}(d_{ij})]^{-1} [\hat{\gamma}(d_{ej})] \quad (4.37)$$

El semivariograma real se obtiene como:

$$\hat{\gamma}(d_{ij}) = \frac{1}{2n} \sum_{t=1}^{mp} [(p_i^t - m_i)(p_j^t - m_j)]^2 \quad (4.38)$$

$$[\hat{\gamma}(d_{ij})] = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1m} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2m} & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{m1} & \gamma_{m2} & \cdots & \gamma_{mm} & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.39)$$

$$[\hat{\gamma}(d_{ej})] = \begin{bmatrix} \gamma_{e1} \\ \gamma_{e2} \\ \vdots \\ \gamma_{em} \\ 1 \end{bmatrix} \quad [w_j] = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.40)$$

Donde:

p_i^t, p_j^t = Lluvias en los sitios i y j

m_i, m_j = Medias de las observaciones de las estaciones i y j

s_i, s_j = Desviación estándar de las observaciones de las estaciones i y j

n = Número de datos en común entre pares de estaciones

m = Número de sitios

los semivariogramas espaciales ajustados son:

- **Semivariogramas lineal:**

$$\hat{\gamma}(d_{ij}) = a d_{ij} \quad (4.41)$$

- **Semivariograma monómico:**

$$\hat{\gamma}(d_{ij}) = (a d_{ij})^b \quad 0 < b < 2 \quad (4.42)$$

- **Semivariograma exponencial:**

$$\hat{\gamma}(d_{ij}) = a[1 - e^{-c d_{ij}}] \quad c > 0 \quad (4.43)$$

- **Semivariograma Gaussiano:**

$$\hat{\gamma}(d_{ij}) = a \left[1 - e^{-c d_{ij}^2} \right] \quad c > 0 \quad (4.44)$$

- **Semivariograma esférico:**

$$\hat{\gamma}(d_{ij}) = \frac{a}{2} \left[3 \frac{d_{ij}}{c} - \left(\frac{d_{ij}}{c} \right)^3 \right] \quad c > 0 \quad d_{ij} < c \quad (4.45)$$

4.3.1.6.2. Kriging universal

Los factores de peso se calculan al resolver el sistema:

$$\begin{bmatrix} 0 & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1m} & \theta_{11} & \theta_{21} & \cdots & \theta_{m1} \\ \gamma_{21} & 0 & \cdots & \gamma_{2m} & \theta_{12} & \theta_{22} & \cdots & \theta_{m2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{m1} & \gamma_{m2} & \cdots & 0 & \theta_{1m} & \theta_{2m} & \cdots & \theta_{mm} \\ \theta_{11} & \theta_{12} & \cdots & \theta_{1m} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \cdots & \theta_{2m} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{m1} & \theta_{m2} & \cdots & \theta_{mm} & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{e1} \\ \gamma_{e2} \\ \vdots \\ \gamma_{em} \\ \theta_{e1} \\ \theta_{e2} \\ \vdots \\ \theta_{em} \end{bmatrix} \quad (4.46)$$

Donde:

γ_{ij} = Semivariograma estimado con mejor modelo

θ_{ij} = Monomios entre estaciones i, j

4.3.2. Llenado por regresión

Para llenar los datos faltantes en registros de cotas se utiliza la técnica de regresión lineal, la cual se describe a continuación:

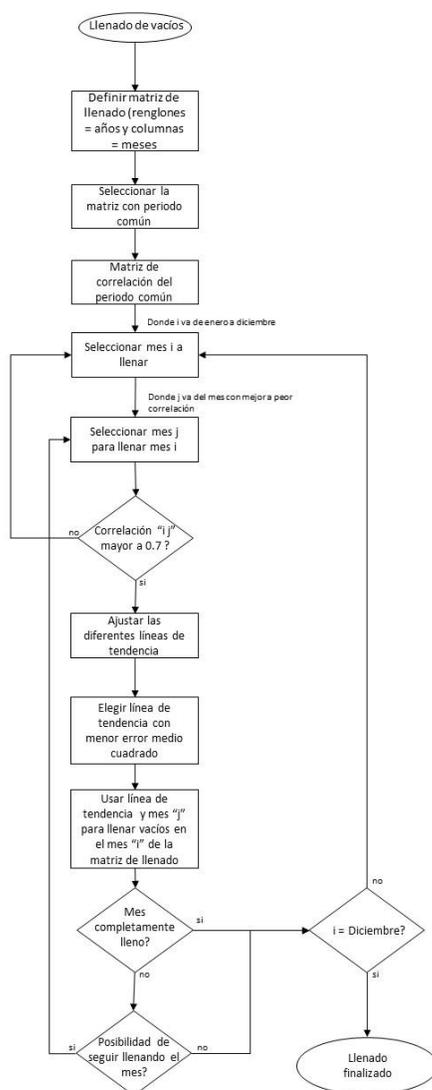


Figura 4.2. Diagrama de flujo de llenado de datos faltantes por medio de regresión

- a) Generar matriz de elevaciones mensuales del lago (renglones = años, columnas = meses).
- b) Obtener el periodo común, eliminar de la matriz todos los datos faltantes.
- c) Obtener matriz correlación entre las series de cada mes de la matriz con periodo común y seleccionar correlación mínima.
- d) Seleccionar el mes que deseas llenar.
- e) Encontrar el mes que tiene la mejor correlación.

y = serie de mes a llenar

x = mes con mayor correlación

- f) Ajustar las diversas líneas de tendencia existentes (encontrar parámetros que ajusten a los datos observados).

- **Exponencial**

$$y = a * e^{b*x} \quad (4.47)$$

- **Lineal**

$$y = a * x + b \quad (4.48)$$

- **Logarítmica**

$$y = a * \ln(x) + b \quad (4.49)$$

- **Polinómica de 2° grado**

$$y = a * x^2 + b * x + c \quad (4.50)$$

- **Polinómica de 3° grado**

$$y = a * x^3 + b * x^2 + c * x + d \quad (4.51)$$

- **Potencial**

$$y = a * x^b \quad (4.52)$$

Donde:

y = elemento a estimar

x = elemento estimador

a, b, c, d = parámetros a estimar en función de los datos observados

- g) Elegir la función con menor error de ajuste.

Se usa el error medio cuadrado (ecuación 4.53) (Martínez Heras, 2020) para determinar el error de ajuste entre la serie “y observada” y la “y estimada” de cada función; la función con el menor error medio cuadrado se utilizará para llenar los datos faltantes de los registros.

$$EMC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{real_i} - y_{estimada_i})^2 \quad (4.53)$$

Donde:

EMC = Error medio cuadrado

Y_{real_i} = Serie de datos reales

$Y_{estimada_i}$ = Serie de datos estimados mediante un modelo

n = Numero de datos de la serie

- h) Llenar dato faltante “y” con el dato “x” del mismo año de la serie del mes de mejor correlación.
- i) Si faltan datos para llenar la serie repetir el proceso desde el inciso “e” hasta el inciso “h” considerando el mes que tenga la segunda mejor correlación, y así sucesivamente hasta llenar la serie (fijarse que la correlación del mes seleccionado sea mayor a 0.7).
- j) Repetir el ciclo (inciso “d” hasta inciso “i”) con cada mes del año hasta llenar todo el registro.

5. Pruebas de Homogeneidad y Tendencia

Para poder ajustar las series a las funciones de distribución se debe asegurar que sigan las leyes de la probabilidad, es decir que sean series estacionarias y esto se garantiza si cumplen las siguientes pruebas:

Nota: Si las pruebas indican que no es estacionario y la serie es menor a 50 años, se dice que la información no es contundente, por lo que no podemos afirmar si es estacionario o no.

5.1. Pruebas de homogeneidad

5.1.1. Prueba de Pettit

Es una prueba no paramétrica que se basa en la prueba de wilcoxon. La prueba está basada en rangos y es usada para identificar un punto de cambio en la media de una serie de tiempo.

Los rangos r_1, r_2, \dots, r_n y y_1, y_2, \dots, y_n son usados para calcular:

$$x_k = 2 \left(\sum_{i=1}^k r_i \right) - k(n+1) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5.1)$$

Si ocurre un punto de cambio en la media en el año k , el valor absoluto de X_k alcanza su valor máximo:

$$x_k = \max |x_k| \quad 1 \leq k \leq n \quad (5.2)$$

Los valores críticos están en función del tamaño de la muestra, y son los siguientes:

Tabla 5.1- Valores críticos de la prueba de Pettit

n	20	30	40	50	70	100
1%	71	133	208	293	488	841
5%	57	107	167	235	393	677

Esta prueba es la más sensible para determinar el punto de cambio en la parte media de la serie de tiempo. Una vez que el punto de cambio es detectado por la prueba, la serie se divide en 2 intervalos para determinar la tendencia de sus intervalos antes y después del punto de cambio.

Para que la serie se considere homogénea debe cumplir:

$$X_{k_{\max}} < X_{k_{\text{critico}}}$$

A partir de ello se forman 2 grupos homogéneos que toman características heterogéneas de cada uno.

r_i rangos de la muestra ordenados de menor a mayor.

5.1.2. Prueba normal estándar

Es una prueba paramétrica que asume una hipótesis nula donde los valores de la variable examinada son independientes e idénticamente distribuidos. La hipótesis asume que hay una fecha en la que existe un cambio en la media de los datos.

Sea \bar{P} la media de la serie anual P_i para $i = 1, 2, \dots, n$; s la desviación estándar.

La prueba estadística $T(k)$ es definida como:

$$T(k) = k\bar{z}_1^2 + (n - k)\bar{z}_2^2 \quad (5.3)$$

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{(p_i - \bar{p})}{s} \quad (5.4)$$

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{n - k} \sum_{i=k+1}^n \frac{(p_i - \bar{p})}{s} \quad (5.5)$$

La media de los parámetros k años y los últimos $n-k$ años del registro es comprobada con $T(k)$ de la serie.

El estadístico de la prueba T_o es:

$$T_o = \max T_{(k)} \quad 1 \leq k \leq n \quad (5.6)$$

Si T_o es superior al valor crítico, la hipótesis nula será rechazada y se considera no homogénea. los valores críticos dependen del tamaño de la muestra. Esta prueba es más sensible al inicio y al final de la serie de tiempo.

Tabla 5.2 - Valores críticos para la prueba normal estándar

n	20	30	40	50	70	100
1%	9.56	10.45	11.01	11.38	11.89	12.32
5%	6.95	7.65	8.1	8.45	8.8	9.15

5.1.3. Prueba de Buishand

Esta prueba es de origen Bayesiano y hace referencia a un modelo simple que propone detectar un cambio en la media.

Esta prueba se basa en las desviaciones acumuladas de la media:

$$S_o^* = O_k \quad (5.7)$$

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (p_i - \bar{p}) \quad (5.8)$$

Para un registro homogéneo se puede considerar que los valores s de s_k^* fluctúan cerca de 0, ya que no existe un patrón sistemático en las desviaciones de los P_i de su valor \bar{P} . Cuando la tendencia de la serie es negativa, la mayoría de los valores de S_k^* son positivos porque los valores P_i son más grandes que \bar{P} .

Si i es menor o igual que el punto de cambio m , y más pequeños que \bar{P} si i es igual a m .

Para una tendencia positiva de la serie, los valores de S_k^* tienden a ser negativos.

La escala modificada de las sumas parciales se obtiene dividiendo los valores de S_k^* entre la desviación estándar de la muestra.

$$Q_{max} = |S_k^{**}| \quad (5.9)$$

$$R = \frac{(\max S_k^* - \min S_k^*)}{DP} \quad (5.10)$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{DP} \quad k = 0, \dots, n \quad (5.11)$$

$$Q = \max|S_k^{**}| \quad 0 \leq k \leq n \quad (5.12)$$

DP = desviación estándar de la muestra

Tabla 5.3 - Valores críticos para la prueba Buishand

n	10	20	30	40	50	100
1%	1.29	1.42	1.46	1.5	1.52	1.55
5%	1.14	1.22	1.24	1.26	1.27	1.29
10%	1.05	1.1	1.12	1.13	1.14	1.17

Para que la serie se considere homogénea debe de cumplir que:

$$Q/n^{.5} < Q_{\text{critico}}$$

5.1.4. Prueba de Van Newman

La relación de Van Newman se define como:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Q_i - Q_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^{n-1} (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (5.13)$$

Si la serie es homogénea el valor esperado de Van Newman es 2. Si la muestra tiene un salto, entonces el valor de N tiende a ser mayor que el valor esperado. Si la muestra tiene variaciones rápidas alrededor de la media, entonces $N < 2$.

Tabla 5.4 - Valores críticos para la prueba Van Newman

n	20	30	40	50	70	100
1%	1.04	1.2	1.29	1.36	1.45	1.54
5%	1.3	1.42	1.49	1.54	1.61	1.67

Para que la serie se considere homogénea debe de cumplir que:

$$N_c < N$$

5.1.5. Estadístico de Fisher

Es una prueba no paramétrica que relaciona la varianza de los subconjuntos (de longitud similar y sin presentar traslape) de la serie completa. Mide la estabilidad de la varianza a pesar de que los datos no se apeguen a la distribución normal.

La hipótesis nula es: “Las varianzas de los subconjuntos son iguales”.

La prueba de Fisher requiere de un coeficiente F_t que relaciona las varianzas de las submuestras.

$$F_t = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (5.14)$$

F_t se compara con la distribución F de Fisher para $v_1 = n_1 - 2$ y $v_2 = n_2 - 2$ grados de libertad.

Para que la serie se considere homogénea debe de cumplir que:

$$F_t < F$$

5.1.6. Prueba estadística de Helmer

Esta prueba es sencilla y consistente en analizar el signo de las desviaciones de cada evento x_i^j de la serie j para $i = 1, 2, \dots, n_j$, con respecto a su valor medio \bar{x}_j . Si una desviación de un cierto signo es seguida de otra del mismo signo, entonces se dice que se forma una secuencia S , de lo contrario se considera como un cambio C .

La serie se considera homogénea si se cumple:

$$-\sqrt{n-1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n-1} \quad (5.15)$$

Donde n es el tamaño de la muestra, S el número de secuencias de signo positivo (+) o negativo (-) y C es el número de cambios de signo igualmente positivo o negativo.

5.1.7. Prueba t de student

Cuando la causa probable de la pérdida de homogeneidad de la serie sea un cambio abrupto en la media, la prueba del estadístico t es muy útil. Si se considera una serie x_i^j para $i = 1, 2, \dots, n_j$, del sitio j , la cual se divide en dos conjuntos de tamaño $n_2 = n_1 = \frac{n_j}{2}$, entonces, el estadístico de prueba se define con expresión:

$$t_d = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\left(\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}\right) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (5.16)$$

Dónde:

\bar{x}_1 : Media de la primera parte del registro n_1 .

S_1^2 : Varianza de la primera parte del registro n_1 .

\bar{x}_2 : Media de la segunda parte del registro n_2 .

S_2^2 : Varianza de la primera parte del registro n_2 .

El valor absoluto de t_d se compara con el valor t de la distribución t de Student de dos colas, y con $U = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad para un nivel de confianza de $\alpha = 0.05$.

Sí y solo sí, el valor absoluto de t_d es mayor que aquel de la distribución t de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie x_t^j se considera no homogénea.

En la tabla siguiente se presenta el valor de t de la distribución t de student de dos colas.

Tabla 5.5 - Estadístico t de la distribución t de student de dos colas

Grados de libertad	Dos colas 50 %	Grados de libertad	Dos colas 50 %
1	12.71	18	2.10
2	4.30	19	2.09
3	3.18	20	2.09
4	2.78	21	2.08
5	2.57	22	2.07
6	2.45	23	2.07
7	2.37	24	2.06
8	2.31	25	2.06
9	2.26	26	2.06
10	2.23	27	2.05
11	2.20	28	2.05
12	2.18	29	2.05
13	2.16	30	2.04
14	2.15	40	2.02
15	2.13	60	2.00
16	2.12	120	1.98
17	2.11	α	1.96

5.1.8. Prueba estadística de Cramer

Esta prueba se utiliza con el propósito de verificar homogeneidad en el registro x_i^j de la serie j para $i = 1, 2, \dots, n_j$, y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un período de tiempo a otro. Con este propósito se consideran tres bloques, el primero, del tamaño total de la muestra n_j ; el segundo de tamaño n_{60} (60% de los últimos valores de la muestra n_j); y el tercero de tamaño n_{30} (60% de los últimos valores de la muestra n_j).

La prueba compara el valor de \bar{x}^j del registro total con cada una de las medias de los bloques elegidos \bar{x}_{30}^j y \bar{x}_{60}^j . Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los bloques.

$$\bar{x}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{x_i^j}{n_j}, \text{ para una sola muestra analizada } j = 1 \quad (5.17)$$

$$S_x^j = \left[\frac{1}{(n_j - 1)} \sum_{i=1}^{n_j} (x_i^j - \bar{x}^j)^2 \right]^{1/2} \quad (5.18)$$

$w = 60$ y 30

$$\bar{x}_w^j = \sum_{k=1}^{n_w} \frac{\bar{x}_k^j}{n_w} \quad (5.19)$$

$$\tau_w^j = \frac{\bar{x}_w^j - \bar{x}^j}{S_x^j} \quad (5.20)$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w(n-2)}{n_j - n_w(1 + (\tau_w^j)^2)} \right\}^{1/2} |\tau_w^j| \quad (5.21)$$

El estadístico t_w tiene distribución t de Student de dos colas con $U = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y un nivel de confianza $\alpha = 0.05$

Sí y solo si, el valor absoluto de t_w , para $w = 60$ y $w = 30$, es mayor que el de la distribución t de Student (Tabla 5.5), se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie x_i^j se considera no homogénea.

5.2. Pruebas de tendencia

5.2.1. Prueba de Mann Kendall

Es una prueba no paramétrica basada en rangos.

- Se listan los valores (x_1, x_2, \dots, x_n)
- Se obtiene el signo de diferencia de cada par de valores al comparar sus magnitudes $(x_j - x_k)$ con $j > k$

$$\text{signo}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{si } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{si } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{si } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (5.22)$$

- Se obtiene el estadístico s de Mann Kendall

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{signo}(x_j - x_k) \quad (5.23)$$

Si S es positivo se infiere de forma subjetiva que la tendencia es creciente, cuando S es negativo, se infiere que hay tendencia decreciente.

- Observación de $\text{var}[s]$

$$\text{Var}[S] = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5)] \quad (5.24)$$

- Cálculo del estadístico Z_{mk}

$$z_{mk} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}[S]}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}[S]}} & \text{si } S < 0 \end{cases} \quad (5.25)$$

A partir de Z_{mk} se evalúa la hipótesis de interés.

H_0 : No hay tendencia H_1 : hay tendencia decreciente/creciente

H_0 es rechazada si Z_{mk} es mayor que $z_{\alpha/2}$ o menor que $-z_{\alpha/2}$, z es la distribución normal estándar con nivel de significancia $\alpha = .05$.

5.2.2. Prueba de Spearman

Es una prueba no paramétrica que se basa en el rango para la correlación entre 2 variables que se pueden utilizar para comprobar la correlación entre el tiempo y la serie de datos.

El coeficiente de correlación por datos es:

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^n (rx_i - ry_i)^2}{n^3 - n} \quad (5.26)$$

Para el tamaño de la muestra mayor que 10 se emplea el estadístico de prueba:

$$t_d = \frac{R_s}{\left[\frac{1 - R_s^2}{n - 2} \right]^{1/2}} \quad (5.27)$$

Donde:

T_d sigue la distribución t con n-2 grados de libertad

$|t_d| < t$ crítico (Tabla 5.5) para considerar tendencia no significativa

$R_s > 0$ tendencia creciente

$R_s < 0$ tendencia decreciente

6. Metodología

Se propuso la siguiente metodología (Figura 6.1) con la finalidad de obtener un modelo de balance hídrico que se ajuste a las características de la cuenca del lago de Cuitzeo, así como de la información disponible, para estimar el comportamiento del nivel del lago.

Con dicho modelo se propusieron cambios en algunas de las variables, ya sea proyecciones climatológicas, uso de suelo o topografía del vaso; y se evaluó, como estos cambios se ven reflejados en el nivel del lago, con el fin de examinar propuestas y sus consecuencias, para después seleccionar la opción que resolviera el problema de la inestabilidad y desecación del lago de Cuitzeo.

Todo el procesamiento de la información y cálculos de este trabajo se realizaron con ayuda de Python como lenguaje de programación (Rossum, 2019).

De aquí en adelante código se define como, un texto de variable longitud que está escrito en un Lenguaje de Programación (Python en este caso), al ejecutarse se tiene la capacidad de codificar y decodificar el conjunto organizado de datos con el fin de realizar una acción específica.

En cada capítulo donde fue necesario hacer un cálculo se indicó el anexo donde se describe a detalle el código utilizado para dicho cálculo.

Los datos vectoriales, tipo raster y mapas utilizados en este trabajo fueron visualizados, generados y procesados con ayuda de QGis (OSGEO Project, 2020) y (GRASS GIS, 2020)

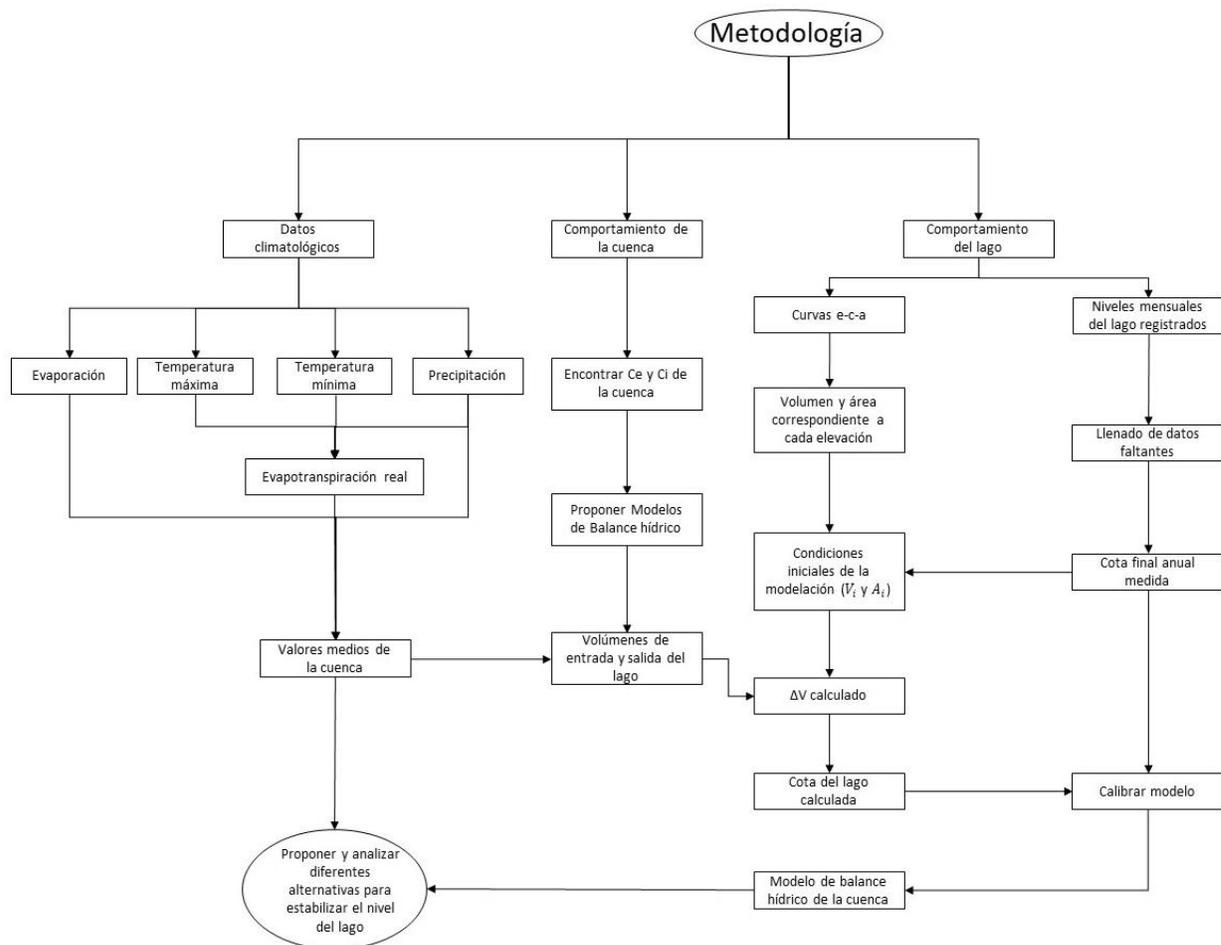


Figura 6.1 - Diagrama de flujo de la metodología empleada

6.1. Evapotranspiración

La evapotranspiración es la consideración conjunta de 2 procesos diferentes:

- Evaporación
- Transpiración

Como son difíciles de medir por separado, y en la mayor parte de los casos lo que interesa es la cantidad de agua total que regresa a la atmósfera sea del modo que sea, se consideran conjuntamente bajo el término de evapotranspiración.

Evaporación

Es el fenómeno físico en el que el agua pasa de líquido a vapor y se produce desde:

- a) La superficie del suelo y la vegetación inmediatamente después de la precipitación
- b) La superficie del suelo (agua infiltrada cerca de la superficie o estancada)
- c) La superficie del agua (lagos, embalses, ríos)

Transpiración

Es el fenómeno biológico mediante el cual las plantas regresan el agua a la atmósfera, las plantas toman el agua del suelo a través de las raíces, usan una parte para su desarrollo y el resto lo transpiran (Sánchez San Román, 2017).

Evapotranspiración potencial y Evapotranspiración real

- **Evapotranspiración potencial:** Es la evapotranspiración que se produciría si no existieran restricciones de humedad en el suelo, en otras palabras, sería la máxima evapotranspiración posible.
- **Evapotranspiración real:** Es la evapotranspiración que se produce con las condiciones existentes en cada caso.

Evidentemente la evapotranspiración potencial es mayor que la real, mientras más humedad haya en el suelo y el desarrollo vegetal sea bueno la evapotranspiración real será más parecida a la potencial.

Factores que influyen en la evapotranspiración

La evaporación depende del poder evaporante de la atmósfera, que a su vez depende de los siguientes factores (Sánchez San Román, 2017):

- Radiación solar
- Temperatura
- Humedad
- Presión atmosférica
- Viento

Evaporación desde la lámina libre de un cuerpo de agua:

- Poder evaporante de la atmósfera
- Salinidad del agua
- Temperatura del agua

Evaporación desde un suelo desnudo:

- Poder evaporante de la atmosfera
- Tipo de suelo
- Grado de humedad del suelo

La transpiración está en función de:

- El poder evaporante de la atmosfera
- El grado de humedad del suelo
- Tipo de planta
- Variaciones estacionales

6.1.1. Cálculo de la evapotranspiración real

Con los datos de temperatura y precipitación de las estaciones climatológicas, se puede estimar la evapotranspiración real por medio de los siguientes métodos (Sánchez San Román, 2017).

6.1.1.1. *Coutagne*

$$ETR = P - \chi P^2 \quad \chi = \frac{1}{.8 + .14 t} \quad (6.1)$$

La fórmula solo es válida para valores de P (m/año) comprendidos entre $1/8\chi$ y $1/2\chi$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real (m/año)

P = Precipitación (m/año)

t = Temperatura media anual (°C)

6.1.1.2. *Turc*

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad L = 300 + 25 t + 0.05 t^3 \quad (6.2)$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real (m/año)

P = Precipitación (m/año)

t = Temperatura media anual (°C)

6.2. Escurrimiento

Se define como escurrimiento superficial al porcentaje de precipitación que se desplaza sobre la superficie del terreno por gravedad, formando una red hidrográfica sobre el terreno, hacia un punto de salida de la cuenca.

Los factores que influyen en el escurrimiento son:

a) Climáticos:

- Intensidad de la precipitación
- Duración de la precipitación
- Distribución geográfica de la precipitación
- Dirección de la tormenta
- Tipo de precipitación
- Tipo de tormenta
- Precipitación antecedente

b) Factores geológicos, hidrográficos y topográficos:

- Suelos
- Forma de la cuenca
- Área de la cuenca
- Red de drenaje
- Pendiente media de la cuenca
- Pendiente media del cauce principal

Los métodos de medición del escurrimiento se dividen en 2 grupos:

Métodos directos: Estos métodos son mediciones directas del escurrimiento en un cauce. Existe una red de estaciones hidrométricas que monitorean el gasto medio diario, máximos y mínimos instantáneos de los principales ríos del país.

Métodos indirectos: También conocidos como modelos lluvia-escurrimiento, los cuales infieren el escurrimiento producto de la precipitación.

Debido a la escasa información hidrométrica en la zona se optó por determinar el escurrimiento en base a modelos lluvia-escurrimiento.

En este trabajo se utilizaron 2 métodos para determinar el escurrimiento:

- a) Encontrar el coeficiente de escurrimiento (C_e)

$$Q_e = P * C_e \quad (6.3)$$

- b) Encontrar el coeficiente de infiltración (C_i)

$$Q_e = P - ETR - P * C_i \quad (6.4)$$

Donde:

Q_e = Escurrimiento en mm

P = Precipitación en mm

C_e = Coeficiente de escurrimiento adimensional (0 a 1)

ETR = Evapotranspiración real en mm

C_i = Coeficiente de infiltración del acuífero (0 a 1)

6.3. Valores medios anuales de la cuenca

Al no contar con registros de viento y presiones de vapor en la zona no se pudo calcular la evaporación en el embalse por los diferentes métodos existentes (Belén Gallego, 2011); por lo que se tomaron registros de evaporímetros de las estaciones climatológicas de CLICOM (previamente delimitada una región homogénea y llenado de registros vacíos, como se describe en los capítulos 4.2 y 4.3), como la evaporación del lago depende de la forma y la profundidad del embalse (Belén Gallego, 2011), la evaporación medida de los registros de evaporímetros difiere con la evaporación real que se produce en el espejo de agua del lago; por lo que los registros del evaporímetro se ajustaron con un coeficiente con el fin de disminuir el error (Sokolov A.A., 1981).

Los datos para determinar los volúmenes de entrada y salida del lago corresponden a la precipitación, evapotranspiración real y evaporación acumulada anual.

La información obtenida hasta el momento fue puntual (estaciones climatológicas) y para determinar los volúmenes de entrada y salida del lago se requirieron valores medios de la cuenca o del lago según sea el caso de la variable o el propósito de cálculo.

Se requirió crear mapas (por año) de la variación espacial de acuerdo a la magnitud de los valores y distribución en el espacio de las estaciones a través de la herramienta *v.surf.idw* en Grass.

v.surf.idw llena una matriz raster con valores interpolados generados a partir de un conjunto de puntos de datos vectoriales espaciados irregularmente utilizando técnicas de aproximación numérica (promedio ponderado). El valor interpolado de una celda está determinado por los valores de los puntos de datos cercanos y la distancia de la celda desde esos puntos de entrada. En comparación con otros métodos, la aproximación numérica permite la representación de superficies más complejas (particularmente aquellas con características anómalas), restringe la influencia espacial de cualquier error y genera la superficie interpolada a partir de los puntos de datos. (Shapiro, 2020)

Una vez estimados los mapas espaciales del comportamiento se sacó el promedio de los valores de cada pixel del área correspondiente (cuenca o lago), con lo cual se tuvieron series anuales de los valores medios de la cuenca; los cuales fueron los valores de entrada para el modelo de balance hídrico.

6.4. Balance hídrico

El estudio del balance hídrico en hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido como ecuación de la continuidad. Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre la entrada y salida del volumen del agua, estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.

De forma general el balance hídrico es representado por la siguiente ecuación (Sokolov A.A., 1981).

$$P + Q_{si} + Q_{ui} - E - Q_{so} - Q_{uo} - \Delta S - v = 0 \quad (6.5)$$

Donde:

P = Precipitación en forma de lluvia o nieve recibida en la superficie del suelo

Q_{si} = Masa de agua superficial recibida del exterior de la cuenca

Q_{ui} = Masa de agua subterránea recibida del exterior de la cuenca

E = Evaporación desde la, superficie de la masa de agua

Q_{so} = salida de corrientes de agua superficial desde la cuenca

Q_{uo} = salida de corrientes de agua subterránea desde la cuenca

ΔS = Volumen de agua almacenada

v = residual para eliminar el error de medición

Para su aplicación, la ecuación del balance hídrico (ecuación 6.5) puede o no simplificarse dependiendo de los datos disponibles, del objeto del cálculo, del tipo de cuerpo de agua (cauce de un río, lago, embalse, etc.), de las dimensiones del cuerpo de agua, de las características hidrográficas e hidrológicas, de la duración del balance hídrico y, de la fase del régimen hidrológico (Sokolov A.A., 1981).

En este caso es una cuenca endorreica, por lo que todo el volumen de escurrimiento llega al lago, y se supone que no hay aportes ni salida de agua superficial ni subterránea, por lo que " Q_{si} ", " Q_{ui} ", " Q_{so} " y " Q_{uo} " son despreciables. Así que en términos generales la ecuación de balance hídrico para nuestra zona de estudio es la siguiente:

$$\Delta V = V_e - V_s \quad (6.6)$$

Donde:

ΔV = Variación del volumen del lago en Hm³

V_e = Volumen aportado al lago en Hm³

V_s = Volumen expulsado del lago en Hm³

En este trabajo se propusieron dos fórmulas de balance hídrico (partiendo de la ecuación 6.6) que se adaptaron a la información existente en la zona, de las cuales se determinó cual se ajusta mejor a lo que ocurre físicamente en el sistema. Dichas ecuaciones se presentan a continuación:

- Utilizando la ecuación 6.3 " C_e " para calcular el escurrimiento

$$V_e = C_e * Pre * Ac \quad (6.7)$$

- Utilizando la ecuación 6.4 “ C_i ” para calcular el escurrimiento

$$V_e = (Pre - ETR - Pre * C_i) * A_c \quad (6.8)$$

Donde:

V_{esc} = Volumen escurrido al lago en L

C_e = Coeficiente de escurrimiento

C_i = Coeficiente de infiltración

P_{re} = Precipitación media de la cuenca en mm

A_c = Área de la cuenca en m^2

ETR = Evapotranspiración real media de la cuenca en mm

6.4.1. Modelo para calcular aporte anual al lago (ΔV)

Para encontrar el volumen aportado anualmente al lago a partir de un modelo de balance hídrico se siguieron los pasos mostrados en la siguiente figura:

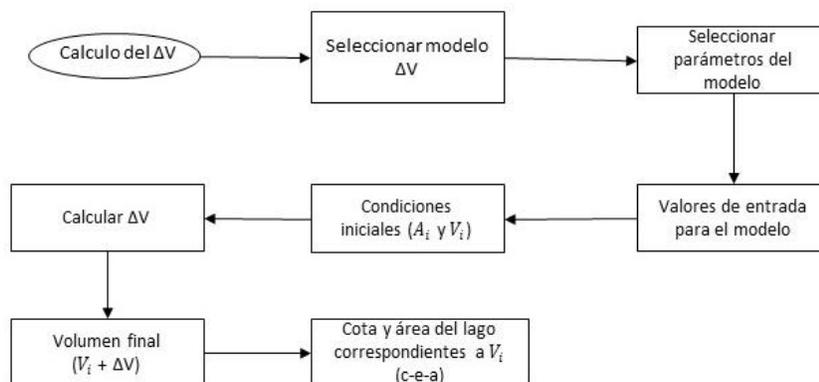


Figura 6.2. Metodología para estimar el incremento de volumen en el lago

- **Seleccionar modelo ΔV :** seleccionar la ecuación que se va a utilizar para representar el balance hídrico.
- **Seleccionar parámetros del modelo:** “ C_e ” o “ C_i ” según sea el modelo a utilizar
- **Valores de entrada para el modelo:** Precipitación media de la cuenca, evaporación media del lago y evapotranspiración real media de la cuenca en milímetros; esta lamina se convertirse a unidades de volumen, utilizando la siguiente relación:

$$1mm = 1 \frac{L}{m^2} \quad (6.9)$$

Utilizando la relación mostrada en la ecuación 6.9 y el área de la cuenca o el lago en metros cuadrados se obtuvo el volumen en litros, al tratarse de valores acumulativos de forma anual, se trata de valores de gran magnitud por lo que conviene dejar las unidades en hectómetros cúbicos, esto se hace dividiendo entre 1'000,000,000.

- **Condiciones iniciales:** Se identificó la cota final del año previo al inicio del periodo a modelar y con las curvas elevación-capacidad-área se obtuvo el área y volumen inicial del lago.
- **Δv calculado:** Al aplicar el modelo y los datos de entrada para cada elemento de la serie se obtuvo el incremento en el volumen en el lago de cada año.
- **Volumen final:** El volumen final del año se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$V_i = \Delta V_i + V_{i-1} \quad (6.10)$$

Donde:

V_i = Volumen final del lago en el año “ i ”

ΔV_i = Incremento en el volumen del lago en el año “ i ”

V_{i-1} = Volumen final del lago en el año “ $i-1$ ”

- **Cota y área final del lago:** Con el volumen final de cada año, se pudo estimar el nivel y área final de dicho año con las curvas de elevación-capacidad-área.

6.5. Calibración del modelo

Al tratarse de un modelo matemático, es imposible tener una precisión del 100% debido a diversos factores; al no poder considerar todas las variables, malas mediciones, etc. Por lo que fue necesario calibrar el modelo, comparando los resultados del modelo con mediciones en campo, y se encontró una constante que hizo que el error entre ambas fuera el menor posible.

La ecuación de balance hídrico tiene un residual para minimizar el error de medición (Sokolov A.A., 1981), este residual se sustituyó con los parámetros “a”, “b” y “c”, que se utilizaron como parámetros para ajustar el error de medición de la precipitación, temperaturas y evaporación.

Calibración del modelo significa, que se deben encontrar los parámetros de la ecuación que presenten el mínimo error medio cuadrado (ecuación 4.53) entre los valores estimados por el modelo y los datos observados reales.

Las ecuaciones que se calibraron se presentan a continuación, las cuales surgieron sustituyendo las ecuaciones 6.7 y 6.8 en la ecuación 6.6. Dado que la magnitud de los eventos anuales es muy grande se consideró pasar las unidades a hectómetros cúbicos para un mejor manejo:

$$\Delta V = C_e V_{pre} - a V_{evo} \quad (6.11)$$

$$\Delta V = a V_{pre} - b V_{ETR} - C_i V_{pre} - c V_{evo} \quad (6.12)$$

Donde:

ΔV = diferencia de volumen del lago en Hm³

V_{pre} = Volumen de precipitación de la cuenca en Hm³

V_{evo} = Volumen de evaporación en el lago en Hm³

V_{ETR} = Volumen de evapotranspiración real en la cuenca en Hm³

C_e, C_i = Coeficiente de escurrimiento e infiltración respectivamente

a, b, c = coeficientes de corrección de medición

La serie de datos de entrada para el modelo se dividió en dos periodos: un período de calibración en el cual encontramos los parámetros y un periodo de prueba en el cual se verificó que el modelo con los parámetros propuestos, se comportó de la misma manera que los datos medidos.

En este trabajo se propone utilizar 2/3 de la serie para calibrar y 1/3 para probar los parámetros.

6.5.1. Variable para calibrar el modelo (Cota observada del lago)

La cota registrada del lago fue la variable medida físicamente con la cual se calibró el modelo, la cual se estimó a partir de los registros mensuales del nivel del Lago de Cuitzeo, realizados por la Conagua. (capítulo 3.3)

En la

Tabla 3.1 se especifica que el registro se toma el día primero de cada mes, lo que significa que la cota final del mes “ i ” es en realidad la cota del mes “ $i-1$ ”. Si se trabaja con series anuales, entonces se tomaría el registro de enero del siguiente año como el registro final del año. Como se observa en el registro existen meses que no tienen información, por lo que se llenaron los registros vacíos en la serie mediante la técnica de regresión (capítulo 4.3.2) para lo cual se utilizó la información de los meses con mejor correlación.

6.5.2. Periodo de calibración y prueba

El modelo se calibro de manera iterativa, siguiendo los pasos que a continuación se presentan:

- **Seleccionar periodo de calibración:** elegir el periodo que se utilizara para calibrar, con sus respectivas condiciones iniciales (Cota, área y volumen).
- **Proponer parámetros iniciales:** “ C_e ”, “ C_i ”, “ a ”, “ b ” y “ c ” según sea el modelo a utilizar.
- **ΔV calculado:** Con la metodología descrita en el capítulo 6.4.1, los parámetros iniciales propuestos y las series de valores de entrada para el modelo, se determina la serie de elevaciones del lago.
- **Encontrar parámetros que mejor ajustan:** Curve_fit es una herramienta de scipy.optimize (SciPy.org, 2020) que usa mínimos cuadrados no lineales para ajustar una función (f) a una serie de datos.

Si definimos la función f (cota estimada), los datos de entrada (aportes y salidas del lago) y los datos observados capítulo 6.5.1, curve_fit determinara los parámetros del modelo

que mejor se ajustan a los datos observados. Esto quiere decir que el error entre la cota calculada y cota medido es el mínimo.

- **Error medio cuadrado:** Determinar el error medio cuadrado (ecuación 4.53) entre la serie calculada y observada.
- **Repetir el proceso:** Ahora los parámetros encontrados con Curve_fit se toman como parámetros iniciales y se vuelven a encontrar otros parámetros que ajusten mejor al ΔV medido.

Por cada iteración teóricamente tiende a acercarse a los parámetros óptimos, por lo que después de ciertas iteraciones los parámetros tienden a mantenerse constantes, con 50 iteraciones se considera suficiente para que se estabilicen los parámetros.

- **Selección de parámetros:** Los parámetros que se seleccionan son los que lograron el menor error medio cuadrado de todas las iteraciones.
- **Prueba de parámetros:** Los parámetros encontrados en el periodo de calibración se utilizan en el periodo de prueba de las series, siguiendo la misma metodología del capítulo 6.4.1, esto con el fin de corroborar que las estimaciones del modelo sean satisfactorias.

6.5.3. Modelo que mejor ajusta

La metodología propuesta en los capítulos 6.5.2 se repite, para cada uno de los modelos de balance hídrico propuesto en el capítulo 6.5 y diferentes periodos de calibración y prueba; con el fin de encontrar el modelo que mejor representa el comportamiento del lago de Cuitzeo.

6.6. Proyección del comportamiento

Según el estudio hecho por (Sistemas hidráulicos y ambientales S. d., 1986) la cota máxima recomendable es de 1820.5 y la cota mínima recomendable es 1819, ya que fuera de este rango, el nivel del lago causa los siguientes problemas:

Nivel mínimo:

- Se producen tolvaneras, debido a las grandes extensiones de áreas secas, las cuales son fuente de enfermedades respiratorias.
- Durante el proceso de secado, quedan zonas fangosas donde proliferan las moscas, mosquitos y otros insectos.

- Al secarse parte del lago, las sales disueltas forman una costra salina que inutiliza el suelo para fines agrícolas
- Al decrecer el nivel, en las partes más profundas se incrementa la concentración de sales, disminuyendo la posibilidad de vida acuática.

Nivel máximo:

- Inunda zonas de pastizales o cultivos.
- Dificulta (o imposibilita) el drenaje por gravedad del distrito de riego No. 20 Morelia-Queréndaro y eleva el nivel freático de las parcelas.
- Obliga desfogar el exceso hacia el dren la cinta, con las consecuentes protestas de los ribereños del lago de Yuridia porque se les envía agua con muchas sales.

El objetivo de este trabajo es determinar el área de evaporación que debería reducirse para que el nivel del lago se mantenga entre los límites recomendados; con el fin de determinar dicha área, se generaron curvas elevación-capacidad-área que determinarían teóricamente el comportamiento del lago, si se confina a una determinada área, con un bordo y vertedores de alturas definidas.

Estas curvas se generaron a partir de las curvas originales, pero considerando que, en cierto punto definido, el área se mantendría constante mientras que la elevación aumente, hasta que la cota alcance la altura establecida de los vertedores, a partir de este punto el área seguirá aumentando conforme crece el nivel respecto a las curvas originales.

El bordo teórico se hizo siguiendo una curva de nivel, esto con fines prácticos de cálculo, pero si se construyera un bordo no se haría de esta forma ya que es muy costoso e impráctico, el bordo se construiría de un punto “A” a un punto “B” confinando una parte del área del lago, la cual debe ser equivalente a el área de reducción estimada con el modelo.

Con las curvas elevación-capacidad-área propuestas, el modelo de balance hídrico calibrado (capítulo 6.5.3) y las series de valores medios de la cuenca (capítulo 6.3) se estimó el comportamiento del nivel del lago que genera dicha propuesta de reducción de área.

Como resultado, se pueden proponer diferentes áreas de confinamiento y alturas de bordo y vertedores, y estimar el comportamiento del nivel del lago de cada una y así seleccionar la mejor propuesta considerando que el nivel fluctuó entre los límites recomendados.

De tal manera, para representar en las curvas elevación-capacidad-área del comportamiento del lago con un bordo y vertedores se sigue la siguiente metodología:

- En la curva elevación-área se frena el incremento del área en un punto establecido, a partir de este punto aumenta el nivel del lago, pero el área se mantiene constante hasta llegar a la altura del bordo (vertedores), después de este punto, el área continúa creciendo siguiendo la tendencia de la curva elevación-área original.
- En la curva elevación-capacidad se toma la curva original hasta el punto donde se trunca el área y a partir de ahí se utiliza la siguiente formula:

$$V_i = V_{i-1} + \frac{(A_i + A_{i-1})}{2} * (Cota_i - Cota_{i-1}) \quad (6.13)$$

Donde:

V_i = Volumen en el lago correspondiente a la Cota_i

V_{i-1} = Volumen en el lago correspondiente a la Cota_{i-1}

A_i = Área del lago correspondiente a la Cota_i

A_{i-1} = Área del lago correspondiente a la Cota_{i-1}

Cota_i = Cota del lago

Cota_{i-1} = Cota anterior del lago

Si la cota es menor a la altura del bordo, entonces a A_i y A_{i-1} se les resta el área dentro del bordo, si la cota es mayor a la cota final del bordo entonces, se usará el área correspondiente a dicha cota.

- Para fines gráficos, a las cotas que superan la elevación del bordo en ambas graficas se le suma la altura del bordo, esto con la finalidad de representar el desbordamiento del lago por los vertedores y así poder mostrar el crecimiento del volumen y área del lago después del desbordamiento.

7. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados generados con la información y la metodología descrita en los capítulos 4, 5 y 6.

7.1. Periodo común

Para poder delimitar la región homogénea, primero se procedió a encontrar un periodo común mínimo de 10 años entre todas las estaciones, para cada una de las variables. Con el código descrito en el Anexo E se probaron todas las combinaciones posibles de estaciones y se revisó el número de años que tienen en común, hasta que se encontró la combinación de estaciones con el número máximo de estaciones y un periodo común mayor o igual a 10 años.

Las estaciones con periodo común de cada variable se presentan a continuación:

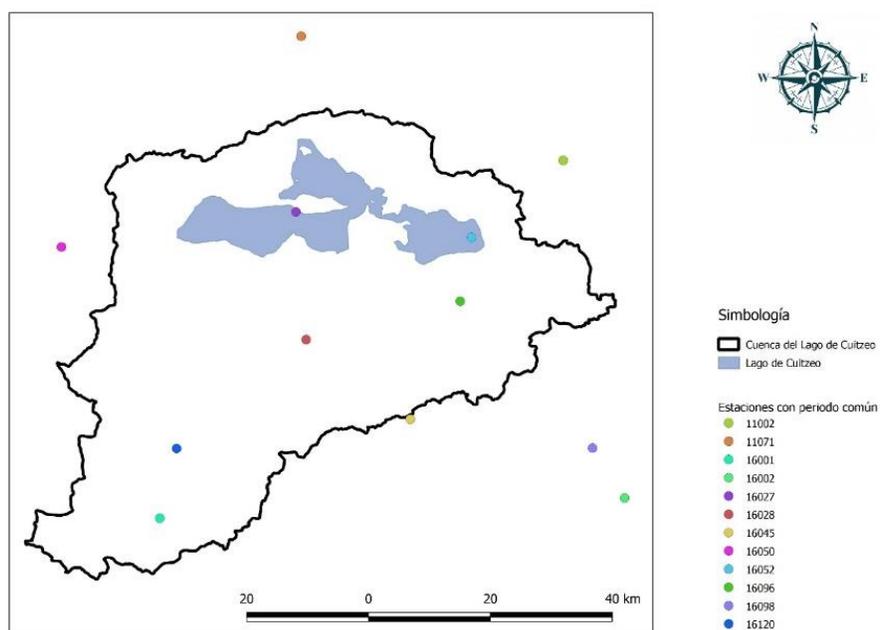


Figura 7.1- Estaciones con periodo común (Precipitación acumulada anual)

Tabla 7.1- Años del periodo común (Precipitación acumulada anual)

Estaciones/ Año	11002	11071	16001	16002	16027	16028	16045	16050	16052	16096	16098	16120
1971	1012.40	855.10	1076.40	1494.00	776.40	745.30	1709.80	845.00	907.50	751.60	1623.90	877.10
1977	654.60	506.30	799.40	1351.90	584.50	604.80	1511.60	806.70	673.20	655.10	1286.30	1026.90
1978	876.30	952.20	984.30	1455.00	1005.20	712.70	1461.60	1006.00	790.60	763.80	1483.60	1014.80
1979	681.80	497.20	890.30	1180.80	542.80	583.20	856.00	591.30	421.80	490.40	1202.90	780.30
1981	960.30	651.10	940.80	1393.40	820.40	510.90	1342.20	901.40	708.60	815.40	1433.90	786.70
1982	504.00	570.10	664.50	1118.90	405.70	129.80	1063.50	717.80	406.10	498.30	1145.50	710.80
1987	567.80	428.70	752.70	1084.20	602.20	465.60	1208.90	778.40	697.50	679.00	1166.10	618.80
1999	634.70	505.50	1192.70	999.50	678.00	649.10	1176.20	740.70	671.50	908.00	909.50	675.40
2003	1098.10	645.40	746.40	1300.40	690.70	754.00	824.20	1151.30	1041.40	1028.00	1110.50	861.30
2005	589.30	544.10	997.80	947.40	290.00	530.60	1315.00	813.30	717.20	685.20	825.90	935.50

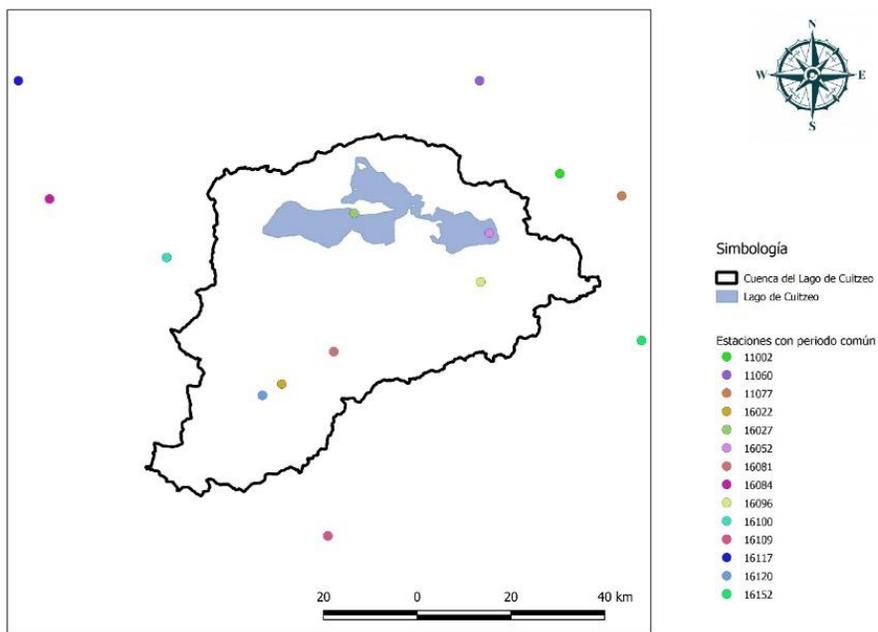


Figura 7.2. Estaciones con periodo común (Temperatura máxima anual)

Tabla 7.2. Años del periodo común (Temperatura máxima anual)

Estaciones/ Año	11002	11060	11077	16022	16027	16052	16081	16084	16096	16100	16109	16117	16120	16152
1955	25.85	25.47	28.46	24.62	26.62	25.51	24.88	26.32	25.52	24.40	33.29	30.40	24.39	26.31
1957	26.52	25.69	30.49	26.01	27.19	25.92	25.88	27.92	26.44	24.94	34.59	31.98	24.43	26.89
1958	25.33	25.25	28.33	23.99	25.29	25.15	24.60	26.07	25.49	22.97	32.86	29.95	23.00	25.01
1961	25.56	26.02	28.25	25.11	26.24	25.48	24.37	25.03	27.96	23.78	34.24	30.21	23.77	26.04
1966	24.92	25.58	27.38	24.09	24.87	24.89	25.14	25.58	25.39	23.51	33.75	29.74	23.74	25.49
1967	25.05	25.70	27.27	24.00	24.61	24.97	25.41	25.18	25.15	23.60	33.42	29.88	23.94	25.96
1970	26.80	26.76	28.12	24.77	26.46	25.88	26.86	25.02	26.13	24.35	34.02	30.97	26.38	26.93
1971	26.25	26.25	27.70	24.26	27.51	25.54	27.44	24.84	25.61	24.06	34.45	30.69	25.31	26.65
1974	26.33	26.22	27.76	23.78	27.14	25.24	27.37	24.99	25.52	24.19	34.78	27.83	23.37	26.19
1975	26.35	26.39	28.86	23.95	27.22	25.61	27.12	24.15	25.64	24.16	31.80	27.85	22.88	26.11
1978	26.87	25.85	27.93	23.15	27.15	25.20	27.74	24.38	25.42	24.12	30.87	24.37	20.46	27.42

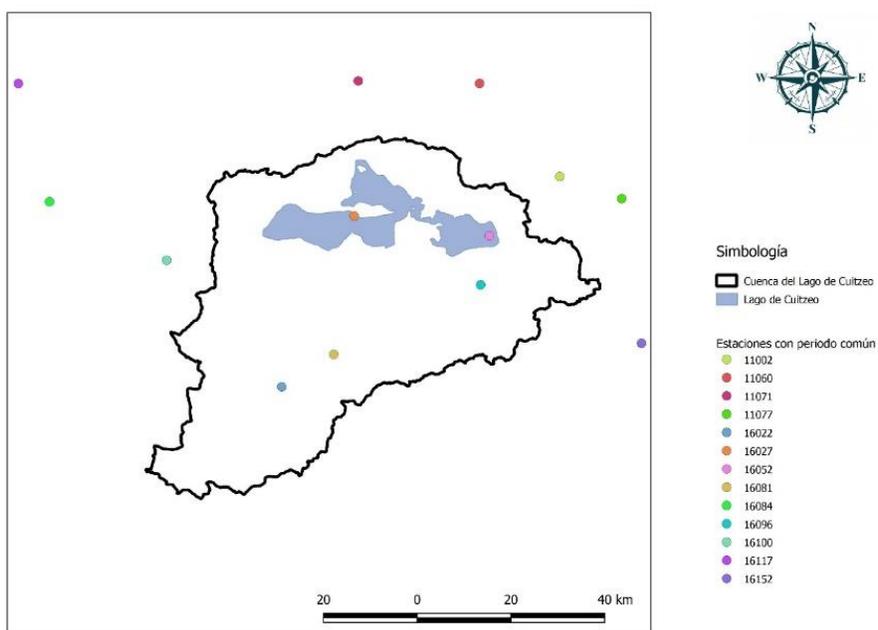


Figura 7.3. Estaciones con periodo común (Temperatura mínima anual)

Tabla 7.3. Años del periodo común (Temperatura mínima anual)

Estaciones/ Año	11002	11060	11071	11077	16022	16027	16052	16081	16084	16096	16100	16117	16152
1951	9.54	10.76	12.24	9.40	9.43	7.68	9.35	9.07	10.15	7.65	7.46	10.38	8.23
1955	9.56	10.19	11.87	9.15	10.22	8.33	9.36	8.72	10.20	6.04	7.87	13.84	7.92
1962	10.20	10.02	11.47	9.27	9.74	8.61	9.08	9.70	10.88	8.42	7.58	14.53	7.98
1963	10.36	10.19	11.82	9.66	10.23	8.91	9.66	11.16	10.84	8.68	8.22	14.53	8.44
1966	9.74	9.71	10.90	9.85	10.09	7.12	9.18	8.76	9.86	8.77	7.60	13.66	8.15
1967	9.77	9.87	11.33	9.87	9.84	8.33	9.18	8.65	9.41	9.07	7.48	13.64	8.05
1970	9.97	9.60	11.80	11.12	9.81	8.59	8.94	9.23	9.22	8.29	7.19	13.17	7.95
1971	10.31	10.11	11.98	10.64	9.87	8.87	9.09	9.85	9.27	8.56	7.32	13.19	7.97
1974	10.17	9.71	11.60	10.61	7.93	9.77	8.94	9.20	8.97	8.10	7.20	9.87	7.85
1975	9.54	9.44	11.24	10.35	9.42	9.62	8.90	9.70	8.65	8.09	7.01	9.86	7.40
1978	10.90	10.25	12.00	12.26	9.70	11.78	9.28	10.17	9.09	8.82	7.86	10.25	7.41

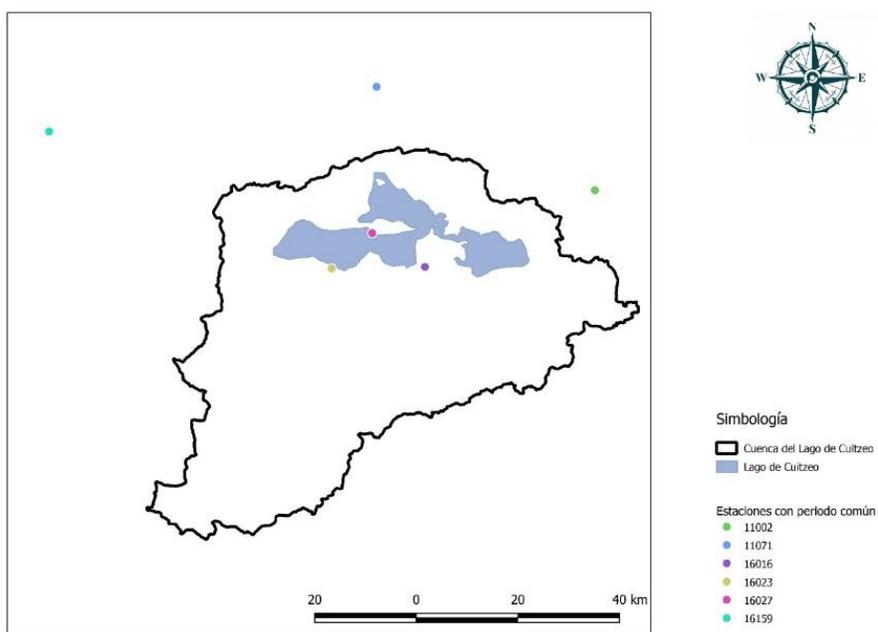


Figura 7.4. Estaciones con periodo común (Evaporación acumulada anual)

Tabla 7.4. Años del periodo común (Evaporación acumulada anual)

Estaciones/ Año	11002	11071	16016	16023	16027	16159
1974	1856.1	1891.8	2057.6	1924.1	1482.1	2096
1975	1995.8	2034.8	2203.1	2011.9	1346.5	2086.3
1978	1916.8	2102.9	2173.5	1761.6	1363.8	2060.2
1979	2203.7	1994.2	2294.9	1800.9	1381.5	2057.8
1982	2417.7	1700	2362.4	1899.7	2229.2	2066.6
1985	2226.5	1351.2	2142.6	1868	2258.7	1967.7
1993	2118.5	1897.4	2184.4	1709.2	1666.5	1788.4
1994	1971.3	1872	2032.6	1708.8	1649	2101.8
1997	2021.7	1812	1845.3	1812.4	1697.1	1952.9
1998	2310.6	1951.4	2168.5	1939.6	2061.7	2098.1

7.2. Delimitación de regiones homogéneas

A continuación, se presentan los resultados de las técnicas de delimitación de región homogénea, descrita en el capítulo 4.2.

En la Tabla 7.5, Tabla 7.6, Tabla 7.7 y Tabla 7.8 se presentan los parámetros de las series de tiempo del periodo común de estaciones para cada una de las variables (precipitación acumulada anual, temperatura máxima anual, temperatura mínima anual y evaporación acumulada anual respectivamente); dichos parámetros se utilizaron para delimitar la región homogénea de cada variable y se calcularon con las ecuaciones descritas en el capítulo 4.2.

Tabla 7.5. Parámetros del periodo común de precipitación acumulada anual

Estación/ Parámetro	11002	11071	16001	16002	16027	16028	16045	16050	16052	16096	16098	16120
\bar{X}	757.930	615.570	904.530	1232.550	639.590	568.600	1246.900	835.190	703.540	727.480	1218.810	828.760
σ	209.804	167.667	165.290	193.157	205.450	183.270	282.000	156.450	192.461	166.879	248.377	139.162
σ^2	44017.791	28112.140	27320.662	37309.534	42209.599	33588.049	79523.827	24476.517	37041.360	27848.640	61690.899	19365.983
β_0	757.930	615.570	904.530	1232.550	639.590	568.600	1246.900	835.190	703.540	727.480	1218.810	828.760
β_1	394.019	331.926	456.296	661.396	350.388	295.077	673.517	411.050	347.360	347.171	674.304	430.441
β_2	273.249	233.715	311.123	457.788	240.807	209.482	477.825	276.111	240.933	230.236	470.266	300.021
β_3	212.134	181.753	238.404	351.473	183.829	165.686	375.516	209.351	189.814	175.223	362.514	230.519
λ_1	757.930	615.570	904.530	1232.550	639.590	568.600	1246.900	835.190	703.540	727.480	1218.810	828.760
λ_2	30.108	48.281	8.061	90.241	61.186	21.553	100.133	-13.090	-8.820	-33.138	129.799	32.122
λ_3	33.310	26.307	33.493	10.905	-17.897	55.033	72.752	25.553	64.977	25.870	-5.422	46.242
λ_4	15.509	-8.859	5.410	0.012	17.449	1.575	10.868	1.112	33.085	35.947	15.142	-53.732
Cv-L	0.040	0.078	0.009	0.073	0.096	0.038	0.080	-0.016	-0.013	-0.046	0.106	0.039
Cs	1.106	0.545	4.155	0.121	-0.292	2.553	0.727	-1.952	-7.367	-0.781	-0.042	1.440
Cc-L	0.515	-0.183	0.671	0.000	0.285	0.073	0.109	-0.085	-3.751	-1.085	0.117	-1.673
E	-0.144	-0.067	-0.351	0.010	0.108	-0.271	-0.094	1.278	-1.089	0.270	0.045	-0.180
β	-1.070	-0.511	-2.397	0.078	0.881	-1.911	-0.714	14.866	-5.053	2.340	0.361	-1.322

Tabla 7.6. Parámetros del periodo común de temperatura máxima anual

Estación/ Parámetro	11002	11060	11077	16022	16027	16052	16081	16084	16096	16100	16109	16117	16120	16152
\bar{X}	33.473	32.773	37.573	32.791	34.673	32.864	34.636	34.373	33.745	31.655	41.682	38.273	32.600	33.764
σ	0.821	1.523	1.558	0.706	0.832	0.924	0.898	2.210	1.694	0.577	1.570	1.737	2.278	0.677
σ^2	0.674	2.318	2.428	0.499	0.692	0.855	0.807	4.886	2.869	0.333	2.464	3.018	5.190	0.459
β_0	33.473	32.773	37.573	32.791	34.673	32.864	34.636	34.373	33.745	31.655	41.682	38.273	32.600	33.764
β_1	16.611	16.359	18.552	16.505	17.184	16.518	17.087	17.400	16.791	15.814	20.941	19.500	16.030	16.802
β_2	11.044	10.822	12.371	11.028	11.428	11.091	11.304	11.555	11.086	10.554	13.904	13.109	10.491	11.196
β_3	8.272	8.062	9.280	8.285	8.572	8.375	8.427	8.606	8.222	7.923	10.390	9.868	7.783	8.399
λ_1	33.473	32.773	37.573	32.791	34.673	32.864	34.636	34.373	33.745	31.655	41.682	38.273	32.600	33.764
λ_2	-0.251	-0.055	-0.469	0.218	-0.305	0.173	-0.462	0.427	-0.164	-0.027	0.200	0.727	-0.540	-0.160
λ_3	0.072	-0.448	0.487	-0.068	0.142	0.300	-0.063	-0.700	-0.485	0.098	-0.539	-0.073	-0.635	0.130
λ_4	-0.013	0.105	-0.472	0.112	0.107	0.127	-0.172	-0.095	-0.398	-0.053	0.283	-0.182	0.702	-0.042
Cv-L	-0.007	-0.002	-0.012	0.007	-0.009	0.005	-0.013	0.012	-0.005	-0.001	0.005	0.019	-0.017	-0.005
Cs	-0.285	8.222	-1.039	-0.311	-0.464	1.737	0.136	-1.638	2.963	-3.578	-2.697	-0.100	1.175	-0.811
Cc-L	0.052	-1.917	1.006	0.514	-0.349	0.737	0.373	-0.223	2.435	1.944	1.417	-0.250	-1.301	0.261
E	0.106	-0.453	0.389	0.113	0.158	-0.209	0.007	0.838	-0.296	-4.092	5.969	0.059	-0.152	0.283
β	0.864	-2.952	3.503	0.925	1.314	-1.511	0.053	8.659	-2.064	17.335	152.211	0.472	-1.126	2.457

Tabla 7.7. Parámetros del periodo común de temperatura mínima anual

Estación/ Parámetro	11002	11060	11071	11077	16022	16027	16052	16081	16084	16096	16100	16117	16152
\bar{X}	-0.682	-0.318	0.955	-0.873	0.364	-1.109	-1.591	-1.300	0.027	-2.482	-3.409	0.227	-2.800
σ	1.707	1.263	1.572	1.870	1.662	2.435	1.261	2.040	1.235	1.908	2.131	2.338	2.202
σ^2	2.914	1.596	2.473	3.498	2.763	5.931	1.591	4.162	1.524	3.640	4.541	5.468	4.850
β_0	-0.682	-0.318	0.955	-0.873	0.364	-1.109	-1.591	-1.300	0.027	-2.482	-3.409	0.227	-2.800
β_1	-0.595	-0.279	0.195	-0.716	0.075	-1.228	-1.073	-1.100	-0.125	-1.350	-1.332	0.050	-1.602
β_2	-0.490	-0.175	0.062	-0.522	0.073	-1.016	-0.795	-0.819	-0.131	-0.916	-0.634	-0.158	-1.094
β_3	-0.422	-0.111	0.038	-0.379	0.090	-0.829	-0.621	-0.622	-0.120	-0.677	-0.312	-0.267	-0.795
λ_1	-0.682	-0.318	0.955	-0.873	0.364	-1.109	-1.591	-1.300	0.027	-2.482	-3.409	0.227	-2.800
λ_2	-0.509	-0.240	-0.564	-0.560	-0.213	-1.347	-0.555	-0.900	-0.278	-0.218	0.745	-0.127	-0.404
λ_3	-0.048	0.305	0.152	0.295	0.346	0.165	0.076	0.385	-0.003	0.120	0.776	-1.018	0.250
λ_4	-0.214	0.005	0.308	0.343	0.168	0.254	0.150	0.233	-0.008	0.238	0.215	-0.248	0.480
Cv-L	0.747	0.754	-0.590	0.642	-0.585	1.215	0.349	0.692	-10.200	0.088	-0.219	-0.560	0.144
Cs	0.095	-1.273	-0.269	-0.526	-1.627	-0.123	-0.137	-0.428	0.011	-0.550	1.041	8.000	-0.619
Cc-L	0.420	-0.023	-0.546	-0.613	-0.788	-0.189	-0.270	-0.259	0.031	-1.090	0.289	1.952	-1.188
E	0.015	0.527	0.101	0.177	0.826	0.064	0.068	0.147	0.033	0.185	-0.136	-0.449	0.209
β	0.120	4.962	0.827	1.488	8.502	0.517	0.544	1.215	0.265	1.559	-1.014	-2.933	1.771

Tabla 7.8. Parámetros del periodo común de evaporación acumulada anual

Estación/ Parámetro	11002	11071	16016	16023	16027	16159
\bar{X}	2103.870	1860.770	2146.490	1843.620	1713.610	2027.580
σ	182.220	212.197	143.798	101.936	351.476	99.152
σ^2	33203.971	45027.618	20677.934	10390.982	123535.545	9831.186
β_0	2103.870	1860.770	2146.490	1843.620	1713.610	2027.580
β_1	1029.171	946.034	1088.591	931.964	801.354	1022.757
β_2	671.870	643.957	724.702	629.581	508.091	688.730
β_3	492.906	488.866	538.763	476.361	366.972	519.625
λ_1	2103.870	1860.770	2146.490	1843.620	1713.610	2027.580
λ_2	-45.528	31.299	30.692	20.309	-110.901	17.933
λ_3	-39.938	48.305	-36.843	29.322	-45.973	23.420
λ_4	-51.796	-49.739	-49.194	-20.274	-0.628	-23.900
Cv-L	-0.022	0.017	0.014	0.011	-0.065	0.009
Cs	0.877	1.543	-1.200	1.444	0.415	1.306
Cc-L	1.138	-1.589	-1.603	-0.998	0.006	-1.333
E	-0.115	-0.191	0.480	-0.181	-0.045	-0.166
β	-0.865	-1.391	4.458	-1.325	-0.349	-1.226

7.2.1. Método del coeficiente de variación de los Momentos-L

Las siguientes graficas son el resultado de la técnica de momentos-L (capítulo 4.2.1) para cada una de las variables analizadas (precipitación acumulada anual, temperatura máxima anual, temperatura mínima anual y evaporación acumulada anual).

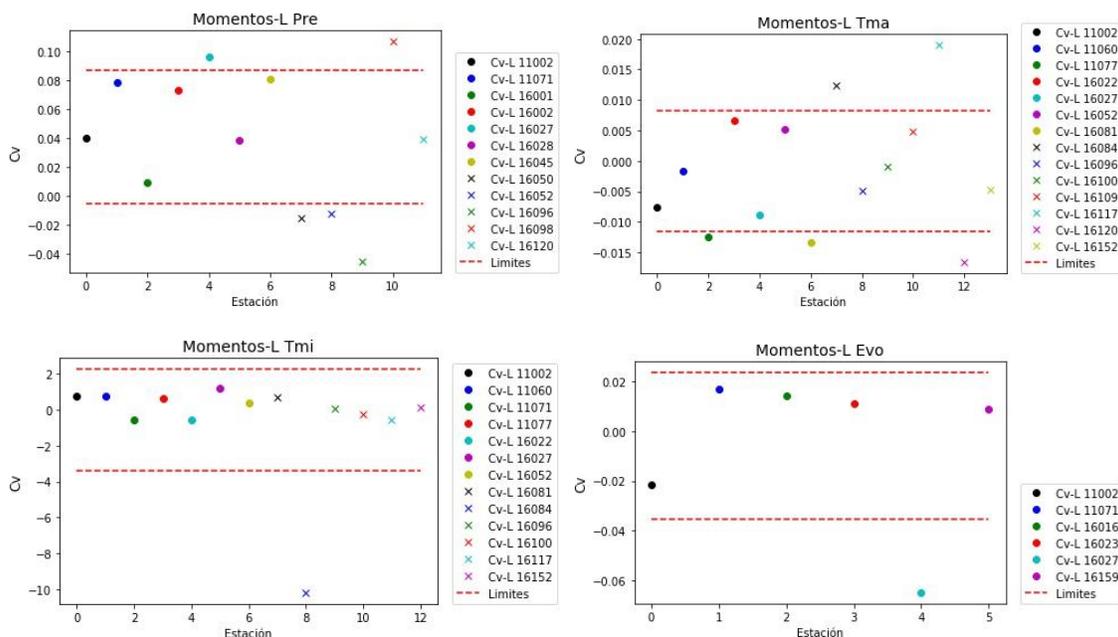


Figura 7.5. Prueba del coeficiente de variación-L para las 4 variables

7.2.2. Método del parámetro de forma de la distribución GVE

Las siguientes graficas son el resultado de la técnica de parámetro beta de cada una de las variables climatológicas analizadas(capítulo 4.2.2).

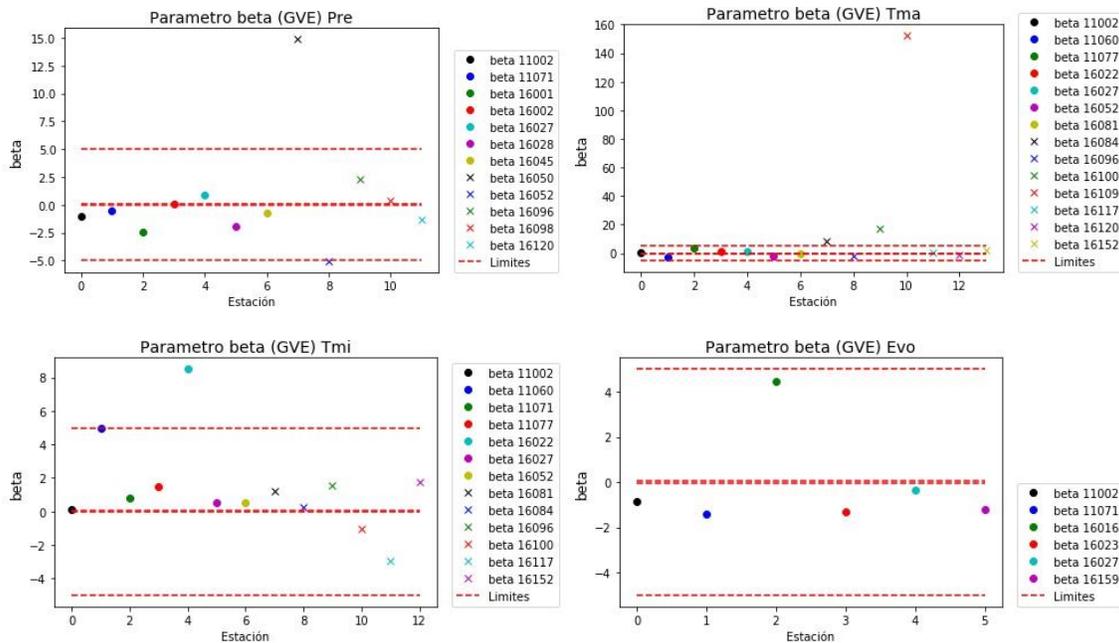


Figura 7.6. Prueba de parámetro β para para las 4 variables

7.2.3. Método de la Región de Influencia (Distancia Euclidiana)

En las siguientes tablas se presentan los resultados de la técnica de distancia euclidiana para cada una de las variables climatológicas analizadas; los argumentos considerados para determinar la distancia euclidiana en esta técnica fueron: la elevación de la estación, el número de eventos bajos, fuertes y extraordinarios y el coeficiente de variación de cada uno de los meses del año.

Tabla 7.9. Variables para determinar la distancia euclidiana de precipitación acumulada anual

Estación/ Parámetro	11002	11071	16001	16002	16027	16028	16045	16050	16052	16096	16098	16120	S
Cv sum P abr	-0.9914	-0.9891	-0.9837	-0.9811	-0.9892	-0.9855	-0.9919	-0.9890	-0.9893	-0.9907	-0.9799	-0.9764	0.0051
Cv sum P ago	-0.7752	-0.6950	-0.8099	-0.7659	-0.7267	-0.7645	-0.7492	-0.7902	-0.7717	-0.7691	-0.7709	-0.7780	0.0296
Cv sum P dic	-0.9896	-0.9826	-0.9916	-0.9892	-0.9857	-0.9880	-0.9917	-0.9811	-0.9904	-0.9914	-0.9891	-0.9881	0.0035
Cv sum P ene	-0.9810	-0.9766	-0.9856	-0.9840	-0.9734	-0.9893	-0.9800	-0.9791	-0.9808	-0.9793	-0.9763	-0.9920	0.0054
Cv sum P feb	-0.9907	-0.9823	-0.9907	-0.9878	-0.9883	-0.9882	-0.9923	-0.9918	-0.9924	-0.9912	-0.9882	-0.9871	0.0029
Cv sum P jul	-0.7604	-0.7510	-0.7669	-0.7635	-0.7209	-0.7693	-0.7365	-0.7501	-0.7530	-0.7787	-0.7535	-0.7745	0.0163
Cv sum P jun	-0.8516	-0.8295	-0.8272	-0.8251	-0.8173	-0.8545	-0.8125	-0.8256	-0.8584	-0.8500	-0.8100	-0.8531	0.0178
Cv sum P mar	-0.9933	-0.9905	-0.9850	-0.9911	-0.9923	-0.9880	-0.9962	-0.9936	-0.9934	-0.9935	-0.9911	-0.9929	0.0029
Cv sum P may	-0.9390	-0.9455	-0.9352	-0.9398	-0.9369	-0.9336	-0.9596	-0.9532	-0.9466	-0.9421	-0.9290	-0.9505	0.0089
Cv sum P nov	-0.9890	-0.9792	-0.9623	-0.9685	-0.9796	-0.9754	-0.9785	-0.9849	-0.9896	-0.9855	-0.9793	-0.9794	0.0079
Cv sum P ocy	-0.9242	-0.9241	-0.9241	-0.9117	-0.9211	-0.9176	-0.9206	-0.9210	-0.9436	-0.9414	-0.9122	-0.9194	0.0098
Cv sum P sep	-0.8054	-0.8078	-0.8060	-0.8064	-0.7851	-0.7948	-0.7858	-0.8014	-0.7976	-0.8145	-0.8161	-0.8204	0.0112
elevación	1850	1761	2200	2520	1831	1840	2220	2040	1830	1859	2510	2048	266.9315
tormentas bajas	24311	23111	12014	14959	26926	11908	14466	20581	23204	19194	17757	16562	4962.2412
tormentas fuertes	3128	2313	2068	3649	3315	1399	3080	3077	3248	2795	4325	2624	761.1948
tormentas extraordinarias	422	406	225	625	331	158	717	464	322	241	660	296	180.6772

Tabla 7.10. Variables para determinar la distancia euclidiana de temperatura máxima anual

Estación/Parámetro	11002	11060	11077	16022	16027	16052	16081	16084	16096	16100	16109	16117	16120	16152	S
Cv max T abr	-0.0283	-0.0324	-0.0519	-0.0181	-0.0465	-0.0419	-0.0425	-0.0433	-0.0474	-0.0312	-0.0234	-0.0280	-0.0447	-0.0186	0.0112
Cv max T ago	-0.1657	-0.1355	-0.1290	-0.1642	-0.1827	-0.1838	-0.2045	-0.1931	-0.1874	-0.1830	-0.1641	-0.1391	-0.2167	-0.1496	0.0263
Cv max T dic	-0.2042	-0.1868	-0.2612	-0.1814	-0.2397	-0.2275	-0.2467	-0.2224	-0.2259	-0.2297	-0.1663	-0.1594	-0.2364	-0.1835	0.0318
Cv max T ene	-0.2023	-0.1904	-0.2513	-0.1757	-0.2383	-0.2193	-0.2395	-0.2214	-0.2193	-0.2180	-0.1420	-0.1737	-0.2247	-0.1787	0.0308
Cv max T feb	-0.1567	-0.1520	-0.1854	-0.1487	-0.1978	-0.1910	-0.1963	-0.1550	-0.1759	-0.1756	-0.1061	-0.1263	-0.1784	-0.1456	0.0270
Cv max T jul	-0.1522	-0.1298	-0.1023	-0.1461	-0.1907	-0.1803	-0.1763	-0.1778	-0.1896	-0.1922	-0.1412	-0.1394	-0.2092	-0.1501	0.0298
Cv max T jun	-0.0701	-0.0534	-0.0627	-0.0460	-0.0683	-0.0597	-0.0894	-0.0480	-0.0831	-0.0813	-0.0563	-0.0283	-0.1033	-0.0736	0.0196
Cv max T mar	-0.0968	-0.0909	-0.1000	-0.0867	-0.1141	-0.1066	-0.1054	-0.0885	-0.1060	-0.1037	-0.0491	-0.0721	-0.0962	-0.0759	0.0172
Cv max T may	-0.0144	-0.0286	-0.0310	0.0133	-0.0210	-0.0060	-0.0314	-0.0307	-0.0233	-0.0169	-0.0106	0.0095	-0.0359	-0.0123	0.0151
Cv max T nov	-0.1635	-0.1532	-0.2074	-0.1515	-0.2092	-0.1921	-0.1985	-0.1874	-0.2049	-0.1862	-0.1582	-0.1352	-0.2268	-0.1521	0.0278
Cv max T ocy	-0.1598	-0.1326	-0.1677	-0.1346	-0.2010	-0.1940	-0.1939	-0.1962	-0.1909	-0.1750	-0.1603	-0.1233	-0.2158	-0.1441	0.0292
Cv max T sep	-0.1723	-0.1367	-0.1491	-0.1468	-0.1923	-0.1763	-0.2142	-0.1950	-0.1961	-0.1943	-0.1945	-0.1401	-0.2219	-0.1574	0.0277
elevación	1850	1749	1922	2096	1831	1830	1903	1638	1859	2001	1020	1681	2048	2060	268.3192
temperaturas bajas	168	188	173	353	308	335	173	107	94	212	9	198	634	198	149.8841
temperaturas fuertes	16699	15907	11929	16376	20156	19494	16318	11387	14835	13457	1110	5966	15143	16461	5115.1942
tormentas extraordinarias	10950	10313	13579	5412	9727	6951	8317	6746	6599	2499	32319	13491	3668	7305	7247.5091

Tabla 7.11. Variables para determinar la distancia euclidiana de temperatura mínima anual

Estación/ Parámetro	11002	11060	11071	11077	16022	16027	16052	16081	16084	16096	16100	16117	16152	S
Cv min T abr	-12.026	-24.029	8.604	-8.639	16.244	-6.985	-4.868	-5.854	284.364	-2.946	-1.787	37.779	-2.412	80.430
Cv min T ago	-16.654	-34.205	11.837	-12.840	27.793	-8.932	-7.323	-8.820	362.402	-4.778	-3.595	61.731	-4.091	103.209
Cv min T dic	-2.460	-5.429	1.787	-1.357	5.862	-0.821	-1.030	-0.893	43.217	-0.683	-0.723	9.835	-0.879	12.510
Cv min T ene	-1.976	-5.255	1.993	-0.936	2.484	-0.811	-0.773	-0.800	27.092	-0.551	-0.508	5.417	-0.680	7.968
Cv min T feb	-3.291	-7.012	2.149	-1.885	6.052	-1.987	-1.289	-1.801	83.505	-0.949	-0.804	13.101	-0.710	23.635
Cv min T jul	-16.837	-35.151	12.150	-12.628	28.168	-8.716	-7.789	-8.831	358.730	-4.848	-3.801	61.267	-4.286	102.268
Cv min T jun	-18.168	-35.155	12.914	-13.544	29.427	-9.104	-7.765	-9.402	392.238	-4.515	-3.677	61.486	-4.269	111.419
Cv min T mar	-7.843	-15.272	6.222	-4.700	11.869	-4.931	-3.257	-4.218	210.418	-2.074	-1.166	23.846	-1.590	59.228
Cv min T may	-15.829	-29.953	11.296	-11.133	24.625	-9.052	-6.271	-8.060	347.211	-3.866	-2.752	50.502	-3.390	98.431
Cv min T nov	-4.590	-9.954	3.914	-2.664	10.023	-3.310	-1.835	-2.575	89.841	-1.354	-1.216	17.657	-1.324	25.808
Cv min T ocy	-9.038	-15.531	6.098	-4.920	14.969	-5.755	-3.633	-4.962	186.540	-2.633	-1.966	34.762	-2.110	53.127
Cv min T sep	-14.493	-29.635	10.561	-10.309	24.117	-8.166	-6.581	-8.124	339.319	-4.405	-3.324	54.087	-3.716	96.313
elevación	1850	1749	1761	1922	2096	1831	1830	1903	1638	1859	2001	1681	2060	137.404
temperaturas bajas	15225	14837	16411	13423	11438	16506	12530	12958	8095	8913	5875	11680	9068	3325.057
temperaturas fuertes	8987	8792	7713	7760	8291	10689	8737	8588	7128	7514	4830	5295	8830	1553.010
tormentas extraordinarias	3606	2780	1620	4452	2415	2986	5490	3265	3034	5105	5467	2695	6205	1415.579

Tabla 7.12. Variables para determinar la distancia euclidiana de evaporación acumulada anual

Estación/ Parámetro	11002	11071	16016	16023	16027	16159	S
Cv sum E abr	-0.890	-0.884	-0.887	-0.882	-0.899	-0.884	0.006
Cv sum E ago	-0.920	-0.916	-0.922	-0.921	-0.924	-0.925	0.003
Cv sum E dic	-0.945	-0.953	-0.943	-0.940	-0.934	-0.942	0.006
Cv sum E ene	-0.941	-0.947	-0.934	-0.934	-0.938	-0.938	0.005
Cv sum E feb	-0.929	-0.934	-0.922	-0.921	-0.930	-0.927	0.005
Cv sum E jul	-0.923	-0.914	-0.919	-0.923	-0.923	-0.923	0.004
Cv sum E jun	-0.913	-0.905	-0.909	-0.909	-0.913	-0.905	0.003
Cv sum E mar	-0.896	-0.894	-0.884	-0.884	-0.904	-0.891	0.007
Cv sum E may	-0.887	-0.879	-0.883	-0.879	-0.891	-0.876	0.006
Cv sum E nov	-0.939	-0.948	-0.939	-0.937	-0.936	-0.936	0.005
Cv sum E ocy	-0.924	-0.933	-0.929	-0.929	-0.928	-0.929	0.003
Cv sum E sep	-0.928	-0.928	-0.932	-0.929	-0.931	-0.935	0.003
elevación	1850	1761	1840	1840	1831	1700	60.169
tormentas bajas	13773	17189	8129	7549	19970	10267	5048.273
tormentas fuertes	7638	7876	4629	2865	7396	4846	2054.121
tormentas extraordinarias	764	757	725	234	238	357	262.786

7.2.4. Regiones homogéneas

A continuación, se muestra un resumen de los resultados de las técnicas de regionalización para cada una de las variables climatológicas (Precipitación acumulada anual, Temperatura máxima anual y Temperatura mínima anual y evaporación acumulada anual).

Tabla 7.13. Resumen de las técnicas de regionalización de precipitación acumulada anual

Estación	Cv-L	β	base 11002	base 11071	base 16001	base 16002	base 16027	base 16028	base 16045	base 16050	base 16052	base 16096	base 16098	base 16120
11002	Región 2	Región 2	Región	Región	No región	No región	Región							
11071	Región 2	Región 2	No región	Región	No región	No región	Región	No región						
16001	Región 2	Región 2	No región	No región	Región	Región	No región	Región	No región	No región	No región	No región	No región	Región
16002	Región 2	Región 4	No región	No región	Región	Región	No región	Región	Región	No región	No región	No región	Región	Región
16027	Región 3	Región 4	No región	Región	No región	No región	Región	No región	Región	Región	Región	No región	No región	No región
16028	Región 2	Región 2	No región	Región	Región	No región	No región	Región	No región	No región	No región	No región	No región	Región
16045	Región 2	Región 2	No región	No región	No región	Región	Región	No región	Región	Región	No región	No región	No región	No región
16050	Región 1	Región 5	Región	Región	No región	Región	Región	No región	Región	Región	Región	Región	Región	Región
16052	Región 1	Región 1	Región	No región	No región	No región	Región	No región	Región	Región	Región	Región	No región	No región
16096	Región 1	Región 4	Región	Región	Región	No región	No región	Región	No región	Región	Región	Región	No región	Región
16098	Región 2	Región 2	Región	Región	No región	No región	Región							
16120	Región 2	Región 2	No región	Región	No región	No región	Región	No región						

Tabla 7.14. Resumen de las técnicas de regionalización de temperatura máxima anual

Estación	Cv-L	β	base 11002	base 11060	base 11077	base 16022	base 16027	base 16052	base 16081	base 16084	base 16096	base 16100	base 16109	base 16117	base 16120	base 16152
11002	Región 2	Región 4	Región													
11060	Región 2	Región 2	Región	Región	Región	Región	No región	No región	No región	No región	No región	No región	Región	Región	No región	Región
11077	Región 1	Región 4	No región	Región	Región	No región	Región	No región								
16022	Región 2	Región 4	Región	Región	No región	Región	No región	No región	No región	No región	No región	No región	Región	Región	No región	Región
16027	Región 2	Región 4	No región	No región	Región	No región	Región	No región	No región	Región región						
16052	Región 2	Región 2	Región	No región	No región	Región región										
16081	Región 1	Región 4	No región	No región	Región	No región	Región	No región	No región	Región región						
16084	Región 3	Región 5	Región	Región	Región	No región	Región	Región región								
16096	Región 2	Región 2	Región	No región	Región	No región	Región	No región	No región	Región región						
16100	Región 2	Región 5	Región	No región	No región	Región región										
16109	Región 2	Región 5	No región	Región	Región	No región										
16117	Región 3	Región 4	No región	Región	No región	Región	No región	Región	Región	No región						
16120	Región 1	Región 2	No región	No región	No región	No región	Región	No región	Región	No región	No región	No región	No región	No región	No región	Región región
16152	Región 2	Región 4	Región	Región	No región	Región	No región	No región	No región	No región	No región	Región	Región	Región	No región	Región

Tabla 7.15. Resumen de las técnicas de regionalización de temperatura mínima anual

Estación	Cv-L	β	base 11002	base 11060	base 11071	base 11077	base 16022	base 16027	base 16052	base 16081	base 16084	base 16096	base 16100	base 16117	base 16152
11002	Región 2	Región 4	Región	No región	Región	Región	Región	Región							
11060	Región 2	Región 4	Región	No región	Región	No región	Región	Región							
11071	Región 2	Región 4	Región	No región	No región	Región	No región								
11077	Región 2	Región 4	Región	No región	Región	Región	Región	Región							
16022	Región 2	Región 5	Región												
16027	Región 2	Región 4	Región	No región	No región	No región	No región	Región							
16052	Región 2	Región 4	Región	No región	Región	Región	Región	Región							
16081	Región 2	Región 4	Región	No región	Región	Región	Región	Región							
16084	Región 1	Región 4	No región	Región	No región	No región	No región	No región							
16096	Región 2	Región 4	Región												
16100	Región 2	Región 2	No región	No región	No región	No región	Región	No región	No región	No región	No región	Región	Región	Región	Región
16117	Región 2	Región 2	No región	No región	Región	No región	Región	No región	No región	No región	Región	No región	Región	Región	No región
16152	Región 2	Región 4	Región	No región	No región	Región	Región	No región	Región	Región	No región	Región	Región	No región	Región

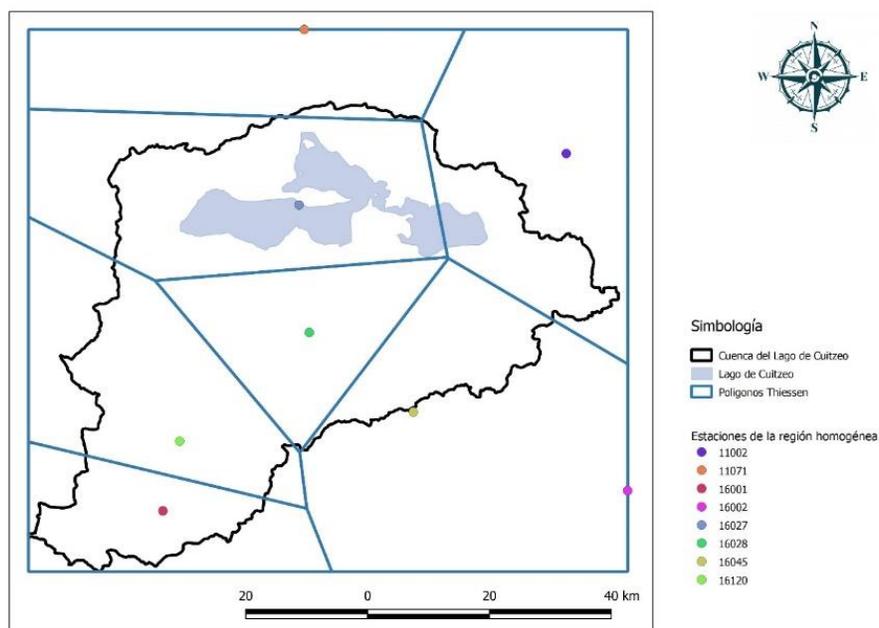
Tabla 7.16. Resumen de las técnicas de regionalización de evaporación acumulada anual

Estación	Cv-L	β	base 11002	base 11071	base 16016	base 16023	base 16027	base 16159
11002	Región 2	Región 2	Región	Región	Región	No región	Región	No región
11071	Región 2	Región 2	No región	Región	No región	No región	No región	No región
16016	Región 2	Región 4	Región	Región	Región	Región	Región	Región
16023	Región 2	Región 2	No región	No región	Región	Región	No región	Región
16027	Región 1	Región 2	Región	No región	No región	No región	Región	No región
16159	Región 2	Región 2	No región	Región	Región	Región	No región	Región

Con los resultados de cada técnica se tiene la información pertinente para delimitar la región homogénea de cada variable, se seleccionan (dicha selección se realiza a criterio de la persona encargada) las estaciones que forman parte de cada región, recordando que ningún método tiene más peso que otro.

En este caso el criterio utilizado fue que todas o la mayoría de las técnicas de regionalización indicaran que la estación pertenece a la región homogénea, además de que en conjunto los polígonos de Thiessen abarcaran toda la cuenca.

En las siguientes figuras se presenta la región homogénea de cada variable.

**Figura 7.7.** Estaciones pertenecientes a la región homogénea de precipitación acumulada anual

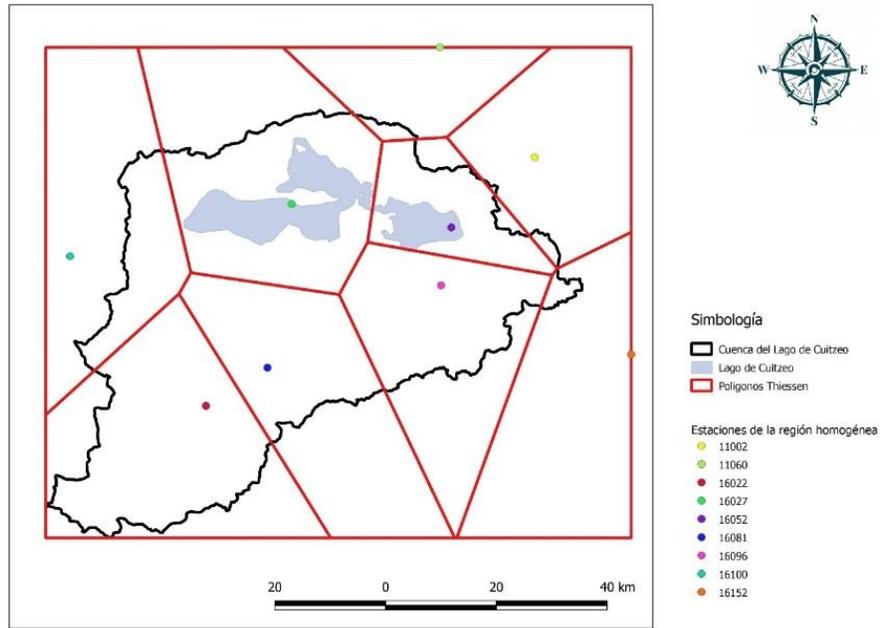


Figura 7.8. Estaciones pertenecientes a la región homogénea de temperatura máxima anual

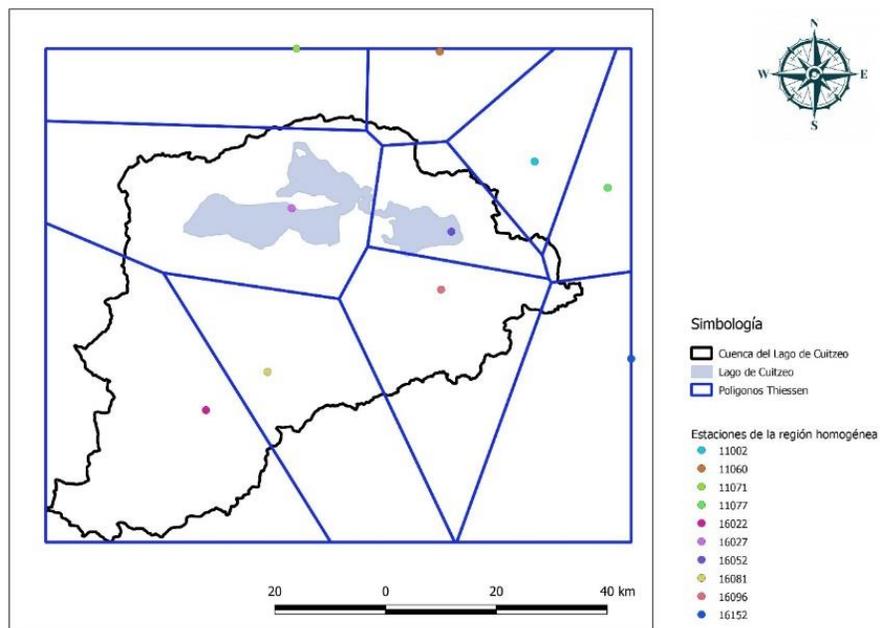


Figura 7.9. Estaciones pertenecientes a la región homogénea de temperatura mínima anual

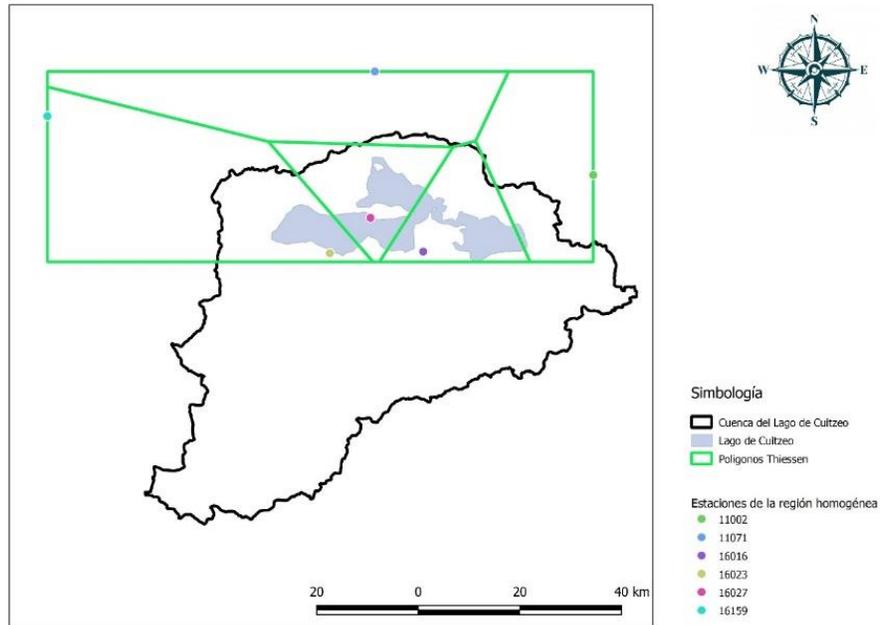


Figura 7.10. Estaciones pertenecientes a la región homogénea de evaporación acumulada anual

En la Tabla 7.17 se presentan las estaciones que forman parte de cada una de las regiones homogéneas.

Tabla 7.17. Estaciones pertenecientes a las regiones homogéneas de cada variable climatológica

Región homogénea de precipitación acumulada anual	Región homogénea de temperatura máxima anual	Región homogénea de temperatura mínima anual	Región homogénea de evaporación acumulada anual
11002 - ACAMBARO	11002 - ACAMBARO	11002 - ACAMBARO	11002 - ACAMBARO
11071 -	11060 - SALVATIERRA	11060 - SALVATIERRA	11071 - SANTA MARIA (DGE)
16001 - ACUITZIO DEL CANJE	16022 - COINTZIO	11071 - SANTA MARIA (DGE)	16016 - CARRILLO PUERTO
16002 - AGOSTITLAN (CFE)	16027 - CUITZEO	11077 - TARANDACUAO	16023 - COPANDARO DE GALEANA
16027 - CUITZEO	16052 - HUINGO	16022 - COINTZIO	16027 - CUITZEO
16028 - CUITZILLO GRANDE	16081 - MORELIA (DGE)	16027 - CUITZEO	16159 - EL ROSARIO
16045 - EL TEMAZCAL	16096 - PRESA MALPAIS	16052 - HUINGO	
16120 - SANTIAGO UNDAMEO	16100 - PUENTE SAN ISIDRO	16081 - MORELIA (DGE)	
	16152 - CIUDAD HIDALGO (SMN)	16096 - PRESA MALPAIS	
		16152 - CIUDAD HIDALGO (SMN)	

7.3. Llenado de datos faltantes

En el Anexo E se describe el código utilizado para llenar los datos faltantes en los registros de la región homogénea de la precipitación, evaporación, temperatura máxima y mínima utilizando las técnicas de interpolación descritas en el capítulo 4.3.1.

Una vez llenas las series diarias se utilizó el código descrito en el Anexo E, para acomodar la información de forma anual y mensual.

En las Tabla 7.18, Tabla 7.19, Tabla 7.20 y Tabla 7.21 se presenta el resumen de las series llenas.

Tabla 7.18. Resumen de series diarias de precipitación

	11002	11071	16001	16002	16027	16028	16045	16120
Duración de la serie	66	55	28	13	52	43	30	54
Año de inicio	1950	1961	1961	1951	1950	1965	1970	1954
Año final	2015	2015	1988	1963	2001	2007	1999	2007
Año con la precipitación acumulada máxima	1973	1973	2010	1990	2015	2010	1967	2010
Acumulación anual máxima	1162.67	1201.00	1937.95	3266.29	1573.90	1648.05	2145.20	1860.24
Día de precipitación máxima	22/06/1973	14/07/1962	02/09/1970	25/01/1990	15/03/2015	03/02/2010	03/02/2010	03/02/2010
Precipitación diaria máxima	127.76	114.20	164.00	139.53	167.00	119.28	133.00	144.06

Tabla 7.19. Resumen de series diarias de temperatura máxima

	11002	11060	16022	16027	16052	16081	16096	16100	16152
Duración de la serie	67	32	50	56	75	49	52	38	54
Año de inicio	1949	1984	1940	1946	1941	1941	1941	1949	1935
Año final	2015	2015	1989	2001	2015	1989	1992	1986	1988
Año con la máxima temperatura	1983	1982	1998	2002	1948	2006	1996	2006	1998
Día de temperatura máxima	05/05/1983	30/03/1982	07/05/1998	08/04/2002	08/04/1948	09/06/2006	28/11/1996	23/11/2006	30/12/1998
Temperatura máxima	40	39.89	39.50	39.70	40.00	39.56	39.51	39.99	39.93

Tabla 7.20. Resumen de series diarias de temperatura mínima

	11002	11060	11071	11077	16022	16027	16052	16081	16096	16152
Duración de la serie	66	65	47	49	40	40	75	40	66	67
Año de inicio	1950	1951	1969	1951	1950	1950	1941	1950	1950	1923
Año final	2015	2015	2015	1999	1989	1989	2015	1989	2015	1989
Año con la mínima temperatura	2002	1950	1950	1956	1976	1990	2010	1990	2013	2005
Día de temperatura mínima	09/01/2002	09/11/1950	14/03/1950	12/01/1956	27/02/1976	28/08/1990	10/12/2010	08/08/1990	05/12/2013	20/12/2005
Temperatura mínima	-6.26	-8.10	-8.85	-8.90	-5.50	-7.73	-5.50	-6.47	-7.00	-8.78

Tabla 7.21. Resumen de series diarias de evaporación

	11002	11071	16016	16023	16027	16159
Duración de la serie	29	55	46	46	57	27
Año de inicio	1957	1961	1961	1961	1950	1973
Año final	1985	2015	2006	2006	2006	1999
Año con la evaporación acumulada máxima	1983	1969	1983	1983	1983	1996
Acumulación anual máxima	2427.10	2315.30	2459.70	2368.19	2363.10	2269.40
Día de evaporación máxima	17/06/1973	15/05/1969	08/06/1977	26/05/1972	24/06/1950	09/03/1989
Evaporación diaria máxima	17.64	17.80	17.30	16.60	14.70	17.34

7.3.1. Verificación del llenado

Para corroborar que los datos llenados son correctos o que estadísticamente no alteran la serie, se compararon los valores estadísticos antes y después de llenar la serie. La comparación de las series se presenta a continuación:

Tabla 7.22. Comparación de estadístico de las series diarias de precipitación

	Tipo	11002	11071	16001	16002	16027	16028	16045	16120
Cv	Llenado	0.349	0.307	0.400	0.474	0.352	0.344	0.422	0.398
	Sin llenar	0.346	0.304	0.403	0.487	0.372	0.368	0.432	0.397
σ	Llenado	5.921	6.010	6.285	7.769	5.295	5.218	8.998	5.887
	Sin llenar	5.990	6.099	6.387	8.108	5.128	5.219	8.579	5.864
\bar{x}	Llenado	2.068	1.842	2.513	3.686	1.862	1.796	3.796	2.344
	Sin llenar	2.075	1.855	2.576	3.950	1.907	1.922	3.706	2.330
σ^2	Llenado	35.057	36.125	39.499	60.357	28.036	27.227	80.969	34.655
	Sin llenar	35.882	37.195	40.796	65.748	26.291	27.241	73.606	34.388

Tabla 7.23. Comparación de estadístico de las series diarias de temperatura máxima

	Tipo	11002	11060	16022	16027	16052	16081	16096	16100	16152
Cv	Llenado	8.278	8.326	6.973	7.623	8.149	7.769	8.339	8.170	8.571
	Sin llenar	8.232	8.118	7.343	7.731	8.144	7.804	8.254	8.140	8.622
σ	Llenado	3.265	3.224	3.653	3.480	3.168	3.418	3.177	3.012	3.070
	Sin llenar	3.274	3.308	3.397	3.424	3.176	3.396	3.198	2.983	3.075
\bar{x}	Llenado	27.030	26.839	25.470	26.529	25.816	26.554	26.494	24.611	26.309
	Sin llenar	26.955	26.852	24.945	26.475	25.863	26.498	26.398	24.286	26.509
σ^2	Llenado	10.663	10.392	13.344	12.111	10.035	11.682	10.094	9.074	9.423
	Sin llenar	10.722	10.940	11.539	11.727	10.086	11.530	10.228	8.901	9.453

Tabla 7.24. Comparación de estadístico de las series diarias de temperatura mínima

	Tipo	11002	11060	11071	11077	16022	16027	16052	16081	16096	16152
Cv	Llenado	2.596	2.699	3.049	2.286	2.857	2.837	2.246	2.622	2.085	2.096
	Sin llenar	2.598	2.631	2.881	2.279	2.912	2.829	2.274	2.666	2.185	1.952
σ	Llenado	3.962	3.899	3.807	4.375	3.446	3.589	4.109	3.832	4.138	4.005
	Sin llenar	3.971	3.974	3.969	4.385	3.536	3.622	4.081	3.788	4.069	4.319
\bar{x}	Llenado	10.286	10.524	11.607	10.002	9.847	10.182	9.228	10.046	8.626	8.393
	Sin llenar	10.315	10.457	11.433	9.995	10.297	10.247	9.281	10.102	8.891	8.431
σ^2	Llenado	15.699	15.205	14.491	19.141	11.877	12.883	16.882	14.684	17.124	16.038
	Sin llenar	15.768	15.794	15.751	19.227	12.505	13.117	16.654	14.352	16.553	18.653

Tabla 7.25. Comparación de estadístico de las series diarias de evaporación

	Tipo	11002	11071	16016	16023	16027	16159
Cv	Llenado	2.270	2.350	2.629	2.845	2.945	2.554
	Sin llenar	2.587	2.382	2.594	2.781	2.998	2.673
σ	Llenado	2.413	2.226	2.080	1.778	1.693	2.129
	Sin llenar	2.175	2.085	2.173	1.830	1.631	2.061
\bar{x}	Llenado	5.476	5.231	5.468	5.058	4.986	5.438
	Sin llenar	5.625	4.966	5.636	5.090	4.890	5.509
σ^2	Llenado	5.822	4.953	4.327	3.161	2.866	4.532
	Sin llenar	4.729	4.347	4.723	3.350	2.660	4.249

En caso de haber presentado una variación significativa, indicaría que la delimitación de la región homogénea no es correcta, por lo que se debe volver a realizar la delimitación de una nueva región y volver a llenar la serie.

7.4. Región homogénea precipitación-temperatura

Las estaciones de cada región homogénea difieren espacialmente, y para calcular la evapotranspiración real se requiere la información de precipitación y temperaturas en el mismo punto.

Es conveniente tener una región homogénea donde las estaciones tengan información de precipitación y temperaturas para poder calcular la evapotranspiración, por lo que, a partir de las estaciones de las regiones homogéneas de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima se repitió el procedimiento descrito en el capítulo 4.2, para generar una región homogénea donde las estaciones contienen todas las variables para calcular evapotranspiración; esta región se delimitó a partir de la precipitación acumulada anual y, dado que se trata de variables climatológicas, se infirió que las estaciones que pertenezcan a la región de precipitación acumulada anual; también lo harán con las otras variables climatológicas.

7.4.1. Técnicas de delimitación de región homogénea

Las estaciones que pertenecen al menos a una de las regiones homogéneas de precipitación, temperatura máxima y mínima son las siguientes:

Tabla 7.26. Estaciones para delimitar la región homogénea

Código de la estación	Nombre de la estación
11002	ACAMBARO
11060	SALVATIERRA
11071	SANTA MARIA (DGE)
11077	TARANDACUAO
16001	ACUITZIO DEL CANJE
16002	AGOSTITLAN (CFE)
16022	COINTZIO
16027	CUITZEO
16028	CUITZILLO GRANDE
16045	EL TEMAZCAL
16052	HUINGO
16081	MORELIA (DGE)
16096	PRESA MALPAIS
16100	PUENTE SAN ISIDRO
16120	SANTIAGO UNDAMEO
16152	CIUDAD HIDALGO (SMN)

A las estaciones de la Tabla 7.26 se les determinó su periodo común y se seleccionaron las estaciones que tuvieron al menos 10 años de periodo común (Tabla 7.27); a las estaciones seleccionadas se les determinaron los parámetros de cada una de las series (Tabla 7.28)

- Periodo común

Tabla 7.27. Periodo común de estaciones precipitación-temperatura

Año	11002	11071	11077	16001	16022	16027	16028	16045	16052	16081	16096	16100	16120	16152
1966	1011.0	801.6	1012.7	1017.4	892.8	742.1	1094.1	1827.3	907.8	884.4	855.9	1026.9	942.6	1019.7
1970	771.6	682.6	701.7	1529.1	643.4	585.8	512.6	1525.5	734.1	810.9	615.3	826.6	680.5	699.7
1971	1012.4	855.1	1083.1	1076.4	785.6	776.4	745.3	1709.8	907.5	936.6	751.6	860.5	877.1	971.0
1973	1162.7	1201.0	917.4	985.1	878.6	906.2	609.0	1769.0	751.5	870.1	899.3	919.2	867.1	1050.3
1974	621.3	769.0	716.0	731.6	308.0	708.8	490.0	1416.0	529.5	894.0	593.8	744.6	684.4	726.4
1975	864.0	708.1	953.3	722.8	845.3	820.0	653.0	1291.0	602.4	732.8	755.4	693.9	896.9	734.2
1978	876.3	952.2	969.6	984.3	1018.6	1005.2	712.7	1461.6	790.6	907.0	763.8	890.8	1014.8	740.9
1981	960.3	651.1	1039.6	940.8	906.2	820.4	510.9	1342.2	708.6	700.6	815.4	926.4	786.7	841.0
1983	838.9	815.1	904.6	793.6	886.9	846.7	537.8	1335.9	664.5	811.8	663.1	802.8	585.1	742.0
1985	793.0	639.5	937.5	698.0	820.5	913.2	657.9	1296.4	707.6	700.1	683.2	740.0	799.4	766.5

Tabla 7.28. Estadísticos del periodo común de estaciones precipitación-temperatura

Estación/ Parámetro	11002	11071	11077	16001	16022	16027	16028	16045	16052	16081	16096	16100	16120	16152
\bar{X}	891.15	807.53	923.55	947.91	798.59	812.48	652.33	1497.47	730.41	824.83	739.68	843.17	813.46	829.17
σ	152.03	169.24	125.95	246.23	197.39	118.20	178.99	202.64	119.72	87.85	100.83	101.97	132.71	133.80
σ^2	23111.68	28642.92	15862.57	60629.39	38961.47	13971.97	32037.68	41063.69	14333.42	7716.77	10166.22	10397.71	17611.27	17901.89
β_0	891.15	807.53	923.55	947.91	798.59	812.48	652.33	1497.47	730.41	824.83	739.68	843.17	813.46	829.17
β_1	458.73	416.87	456.66	522.36	384.77	384.05	350.87	798.68	382.39	428.43	376.20	435.78	416.47	434.32
β_2	310.24	276.08	304.00	367.69	255.41	246.83	249.98	551.59	265.43	288.95	252.48	297.72	279.08	297.72
β_3	234.96	203.55	229.24	285.31	194.73	180.73	198.93	422.54	205.54	217.45	190.91	228.77	210.44	227.11
λ_1	891.15	807.53	923.55	947.91	798.59	812.48	652.33	1497.47	730.41	824.83	739.68	843.17	813.46	829.17
λ_2	26.31	26.21	-10.22	96.81	-29.05	-44.38	49.41	99.90	34.37	32.03	12.73	28.39	19.48	39.48
λ_3	0.24	-37.20	7.55	19.91	22.40	-10.82	46.99	14.88	28.66	-12.06	-2.70	14.82	-10.86	9.54
λ_4	5.50	-16.48	21.29	-4.19	51.08	5.74	37.24	-10.12	6.09	-3.09	18.80	29.84	20.58	-6.72
Cv-L	0.03	0.03	-0.01	0.10	-0.04	-0.06	0.08	0.07	0.05	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05
Cs	0.01	-1.42	-0.74	0.21	-0.77	0.24	0.95	0.15	0.83	-0.38	-0.21	0.52	-0.56	0.24
Cc-L	0.21	-0.63	-2.08	-0.04	-1.76	-0.13	0.75	-0.10	0.18	-0.10	1.48	1.05	1.06	-0.17
E	0.03	0.64	0.25	-0.01	0.27	-0.01	-0.13	0.00	-0.11	0.13	0.09	-0.06	0.19	-0.01
β	0.27	6.18	2.18	-0.06	2.30	-0.11	-0.93	0.03	-0.82	1.08	0.70	-0.48	1.58	-0.11

- Regionalización

A continuación se presentan las tablas y gráficas obtenidas con la metodología para delimitar la región homogénea descrita en el capítulo 4.2.

- Momentos-L

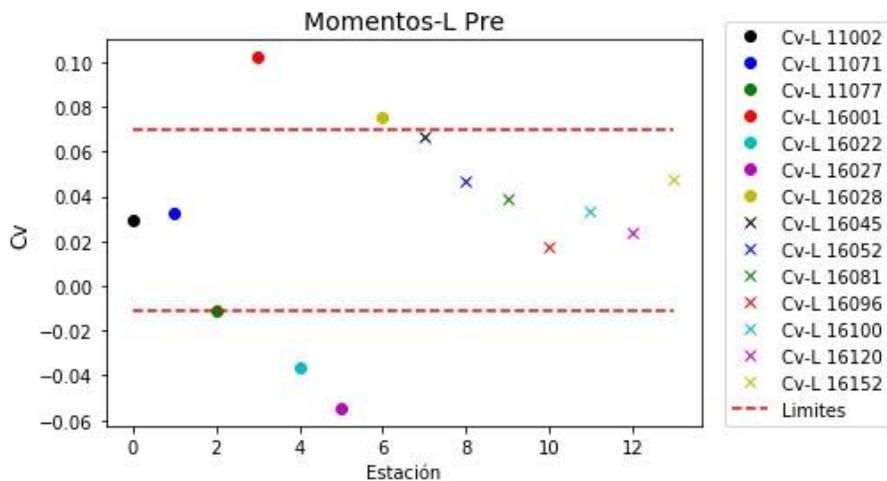


Figura 7.11. Prueba de coeficiente de variación - L para estaciones precipitación-temperatura

- Parámetro GVE

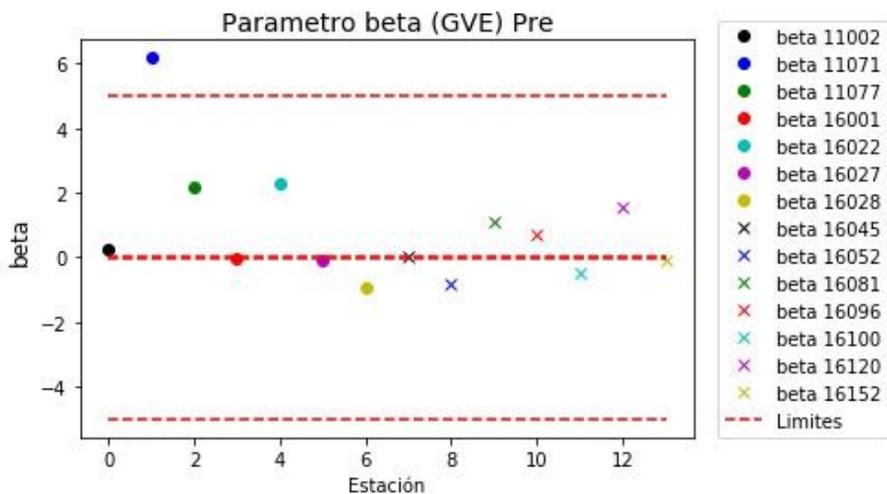


Figura 7.12. Prueba de parámetro β para estaciones precipitación-temperatura

- Distancia euclidiana

Tabla 7.29. Variables para determinar la distancia euclidiana de estaciones precipitación-temperatura

Estación/ Parámetro	11002	11071	11077	16001	16022	16027	16028	16045	16052	16081	16096	16100	16120	16152	S
Cv sum P abr	-0.991	-0.985	-0.985	-0.980	-0.985	-0.985	-0.979	-0.983	-0.989	-0.986	-0.988	-0.984	-0.977	-0.978	0.004
Cv sum P ago	-0.807	-0.790	-0.800	-0.821	-0.803	-0.816	-0.764	-0.782	-0.775	-0.809	-0.781	-0.804	-0.804	-0.815	0.017
Cv sum P dic	-0.994	-0.992	-0.994	-0.994	-0.992	-0.992	-0.992	-0.994	-0.994	-0.993	-0.995	-0.990	-0.993	-0.989	0.002
Cv sum P ene	-0.984	-0.980	-0.982	-0.978	-0.981	-0.975	-0.973	-0.981	-0.977	-0.981	-0.978	-0.978	-0.983	-0.973	0.003
Cv sum P feb	-0.993	-0.990	-0.994	-0.989	-0.991	-0.990	-0.988	-0.994	-0.991	-0.990	-0.992	-0.989	-0.989	-0.989	0.002
Cv sum P jul	-0.797	-0.822	-0.820	-0.790	-0.770	-0.794	-0.741	-0.784	-0.756	-0.787	-0.781	-0.779	-0.777	-0.794	0.021
Cv sum P jun	-0.833	-0.836	-0.855	-0.810	-0.818	-0.854	-0.797	-0.836	-0.824	-0.813	-0.831	-0.834	-0.843	-0.824	0.016
Cv sum P mar	-0.990	-0.991	-0.989	-0.987	-0.991	-0.990	-0.986	-0.994	-0.989	-0.986	-0.991	-0.991	-0.986	-0.984	0.003
Cv sum P may	-0.957	-0.959	-0.956	-0.932	-0.954	-0.951	-0.930	-0.957	-0.948	-0.945	-0.947	-0.954	-0.954	-0.933	0.010
Cv sum P nov	-0.992	-0.988	-0.991	-0.979	-0.984	-0.983	-0.978	-0.985	-0.989	-0.988	-0.988	-0.985	-0.985	-0.979	0.005
Cv sum P ocy	-0.935	-0.933	-0.926	-0.913	-0.923	-0.929	-0.898	-0.924	-0.935	-0.924	-0.925	-0.920	-0.928	-0.904	0.011
Cv sum P sep	-0.852	-0.866	-0.839	-0.787	-0.805	-0.829	-0.768	-0.814	-0.813	-0.809	-0.820	-0.813	-0.809	-0.843	0.026
elevación	1850	1761	1922	2200	2096	1831	1840	2220	1830	1903	1859	2001	2048	2060	146.138
tormentas bajas	21048	17980	22696	19514	19008	20972	20313	18730	23204	21658	19194	14334	20001	20413	2187.358
tormentas fuertes	2698	1780	2964	3596	2860	2824	3153	4158	3248	3029	2795	2004	3267	3293	594.640
tormentas extraordinarias	360	328	444	423	281	287	276	791	322	351	241	247	410	330	138.149

- Resumen de técnicas de regionalización

Tabla 7.30. Resumen de pruebas de regionalización para estaciones precipitación-temperatura

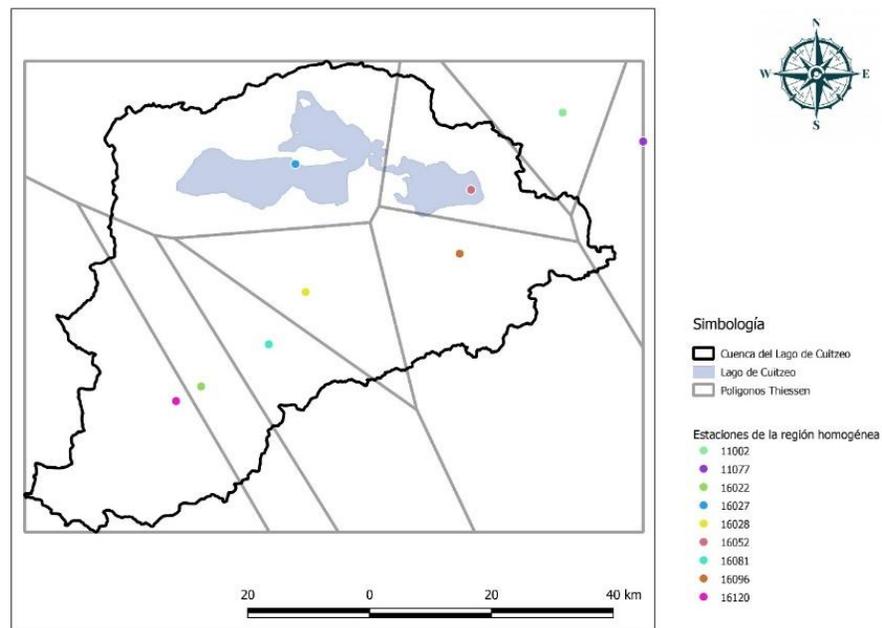
Estación	Cv-L	Beta	base													
			11002	11071	11077	16001	16022	16027	16028	16045	16052	16081	16096	16100	16120	16152
11002	Región 2	Región 4	R	R	R	No R	No R	R	No R	R	R	R	R	No R	No R	No R
11071	Región 2	Región 5	R	R	R	No R	No R	R	No R	No R	No R	No R	R	R	No R	No R
11077	Región 1	Región 4	R	R	R	No R	No R	R	No R	R	R	R	R	No R	R	No R
16001	Región 3	Región 2	No R	No R	No R	R	R	No R	R	R	No R	R	No R	No R	R	R
16022	Región 1	Región 4	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
16027	Región 1	Región 2	R	R	R	R	R	R	No R	No R	R	R	R	R	R	R
16028	Región 3	Región 2	No R	No R	No R	R	No R	No R	R	No R	No R	No R	No R	No R	No R	R
16045	Región 2	Región 3	No R	R	No R	No R	No R	No R	No R	No R						
16052	Región 2	Región 2	R	R	R	No R	R	R	R	R	R	R	R	No R	No R	No R
16081	Región 2	Región 4	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
16096	Región 2	Región 4	R	R	R	No R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	No R
16100	Región 2	Región 2	No R	R	No R	No R	R	R	R	No R	No R	No R	No R	R	No R	R
16120	Región 2	Región 4	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
16152	Región 2	Región 2	No R	No R	No R	R	No R	No R	R	No R	No R	No R	No R	No R	No R	R

Siguiendo con los criterios mencionados en el capítulo 7.2.4 se seleccionaron las estaciones pertenecientes a la región homogénea en base a los resultados de las técnicas de regionalización.

Con las estaciones de la Tabla 7.31 fue posible calcular la evapotranspiración, ya que dichas estaciones presentan información de precipitación y temperaturas.

Tabla 7.31. Estaciones pertenecientes a la región homogénea Precipitación-Temperatura

CODIGO DE ESTACION	NOMBRE DE LA ESTACION
11002	ACAMBARO
11077	TARANDACUAO
16022	COINTZIO
16027	CUITZEO
16028	CUITZILLO GRANDE
16052	HUINGO
16081	MORELIA (DGE)
16096	PRESA MALPAIS
16120	SANTIAGO UNDAMEO

**Figura 7.13.** Región homogénea Precipitación-Temperatura de la cuenca del lago de Cuitzeo

7.4.2. Llenado de vacíos de región precipitación-temperatura

Una vez que se delimitó la región homogénea para la cuenca, se procedió al llenado de vacíos en los registros de la misma forma que se describió en el capítulo 4.3.1 y se verificó que los estadísticos no cambiaran considerablemente después de haber llenado los vacíos en los registros.

Las tablas con la verificación de llenado se presentan a continuación.

Tabla 7.32. Estadísticos de la precipitación de la región homogénea Precipitación-Temperatura

Estadístico		11002	11077	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
Cv	Llenado	0.3464	0.3541	0.3894	0.3661	0.3947	0.3748	0.3762	0.3807	0.3941
	Sin llenar	0.3464	0.3508	0.3939	0.3662	0.3943	0.3767	0.3763	0.3982	0.3948
σ	Llenado	5.9902	6.0277	5.6667	5.5172	5.5325	5.4424	5.7168	5.2765	6.3378
	Sin llenar	5.9902	6.2190	5.7354	5.5146	5.5005	5.4240	5.7489	4.8454	6.2665
\bar{x}	Llenado	2.0751	2.1344	2.2066	2.0198	2.1837	2.0396	2.1507	2.0086	2.4979
	Sin llenar	2.0751	2.1817	2.2591	2.0197	2.1691	2.0431	2.1632	1.9295	2.4737
σ^2	Llenado	35.8823	36.3332	32.1117	30.4398	30.6086	29.6198	32.6816	27.8417	40.1672
	Sin llenar	35.8823	38.6763	32.8946	30.4109	30.2553	29.4202	33.0501	23.4779	39.2686

Tabla 7.33. Estadísticos de la temperatura máxima de la región homogénea Precipitación-Temperatura

Estadístico		11002	11077	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
Cv	Llenado	8.2736	7.5578	7.0442	7.5962	8.6505	8.1704	7.8358	8.2810	6.6756
	Sin llenar	8.2287	7.1062	7.0549	7.8207	7.8649	8.1439	7.8090	8.3008	6.9992
σ	Llenado	3.2603	3.6953	3.6316	3.4955	3.0223	3.1693	3.3801	3.1898	3.7154
	Sin llenar	3.2758	3.8199	3.6282	3.3859	3.2952	3.1758	3.3934	3.1485	3.5763
\bar{x}	Llenado	26.9749	27.9279	25.5819	26.5524	26.1446	25.8942	26.4858	26.4147	24.8023
	Sin llenar	26.9556	27.1451	25.5970	26.4801	25.9162	25.8632	26.4992	26.1346	25.0309
σ^2	Llenado	10.6299	13.6549	13.1885	12.2186	9.1345	10.0442	11.4252	10.1748	13.8041
	Sin llenar	10.7308	14.5918	13.1641	11.4643	10.8583	10.0855	11.5153	9.9128	12.7897

Tabla 7.34. Estadísticos de la temperatura mínima de la región homogénea Precipitación-Temperatura

Estadístico		11002	11077	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
Cv	Llenado	2.5976	2.2794	2.9118	2.8294	1.9160	2.2742	2.6664	2.1852	1.7364
	Sin llenar	2.6026	2.2210	2.8787	2.7742	1.9990	2.2670	2.6152	2.1422	1.8514
σ	Llenado	3.9708	4.3849	3.5363	3.6218	4.2824	4.0809	3.7884	4.0686	4.4547
	Sin llenar	3.9646	4.4145	3.5517	3.5954	4.3190	4.0943	3.8332	4.0933	4.5231
\bar{x}	Llenado	10.3148	9.9948	10.2970	10.2474	8.2053	9.2810	10.1015	8.8905	7.7354
	Sin llenar	10.3184	9.8046	10.2241	9.9746	8.6335	9.2818	10.0246	8.7687	8.3741
σ^2	Llenado	15.7675	19.2270	12.5054	13.1173	18.3392	16.6541	14.3523	16.5534	19.8446
	Sin llenar	15.7180	19.4880	12.6143	12.9272	18.6536	16.7634	14.6935	16.7554	20.4586

Las tablas de resumen de las series diarias se presentan a continuación.

Tabla 7.35. Resumen de la serie de precipitación de la región homogénea Precipitación-Temperatura

	11002	11077	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
Duración de la serie	66	27	37	66	66	75	66	36	62
Año de inicio	1950	1969	1950	1950	1950	1941	1950	1950	1950
Año final	2015	1995	1986	2015	2015	2015	2015	1985	2011
Año con la precipitación acumulada máxima	1973	1980	1958	2015	2010	1958	1958	1958	2010
Acumulación anual máxima	1162.67	1086.10	1392.30	1573.90	1650.21	1313.40	1151.60	1327.70	1892.65
Día de precipitación máxima	22/06/1973	27/10/1995	26/07/1968	15/03/2015	03/02/2010	15/03/2015	22/06/1964	15/08/1960	03/02/2010
Precipitación diaria máxima	127.76	118.48	135.80	167.00	119.28	94.00	85.30	70.80	144.06

Tabla 7.36. Resumen de la serie de temperatura máxima de la región homogénea Precipitación-Temperatura

	11002	11077	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
Duración de la serie	76	28	76	68	76	76	76	56	76
Año de inicio	1940	1940	1940	1940	1940	1940	1940	1940	1940
Año final	2015	1967	2015	2007	2015	2015	2015	1995	2015
Año con la máxima temperatura	1983	1965	1998	2002	2011	1948	2006	1993	1995
Día de temperatura máxima	05/05/1983	30/03/1965	07/05/1998	08/04/2002	05/02/2011	08/04/1948	09/06/2006	08/04/1993	17/05/1995
Temperatura máxima	40.00	41.57	39.50	39.70	42.99	40.00	39.56	39.30	40.00

Tabla 7.37. Resumen de la serie de temperatura mínima de la región homogénea Precipitación-Temperatura

	11002	11077	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
Duración de la serie	66	66	66	66	66	76	66	66	66
Año de inicio	1950	1950	1950	1950	1950	1940	1950	1950	1950
Año final	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015
Año con la mínima temperatura	2002	2005	1976	1990	1955	2010	1990	2013	1976
Día de temperatura mínima	09/01/2002	29/12/2005	27/02/1976	28/08/1990	24/01/1955	10/12/2010	08/08/1990	05/12/2013	26/02/1976
Temperatura mínima	-6.26	-10.86	-5.50	-7.73	-10.36	-5.50	-6.47	-7.00	-7.50

7.5. Series de tiempo anuales de cada variable climatológica

A continuación, se presentan las series de datos climatológicos, de los cuales se partió para la determinación de evapotranspiración real y los valores medios de la cuenca.

Tabla 7.38. Precipitación acumulada anual de la región homogénea Precipitación-Temperatura

Año	11002	11077	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
1941						858.50			
1942						600.40			
1943						676.29			
1944						634.50			
1945						443.20			
1946						589.30			
1947						732.00			
1948						750.40			
1949						518.00			
1950	571.10		869.00	485.40	638.58	623.30	745.90	744.80	774.57
1951	765.30		580.55	507.80	638.04	613.30	710.20	442.10	1020.26
1952	880.13		776.20	680.83	800.54	709.90	939.30	680.30	1184.95
1953	705.08		614.80	512.00	579.06	715.40	788.21	538.60	769.37
1954	772.10		783.30	691.50	806.61	670.50	828.40	607.00	865.30
1955	728.60		900.20	587.60	751.44	765.20	805.70	571.60	944.70
1956	645.00		748.10	621.30	858.55	610.04	845.30	710.50	909.50
1957	548.90		707.70	462.70	632.55	628.30	545.90	555.80	649.10
1958	1067.00		1392.30	1116.10	1286.41	1313.40	1151.60	1327.70	1277.00
1959	785.30		941.70	801.80	965.27	897.80	1114.60	798.10	988.50
1960	529.03		640.70	486.60	649.38	618.60	581.50	489.90	647.50
1961	631.70		700.00	591.80	712.55	698.90	559.06	605.60	635.70
1962	648.70		851.70	581.10	799.47	748.80	789.40	764.90	806.20
1963	744.50		909.90	860.80	981.28	754.50	838.60	783.07	864.10
1964	811.80		961.11	721.80	915.68	760.79	844.50	740.30	909.50
1965	817.40		870.70	731.60	1080.49	858.60	925.50	841.00	766.30
1966	1011.00		892.80	742.10	1094.08	907.80	884.40	855.90	942.60
1967	1052.50		1096.10	1023.40	1379.54	1160.40	1027.91	1006.20	1061.01
1968	609.70		1111.50	599.70	1120.75	793.20	859.30	799.60	1008.80
1969	538.70	577.10	791.00	620.30	594.07	596.20	724.90	657.20	834.80
1970	771.60	701.70	643.40	585.80	512.60	734.10	810.90	615.30	680.50
1971	1012.40	1083.10	785.60	776.40	745.30	907.50	936.60	751.60	877.10
1972	637.30	629.60	848.20	820.30	639.50	663.40	1020.50	571.30	906.90
1973	1162.67	917.40	878.60	906.20	609.00	751.50	870.10	899.30	867.10
1974	621.30	716.00	308.00	708.80	490.00	529.50	894.00	593.80	684.40
1975	864.00	953.30	845.30	820.00	653.00	602.40	732.80	755.40	896.90
1976	808.70	972.50	987.10	1005.20	859.30	785.90	1060.00	650.30	1054.70
1977	654.60	753.90	851.50	584.50	604.80	673.20	713.60	655.10	1026.90
1978	876.30	969.60	1018.60	1005.20	712.70	790.60	907.00	763.80	1014.80
1979	681.80	696.20	664.00	542.80	583.20	421.80	580.80	490.40	780.30

Año	11002	11077	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
1980	697.50	1086.10	923.80	828.00	566.30	830.20	842.10	846.30	734.70
1981	960.30	1039.60	906.20	820.40	510.90	708.60	700.60	815.40	786.70
1982	504.00	591.10	588.80	405.70	129.80	406.10	521.80	498.30	710.80
1983	838.90	904.60	886.90	846.70	537.80	664.50	811.80	663.10	585.10
1984	768.90	777.70	726.10	867.00	694.90	672.50	601.20	598.10	772.60
1985	793.00	937.50	820.50	913.20	657.90	707.60	700.10	683.20	799.40
1986	484.40	742.70	707.64	737.00	545.20	710.90	661.00		701.50
1987	567.80	597.20		602.20	465.60	697.50	565.80		618.80
1988	759.50	807.58		661.30	723.60	703.50	846.70		878.10
1989	652.30	568.30		643.00	595.20	588.50	557.50		555.00
1990	874.90	950.80		755.00	820.00	881.80	895.10		1167.90
1991	734.30	735.50		779.90	774.20	894.30	918.50		864.30
1992	900.00	761.40		766.80	1012.40	967.30	961.40		935.50
1993	553.40	680.87		647.30	657.25	888.60	932.00		861.50
1994	678.80	519.50		613.50	603.96	757.40	694.80		648.70
1995	705.20	843.01		683.90	782.92	951.96	865.06		1092.52
1996	658.10			417.80	671.97	630.60	513.77		835.70
1997	706.50			460.00	636.20	722.20	713.20		793.70
1998	667.70			827.20	690.10	1068.30	988.40		917.70
1999	634.70			678.00	649.10	671.50	730.80		675.40
2000	655.73			489.30	572.77	629.50	518.60		893.20
2001	899.30			594.20	848.40	707.20	850.28		946.00
2002	885.47			848.29	1005.10	840.10	1053.10		884.14
2003	1098.10			690.70	754.00	1041.40	971.40		861.30
2004	1023.20			675.30	990.40	1003.40	914.20		885.60
2005	589.30			290.00	530.60	717.20	756.80		935.50
2006	918.60			747.73	393.90	816.20	822.15		863.46
2007	719.50			754.38	692.11	781.40	692.20		848.81
2008	934.90			981.81	1278.42	755.00	584.00		1497.79
2009	726.50			847.31	1094.48	707.70	720.70		1330.98
2010	620.90			1314.47	1650.21	831.20	1032.00		1892.65
2011	514.10			910.71	1211.01	569.80	559.00		1592.33
2012	758.00			1055.24	1200.32	657.63	609.20		
2013	882.00			794.62	1018.74	960.19	727.40		
2014	850.50			983.76	1336.71	913.23	625.80		
2015	852.00			1573.90	1291.83	804.70	651.10		

Tabla 7.39. Temperatura máxima anual de la región homogénea Precipitación-Temperatura

Año	11002	11077	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
1940	31.54	33.04	36.20	33.00	32.97	36.03	33.08	38.02	35.24
1941	32.83	35.50	37.00	33.00	34.40	34.50	35.09	33.49	36.34
1942	33.80	33.00	35.00	34.00	34.06	35.00	33.78	34.29	34.30
1943	35.00	31.20	35.60	33.60	34.35	35.50	34.36	35.05	34.31
1944	32.20	29.50	32.30	32.40	33.00	33.50	36.64	38.30	32.12
1945	34.50	32.40	34.20	35.83	33.58	34.50	34.89	37.50	33.90
1946	36.20	36.63	34.00	34.50	34.65	36.00	35.77	36.50	33.93
1947	34.00	32.20	34.50	34.10	33.43	38.50	38.58	34.43	33.60
1948	38.45	33.90	33.00	33.10	35.63	40.00	38.00	33.50	33.20
1949	35.30	34.73	34.40	33.90	33.75	39.00	34.50	36.50	34.19
1950	35.00	35.05	35.00	35.00	34.00	35.00	35.70	32.90	34.62
1951	33.00	33.30	33.50	32.50	33.31	34.00	38.30	32.80	32.72
1952	33.80	35.00	34.20	33.60	32.57	33.00	33.30	33.60	33.75
1953	34.00	34.40	34.70	35.10	32.62	33.00	34.40	33.60	34.23
1954	37.20	36.70	34.00	34.00	41.98	34.00	38.90	29.50	32.00
1955	33.40	37.20	33.00	34.10	33.99	35.00	32.80	31.80	31.20
1956	32.00	35.00	32.00	34.00	35.07	30.50	31.10	29.40	31.00
1957	32.80	36.70	34.00	35.20	31.82	33.00	33.90	32.00	30.30
1958	32.50	37.20	33.10	33.50	33.45	32.00	34.40	32.50	30.30
1959	32.00	36.70	32.00	31.60	32.19	33.50	31.70	32.07	28.20
1960	33.50	37.20	34.60	33.50	29.98	31.00	32.20	31.74	30.00
1961	33.50	37.80	31.60	34.00	32.20	33.00	34.40	37.50	33.10
1962	33.50	37.20	35.10	35.00	33.04	32.50	34.40	34.10	30.70
1963	34.00	37.30	36.40	34.80	32.68	33.00	33.90	34.50	32.00
1964	34.00	37.80	36.70	36.60	34.33	32.50	34.40	35.00	32.10
1965	33.50	41.57	35.20	33.20	33.08	32.50	33.30	34.60	32.10
1966	32.50	37.20	33.00	34.50	32.63	32.00	34.00	35.00	31.00
1967	34.50	37.20	33.50	33.30	33.78	33.50	35.50	34.90	32.70
1968	32.00		32.00	31.80	33.59	32.50	34.00	32.80	31.00
1969	33.50		33.50	34.90	33.76	33.50	35.00	34.20	32.40
1970	34.00		33.00	35.40	33.00	32.00	35.00	33.50	36.40
1971	33.00		33.00	35.00	33.00	33.00	34.50	33.00	37.10
1972	33.50		32.50	35.80	34.00	32.00	37.00	33.00	33.20
1973	34.00		34.00	35.20	33.00	33.00	38.00	34.00	32.50
1974	34.00		32.50	35.50	33.00	32.00	35.00	33.00	33.00
1975	33.00		32.00	35.30	32.00	32.50	35.50	35.00	32.10
1976	32.50		32.00	34.40	32.00	32.50	38.50	32.50	30.00
1977	34.00		31.00	35.20	32.00	31.50	37.00	32.50	29.80
1978	35.00		32.00	35.60	32.50	33.50	36.00	33.00	31.40
1979	33.80		30.00	35.50	30.00	32.00	36.00	32.50	30.90

Año	11002	11077	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
1980	33.20		31.00	34.20	31.50	32.00	33.00	32.50	31.80
1981	33.10		32.00	34.00	32.00	31.00	32.10	33.50	32.50
1982	34.70		34.00	34.80	33.00	33.50	35.00	36.00	34.00
1983	40.00		36.50	35.00	35.00	35.00	37.40	37.50	36.50
1984	34.60		33.00	33.00	32.00	33.00	33.00	34.00	33.00
1985	34.70		34.50	32.80	32.00	32.50	34.50	35.00	33.50
1986	36.00		33.92	34.50	34.00	34.00	33.80	34.50	33.50
1987	34.00		37.71	34.00	32.00	33.00	33.50	34.00	34.50
1988	35.00		34.25	34.00	34.00	37.00	34.00	34.83	34.50
1989	35.50		35.00	35.50	34.00	33.00	35.00	33.00	34.50
1990	35.00		33.76	33.00	33.00	33.00	38.72	35.89	33.00
1991	35.50		38.02	35.00	34.00	33.00	39.00	33.45	36.50
1992	35.00		34.00	32.00	31.00	31.00	34.00	31.82	32.00
1993	39.50		38.00	35.00	42.86	33.00	35.00	39.30	34.50
1994	36.00		39.00	36.00	35.00	31.00	34.00	38.67	34.50
1995	36.50		38.00	35.00	35.00	33.38	35.00	36.45	40.00
1996	36.50		35.50	34.00	39.47	33.00	34.00		34.50
1997	35.00		34.50	29.00	42.85	32.00	35.50		33.50
1998	39.50		39.50	39.00	36.45	36.00	36.00		38.50
1999	35.50		36.50	36.00	34.18	33.00	34.00		35.50
2000	35.50		37.00	35.00	35.26	34.00	36.50		35.00
2001	36.50		36.50	35.00	34.50	34.00	34.00		34.50
2002	36.00		37.50	39.70	34.00	34.00	33.50		35.50
2003	37.00		37.50	37.00	35.00	34.00	34.50		40.00
2004	34.00		35.50	33.00	34.50	37.00	33.50		31.50
2005	37.00		36.50	34.00	36.00	33.00	34.50		36.50
2006	36.00		35.00	39.59	33.50	31.00	39.56		34.50
2007	36.00		32.24	32.75	35.00	31.50	31.50		34.50
2008	37.00		36.73		41.85	32.00	33.50		35.79
2009	38.00		36.41		41.44	33.00	33.00		34.56
2010	35.00		37.83		42.04	33.00	33.00		35.05
2011	37.00		39.26		43.00	32.50	35.00		36.76
2012	36.00		32.80		32.05	32.00	32.50		32.71
2013	37.00		33.03		32.56	33.64	36.50		32.32
2014	36.00		31.40		31.64	33.13	31.50		31.56
2015	34.00		32.70		31.73	30.00	31.50		34.41

Tabla 7.40. Temperatura mínima anual de la región homogénea Precipitación-Temperatura

Año	11002	11077	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
1940						-1.33			
1941						-2.50			
1942						-2.50			
1943						1.00			
1944						-0.50			
1945						-0.30			
1946						1.00			
1947						1.50			
1948						1.00			
1949						-3.00			
1950	-2.00	-8.66	0.00	-4.10	-1.45	-3.00	-0.50	-2.80	-0.08
1951	-2.00	0.00	0.50	-3.20	-0.44	-2.00	-1.50	-0.50	0.49
1952	-2.50	-2.20	0.00	-5.30	0.22	-0.50	-4.40	0.00	-0.19
1953	-1.50	-5.00	0.00	-2.10	-1.29	-3.00	-2.20	-4.50	-0.40
1954	-3.00	-2.80	0.50	-7.30	-9.45	-3.00	-3.30	-5.20	-5.00
1955	-3.00	-3.30	0.80	-4.30	-10.36	-3.50	-4.40	-6.80	-5.90
1956	-3.50	-8.90	-3.00	-3.70	-8.49	-5.00	-4.40	-6.10	-6.10
1957	-2.50	-7.80	-0.60	-4.00	-7.96	-5.00	-2.20	-2.70	-5.00
1958	-0.20	-7.20	1.50	-2.90	-2.82	0.50	0.00	-2.40	-2.90
1959	-1.30	-5.60	0.90	0.70	-4.31	-1.00	-1.10	-0.50	-2.30
1960	-2.50	-5.60	0.50	-2.50	-4.58	-5.00	-1.10	-0.91	-3.80
1961	-1.00	-3.30	-0.50	-3.00	-0.97	-3.00	0.00	-2.80	-4.90
1962	0.50	-1.10	1.20	-2.60	-0.19	-2.00	-1.10	-0.70	-3.00
1963	-2.00	-2.20	0.00	-3.90	-1.79	-3.00	-3.30	-3.00	-5.00
1964	1.00	-1.70	1.00	0.60	1.76	1.00	1.10	0.00	0.00
1965	0.00	-1.70	1.00	-3.00	-2.11	-1.00	-3.90	-2.50	-3.90
1966	-1.00	-3.90	-4.00	-3.00	-2.80	-2.50	-3.00	-4.50	-4.50
1967	-0.50	-1.10	0.00	-0.90	-1.36	-1.50	-3.00	-1.90	-3.60
1968	0.00	-0.53	0.00	-0.80	-0.79	-0.50	-2.00	-1.00	-3.20
1969	0.00	0.00	-0.50	-2.00	-0.19	-2.00	-0.50	-2.00	-2.00
1970	0.00	1.00	0.50	0.20	0.00	-1.00	-1.50	-2.00	-2.70
1971	1.50	0.00	2.50	0.60	0.00	0.50	1.50	-0.90	0.10
1972	1.00	0.00	0.00	0.20	0.00	-0.50	-0.50	-2.50	-2.80
1973	0.00	0.00	0.00	-0.40	0.00	-2.50	1.00	-3.00	-3.00
1974	-1.00	1.00	0.50	1.70	0.00	-1.50	0.00	-2.50	-2.00
1975	-2.50	-2.00	0.00	0.20	0.00	-1.50	0.00	-3.50	-5.10
1976	-2.00	-3.00	-5.50	-2.70	0.00	-5.00	-3.00	-4.50	-7.50
1977	0.50	1.00	2.00	0.30	0.00	0.50	0.50	1.00	-2.80
1978	2.50	2.00	2.00	3.00	-1.00	0.50	2.00	-1.00	-2.00

Año	11002	11077	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
1979	1.00	2.00	2.00	3.50	-3.00	1.50	1.50	0.00	-0.60
1980	0.80	-1.00	1.00	-0.50	-0.20	-2.00	0.50	0.00	-2.60
1981	0.50	-1.00	0.00	0.60	-2.00	-2.50	-2.60	-1.00	-3.00
1982	1.70	-1.00	1.00	-1.60	-3.00	-1.00	-0.70	-1.00	-2.00
1983	1.00	-2.00	0.00	-2.30	-6.00	-1.50	-0.50	-2.50	-3.50
1984	2.00	0.00	0.50	-1.40	-1.00	-1.00	1.20	0.00	-1.60
1985	0.80	-2.00	1.50	-2.00	0.00	-3.00	0.00	0.00	-3.00
1986	-5.00	-3.50	-2.00	-3.90	0.00	-1.50	-2.40	0.00	-2.00
1987	2.00	-2.00	0.50	3.00	0.00	-3.00	1.00	-2.00	0.00
1988	0.00	-3.50	1.65	-2.00	-4.00	-5.00	0.50	-3.50	-4.00
1989	1.00	-3.50	2.27	3.00	-5.00	-4.00	0.60	-2.36	-0.50
1990	1.25	-1.50	-4.46	-7.73	-2.00	-1.00	-6.47	-0.30	-1.00
1991	2.50	-1.00	5.18	0.00	-2.00	0.00	4.50	0.90	-1.50
1992	1.00	-2.00	1.00	3.00	-2.00	-1.00	2.00	1.09	-3.00
1993	2.00	-2.00	3.00	3.00	-1.00	0.00	2.00	1.77	-1.50
1994	2.00	0.50	4.00	4.00	-2.00	-1.00	1.50	-0.03	-1.00
1995	1.00	-1.00	2.50	4.00	-2.49	0.00	2.97	1.91	-2.50
1996	0.50	-2.00	1.00	1.00	-1.00	-2.00	0.00	-0.71	-6.00
1997	-2.00	1.00	-2.50	0.00	-2.58	-5.00	-2.00	-2.92	-1.00
1998	-1.50	1.00	1.00	1.00	-2.28	-3.00	0.50	-2.00	-4.00
1999	-1.50	-5.00	-0.50	3.00	-2.00	-3.00	-0.50	-5.00	-6.00
2000	0.00	-5.79	0.50	-2.00	-1.00	-3.00	3.00	-5.00	-3.00
2001	2.00	-3.88	2.50	0.00	-1.00	0.00	3.05	4.00	-3.00
2002	-6.26	-3.35	-1.00	-4.00	-5.95	-5.00	-0.50	-2.65	-4.00
2003	0.00	-9.26	0.50	2.00	-4.50	-3.50	2.00	0.00	-5.00
2004	1.00	-2.00	1.00	4.00	-4.00	-3.00	2.00	1.00	-4.00
2005	2.00	-10.86	1.00	4.00	-2.00	-1.00	3.00	0.00	-3.00
2006	-1.00	-3.00	-1.00	-0.90	-3.00	-4.50	1.00	-4.00	-5.50
2007	4.00	-2.00	5.03	5.34	1.00	-4.00	6.00	-1.06	-1.00
2008	1.00	-3.00	2.66	1.57	1.37	-2.00	1.30	-1.00	2.64
2009	3.00	-2.00	5.00	2.85	3.33	0.00	5.00	1.00	5.25
2010	-1.00	-6.00	3.36	-2.37	-0.84	-5.50	2.00	-2.00	2.94
2011	-1.00	-7.00	-2.70	-2.10	-0.64	-5.00	1.50	-2.00	-1.86
2012	4.00	-2.00	1.20	1.50	3.21	0.00	5.00	3.00	1.88
2013	1.00	-1.00	2.79	-2.50	0.95	0.26	2.50	-7.00	2.60
2014	3.00	-4.00	2.98	1.27	2.66	-1.00	3.00	0.00	3.00
2015	3.00	1.00	2.86	3.50	4.20	1.00	4.00	3.00	6.10

Tabla 7.41. Evaporación acumulada anual de la región homogénea

Año	11002	11071	16016	16023	16027	16159
1950					2074.00	
1951					2008.60	
1952					2051.69	
1953					1863.99	
1954					1744.60	
1955					1800.10	
1956					1857.90	
1957	2083.40				1912.70	
1958	1625.70				1832.00	
1959	1613.30				1806.10	
1960	2071.78				2016.70	
1961	2213.50	2255.90	1970.68	1904.20	1878.10	
1962	2187.60	2250.50	2060.67	2010.38	2004.40	
1963	2031.60	1965.10	1934.50	1892.21	1902.60	
1964	2080.68	2121.13	1931.84	1875.89	1869.40	
1965	2041.70	1937.60	1870.65	1820.54	1818.80	
1966	2022.90	1869.60	1840.92	1789.00	1790.30	
1967	1976.20	1990.20	1794.72	1739.56	1725.50	
1968	2025.78	2097.33	1751.96	1685.35	1646.60	
1969	2243.20	2315.30	2005.45	1839.22	1769.80	
1970	2122.10	2179.60	2370.80	2107.15	1831.30	
1971	1964.00	1868.20	2218.14	2075.60	1614.60	
1972	2064.04	1891.25	2126.80	2095.00	1560.40	
1973	1991.36	2090.50	2264.68	2115.30	1600.00	2194.30
1974	1856.10	1891.80	2057.60	1924.10	1482.10	2096.00
1975	1995.80	2034.80	2203.10	2011.90	1346.50	2086.30
1976	1901.09	2045.34	2067.03	1850.30	1400.00	2065.60
1977	1870.80	1857.00	2139.30	1761.20	1428.60	2105.14
1978	1916.80	2102.90	2173.50	1761.60	1363.80	2060.20
1979	2203.70	1994.20	2294.90	1800.90	1381.50	2057.80
1980	2009.48	1788.96	2189.40	1640.51	1326.90	1981.80
1981	2187.50	1634.50	2181.74	1911.90	1337.60	1909.80
1982	2417.70	1700.00	2362.40	1899.70	2229.20	2066.60
1983	2427.10	1790.30	2459.70	2368.19	2363.10	1951.10
1984	2208.18	1523.08	2201.60	1893.90	2357.80	1936.30
1985	2226.50	1351.20	2142.60	1868.00	2258.70	1967.70
1986		1328.10	2066.70	1914.10	1984.90	1881.00
1987		1332.10	2177.20	2036.70	1977.20	1908.10

Año	11002	11071	16016	16023	16027	16159
1988		1261.36	2196.50	1987.80	2002.50	1971.10
1989		1814.80	2268.50	1944.80	2008.20	1921.21
1990		1905.60	2171.50	1772.44	2161.40	2070.20
1991		1724.40	2233.10	1807.40	1750.90	1865.20
1992		1542.47	1918.90	1638.00	1451.20	1774.20
1993		1897.40	2184.40	1709.20	1666.50	1788.40
1994		1872.00	2032.60	1708.80	1649.00	2101.80
1995		2000.29	1973.10	1752.30	1675.20	2187.00
1996		1854.30	1910.00	1906.20	1795.50	2269.40
1997		1812.00	1845.30	1812.40	1697.10	1952.90
1998		1951.40	2168.50	1939.60	2061.70	2098.10
1999		2073.40	1930.50	1923.53	1875.50	2057.00
2000		1880.23	1922.20	1908.60	1958.40	
2001		1710.90	1712.10	1904.64	1856.36	
2002		1619.40	1697.48	1743.07	1721.17	
2003		1556.30	1804.48	1720.30	1734.60	
2004		1375.40	1939.50	1296.20	1246.70	
2005		1568.50	1954.20	1543.95	1408.10	
2006		1671.80	1974.68	1904.58	1865.77	
2007		1694.50				
2008		1760.30				
2009		1843.20				
2010		1684.20				
2011		1809.70				
2012		1748.40				
2013		1699.50				
2014		1663.70				
2015		1560.30				

Las estaciones utilizadas para obtener la información necesaria para calcular el balance hídrico, se presentan en la Figura 7.14.

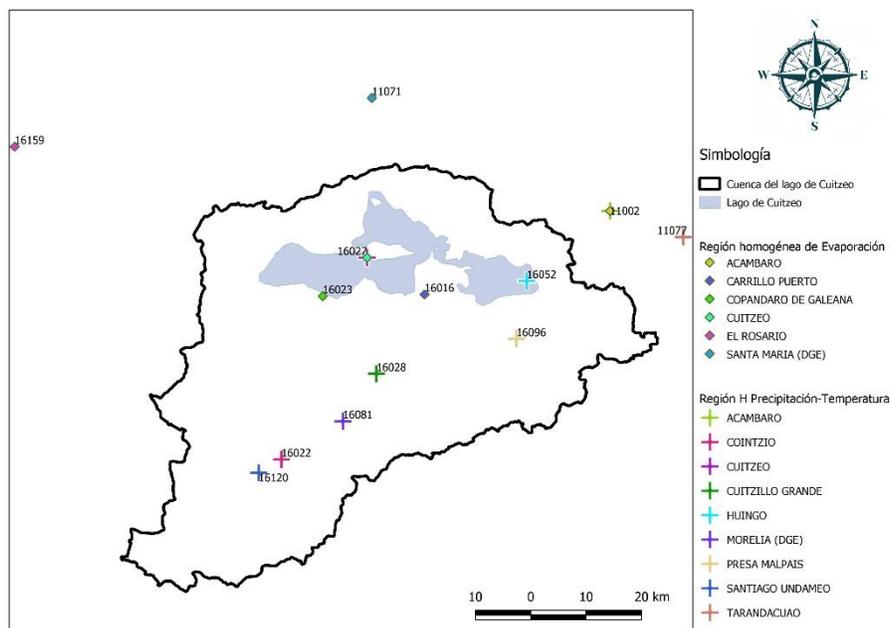


Figura 7.14. Estaciones de la región homogénea Precipitación-Temperatura y región homogénea de Evaporación

7.6. Pruebas de homogeneidad y tendencia

Una vez realizado el proceso de llenado de datos de las estaciones de la región homogénea de precipitación-temperatura y de la región homogénea de evaporación, se procedió a las pruebas de homogeneidad y tendencia, en la Tabla 7.42, Tabla 7.43, Tabla 7.44 y Tabla 7.45 se muestran los parámetros de las series de las estaciones de cada una de las variables climatológicas.

En el Anexo E se describe el código utilizado para determinar la homogeneidad y tendencia de las series de tiempo de una región homogénea.

Tabla 7.42. Parámetros de lluvia acumulada anual

Estación	n	Promedio	Desviación estándar	Varianza
11002	66	757.92	157.51	24810.78
11077	27	796.81	166.24	27635.65
16022	37	825.12	183.02	33494.58
16027	66	737.68	214.13	45850.41
16028	66	792.24	274.67	75443.00
16052	75	746.23	158.51	25124.16
16081	66	790.09	160.50	25759.18
16096	36	704.75	167.31	27991.17
16120	62	903.50	236.51	55934.82

Tabla 7.43. Parámetros de temperatura máxima anual

Estación	n	Promedio	Desviación estándar	Varianza
11002	76	34.78	1.83	3.34
11077	28	35.45	2.51	6.32
16022	76	34.50	2.17	4.69
16027	68	34.45	1.69	2.85
16028	76	34.23	2.96	8.74
16052	76	33.36	1.83	3.36
16081	76	34.78	1.94	3.78
16096	56	34.19	2.08	4.35
16120	76	33.54	2.24	5.00

Tabla 7.44. Parámetros de temperatura mínima anual

Estación	n	Promedio	Desviación estándar	Varianza
11002	66	-0.02	2.03	4.13
11077	66	-2.52	2.83	7.98
16022	66	0.71	2.03	4.11
16027	66	-0.52	2.90	8.40
16028	66	-1.67	2.78	7.70
16052	76	-1.79	1.86	3.47
16081	66	0.10	2.54	6.45
16096	66	-1.52	2.27	5.15
16120	66	-2.20	2.68	7.18

Tabla 7.45. Parámetros de evaporación acumulada anual

Estación	n	Promedio	Desviación estándar	Varianza
11002	29	2054.47	186.07	34621.49
11071	55	1813.86	243.52	59304.15
16016	46	2058.61	182.18	33188.23
16023	46	1859.05	170.92	29213.22
16027	57	1786.03	265.50	70490.35
16159	27	2012.01	120.06	14413.42

Siguiendo la metodología del capítulo 5.1 se determinó la homogeneidad de las series anuales de cada una de las variables climatológicas. En el capítulo 5.2 se indicó la metodología para determinar la tendencia de las series anuales de cada una de las variables climatológicas.

De la Tabla 7.46 a la Tabla 7.49, se resumieron las pruebas descritas en el capítulo 5, de las diferentes variables climatológicas utilizadas en éste estudio. En el Anexo A se presentan los resultados a detalle de cada prueba y cada variable.

Tabla 7.46. Resumen de pruebas de homogeneidad y tendencia para precipitación acumulada anual

Estación	t de student	Helmert	Crammer 30	Cramer 60	Pettit	N estándar	Buishand	Van Neumann	Fisher	Spelman	Mann Kendal
11002	H	H	H	H	H	H	H	H	H	Tendencia decreciente no significativa	No hay tendencia
11077	H	NH	H	H	NH	H	H	H	NH	Tendencia creciente no significativa	No hay tendencia
16022	H	H	H	H	NH	NH	H	H	H	Tendencia decreciente no significativa	No hay tendencia
16027	H	NH	H	H	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia decreciente significativa	Hay tendencia
16028	H	NH	NH	H	NH	H	NH	NH	H	Tendencia decreciente no significativa	No hay tendencia
16052	H	NH	NH	H	H	H	NH	NH	H	Tendencia decreciente significativa	Hay tendencia
16081	H	H	H	H	H	H	H	H	H	Tendencia creciente no significativa	No hay tendencia
16096	H	H	H	H	NH	NH	H	H	NH	Tendencia decreciente no significativa	No hay tendencia
16120	H	H	NH	H	H	H	NH	NH	H	Tendencia decreciente no significativa	No hay tendencia

Tabla 7.47. Resumen de pruebas de homogeneidad y tendencia para temperatura máxima anual

Estación	t de student	Helmert	Crammer 30	Cramer 60	Pettit	N estándar	Buishand	Van Neumann	Fisher	Spelman	Mann Kendal
11002	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia decreciente significativa	Hay tendencia
11077	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia decreciente significativa	Hay tendencia
16022	NH	NH	NH	H	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia decreciente no significativa	No hay tendencia
16027	H	H	H	H	NH	NH	H	H	H	Tendencia decreciente significativa	Hay tendencia
16028	NH	NH	NH	H	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia decreciente no significativa	No hay tendencia
16052	H	NH	H	NH	NH	H	NH	NH	NH	Tendencia creciente significativa	Hay tendencia
16081	H	NH	H	H	H	NH	H	NH	H	Tendencia creciente no significativa	No hay tendencia
16096	H	NH	H	H	NH	NH	H	NH	H	Tendencia decreciente no significativa	No hay tendencia
16120	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia decreciente significativa	Hay tendencia

Tabla 7.48. Resumen de pruebas de homogeneidad y tendencia para temperatura mínima anual

Estación	t de student	Helmert	Crammer 30	Cramer 60	Pettit	N estándar	Buishand	Van Neumann	Fisher	Spelman	Mann Kendal
11002	NH	NH	H	NH	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia decreciente significativa	Hay tendencia
11077	H	NH	H	H	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia decreciente no significativa	No hay tendencia
16022	NH	H	H	H	NH	NH	NH	H	H	Tendencia decreciente significativa	Hay tendencia
16027	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia decreciente significativa	Hay tendencia
16028	H	NH	H	H	NH	NH	NH	NH	NH	Tendencia decreciente significativa	No hay tendencia
16052	H	NH	H	H	H	H	H	NH	H	Tendencia creciente no significativa	No hay tendencia
16081	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia decreciente significativa	Hay tendencia
16096	NH	NH	H	NH	NH	NH	NH	H	H	Tendencia decreciente significativa	Hay tendencia
16120	H	NH	NH	H	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia decreciente significativa	Hay tendencia

Tabla 7.49. Resumen de pruebas de homogeneidad y tendencia para evaporación acumulada anual

Estación	t de student	Helmert	Crammer 30	Cramer 60	Pettit	N estándar	Buishand	Van Neumann	Fisher	Spelman	Mann Kendal
11002	H	H	NH	H	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia decreciente no significativa	No hay tendencia
11071	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia creciente significativa	Hay tendencia
16016	H	NH	NH	H	NH	H	NH	NH	H	Tendencia creciente no significativa	No hay tendencia
16023	H	NH	NH	H	NH	NH	NH	NH	H	Tendencia creciente no significativa	No hay tendencia
16027	H	NH	H	H	H	NH	H	NH	H	Tendencia creciente no significativa	No hay tendencia
16159	H	NH	H	H	NH	NH	H	NH	NH	Tendencia creciente no significativa	No hay tendencia

Donde H es Homogénea y NH es No homogénea

Las estaciones que se descartaron fue porque el número de años es menor de 50 años, y de ésta manera los resultados no fueron contundentes para la afirmación de que una serie es estacionaria o no, las estaciones descartadas fueron las siguientes: En precipitación, la estación 11077, 16022 y 16096; en temperatura máxima la estación 11077; y en evaporación, la estación 11002, 16016, 16023 y 16159

Los resultados muestran que la precipitación en todas las estaciones tiene un comportamiento homogéneo; en 2 estaciones de la parte central de la cuenca se tiene una tendencia decreciente. La temperatura máxima tiene un comportamiento no homogéneo en casi todas las estaciones, salvo en 3 estaciones en la parte centro y sur de la cuenca, y en 3 estaciones presenta tendencia decreciente y en una estación se presenta una tendencia creciente. En 3 de las 9 estaciones se presenta un comportamiento no homogéneo de las series de temperatura mínima anual y en 6 estaciones se presenta una tendencia decreciente. En una estación en el norte de la cuenca, el comportamiento de la serie de evaporación acumulada anual es no homogéneo y con tendencia creciente, mientras que en el centro de la cuenca la serie de la estación es homogénea y no presenta tendencia.

Cabe mencionar que en los estudios previos se encontró que la precipitación tiene un ciclo que va de periodos húmedos a periodos secos (Bocco G., 2012). Este comportamiento se pudo comprobar y se

observa que del 2000 al 2020 se presentó el periodo seco, y según la tendencia cíclica, después del 2020 empezaría el periodo húmedo.

7.7. Evapotranspiración real

Partiendo de los datos de precipitación y temperatura (Tabla 7.38, Tabla 7.39 y Tabla 7.40), se calculó la evapotranspiración real acumulada anual puntual en estaciones de la región homogénea precipitación-temperatura. En el Anexo E se describe el código utilizado para calcular la evapotranspiración real.

En la Tabla 7.50 se presenta la evapotranspiración real acumulada anual de cada estación de la región homogénea precipitación-temperatura, la cual es un promedio de la evapotranspiración real obtenida con los métodos mencionados en el capítulo 6.1.1; en el Anexo B se presenta el cálculo detallado de cada método y cada estación.

En la estación 11077 no se pudo calcular la evapotranspiración real ya que los datos de precipitación y temperatura no coincidieron temporalmente.

Tabla 7.50. Evapotranspiración real en las estaciones de la región homogénea Precipitación-temperatura

Año	11002	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
1940					589.298			
1941					668.229			
1942					521.009			
1943					564.795			
1944					539.156			
1945					407.708			
1946					513.694			
1947					603.580			
1948					617.671			
1949					465.167			
1950	498.705	650.660	432.669	535.851	531.267	598.487	589.430	607.662
1951	613.631	498.131	449.399	538.369	524.081	584.087	401.736	714.669
1952	669.600	608.460	568.037	625.444	580.492	685.192	561.289	761.444
1953	582.231	520.484	456.404	499.590	585.153	619.332	466.528	607.920
1954	616.219	598.018	575.463	629.408	559.592	636.316	500.500	630.496
1955	590.146	669.115	504.179	576.919	606.328	617.516	481.055	658.022
1956	536.030	591.243	525.279	607.254	511.625	620.524	545.272	635.787
1957	480.529	580.290	420.278	512.215	529.586	473.717	474.090	524.400
1958	733.602	805.064	742.415	754.228	805.879	755.989	761.893	734.503
1959	621.496	688.387	635.897	656.634	667.569	736.806	620.628	661.579
1960	469.077	542.941	439.185	519.203	524.085	497.864	438.014	521.930
1961	534.480	574.013	504.667	574.355	569.856	482.446	521.236	514.816
1962	548.273	661.192	501.470	620.709	573.458	622.280	605.503	600.718
1963	601.953	686.425	651.439	700.543	574.778	655.319	615.905	624.744
1964	636.869	705.015	580.954	677.407	607.983	652.413	591.509	640.197
1965	636.579	657.886	579.863	727.807	647.477	682.757	639.256	585.619
1966	710.374	660.451	576.293	720.434	665.621	654.507	644.476	659.311
1967	726.366	728.918	696.449	782.111	750.622	709.930	704.301	698.483
1968	520.105	733.227	503.723	731.590	617.592	642.773	615.497	678.650
1969	479.280	622.825	525.592	509.303	510.462	589.273	551.631	628.708
1970	621.376	537.267	503.382	452.316	589.695	637.375	519.517	561.394
1971	730.102	611.637	621.572	593.323	670.411	705.586	594.958	651.609
1972	547.308	649.960	648.649	533.617	551.946	750.134	494.271	656.953
1973	787.740	653.783	696.385	515.832	597.977	679.527	667.786	632.141
1974	531.724	305.226	586.991	433.276	463.145	680.667	502.965	542.643
1975	661.600	633.581	647.061	540.794	511.908	600.231	594.106	625.158
1976	634.399	679.514	743.102	639.500	614.029	765.296	539.378	654.660
1977	554.653	632.363	518.349	510.450	553.986	598.669	543.705	630.938
1978	681.534	693.852	749.749	572.950	616.503	697.230	601.538	634.973
1979	577.175	542.362	486.563	492.315	386.900	508.627	435.784	574.778

Año	11002	16022	16027	16028	16052	16081	16096	16120
1980	585.694	668.303	661.894	486.236	643.794	637.967	651.682	580.530
1981	716.949	668.982	645.536	448.956	576.250	565.335	636.470	606.212
1982	456.880	508.234	399.309	601.841	394.476	465.606	446.030	576.619
1983	660.421	661.883	637.162	467.750	547.572	635.669	550.607	495.477
1984	624.550	582.935	651.241	559.435	550.966	519.904	510.314	592.299
1985	639.751	632.160	676.341	540.084	571.133	581.296	563.238	607.464
1986	440.449	585.600	600.226	472.187	573.770	560.097		560.237
1987	502.782		520.489	416.285	568.973	497.001		521.132
1988	618.622		560.874	578.459	573.812	668.061		647.056
1989	556.187		549.753	503.320	502.194	494.184		477.330
1990	681.894		606.145	630.123	654.516	675.886		750.149
1991	609.129		624.726	606.713	667.159	695.431		650.914
1992	691.495		617.651	696.362	688.724	693.089		668.331
1993	492.411		556.146	550.409	660.795	700.016		647.954
1994	578.220		534.257	517.326	605.956	587.492		542.876
1995	592.902		575.987	620.266	699.946	685.880		718.259
1996	560.034		408.368	558.970	531.369	459.678		632.483
1997	591.145		411.878	535.184	585.392	602.686		616.519
1998	572.821		665.597	573.840	745.015	740.497		684.497
1999	540.507		576.903	545.232	551.291	600.823		550.547
2000	558.072		444.928	499.236	531.167	467.514		657.409
2001	692.111		517.389	647.890	576.481	666.536		675.179
2002	692.104		671.626	720.211	648.793	755.633		667.453
2003	784.803		580.498	605.195	726.786	729.784		628.017
2004	747.483		567.466	708.983	704.101	692.061		642.105
2005	520.803		571.386	468.345	582.269	622.123		687.235
2006	709.767		617.347	383.899	635.373	653.234		649.724
2007	598.848		617.792	576.943	613.174	579.526		643.755
2008	712.958			802.166	597.008	508.707		866.531
2009	611.388			764.394	579.568	600.104		852.687
2010	538.278			857.532	631.066	740.016		959.309
2011	466.572			801.772	493.890	495.427		905.062
2012	624.766			785.934	548.288	526.674		
2013	691.421			734.835	715.917	602.291		
2014	675.989			832.987	688.535	538.838		
2015	678.156			838.466	630.795	556.426		

7.8. Coeficientes de escurrimiento e infiltración

Los coeficientes iniciales tanto de escurrimiento (C_e) como de infiltración (C_i) se tomaron del trabajo “Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Morelia-Queréndaro (1602)” (Comisión Nacional del Agua, 2015)

Tabla 7.51. Parámetros obtenidos del estudio realizado por la CONAGUA

Área (km ²)	Temperatura (° C)	L Turc	X Coutagne	Precipitación	Evapotranspiración Turc (mm)	Evapotranspiración Coutagne (m)
				(mm)		
2030	17.4	998.4012	0.309023	797	642.8	0.601

Coeficiente de escurrimiento (C_e)	Balance hidrometeorológico				Coeficiente de infiltración
	Escurrimiento (hm ³ /año)	Precipitación (hm ³ /año)	Evapotranspiración (hm ³ /año)	Infiltración (hm ³ /año)	
0.1473	238.3	1617.9	1219.4	160.2	0.099

Los parámetros iniciales para modelar el balance hídrico se presentan en la Tabla 7.52.

Tabla 7.52. Parámetros iniciales para calibrar el modelo

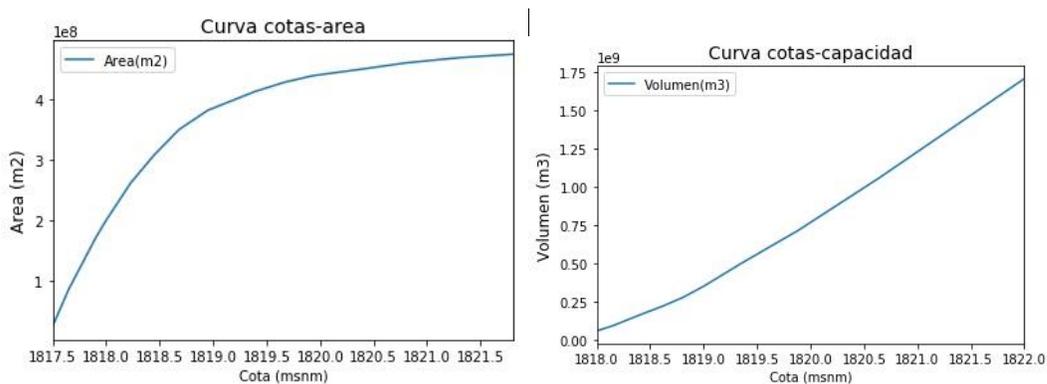
Parámetro	Valor inicial
<i>Coeficiente de escurrimiento (C_e)</i>	0.1473
<i>Coeficiente de infiltración (C_i)</i>	0.099

7.9. Curvas de elevación-capacidad-área del lago de Cuitzeo

Las curvas elevación-capacidad-área del lago del archivo “PDF” (Figura 3.4) se tabularon en valores de “x” y de “y” en formato “csv”, además de que las unidades de los valores se manejaron en metros; con la finalidad de facilitar la interpolación de la información de dichas curvas.

Tabla 7.53. Valores tabulados de las curvas elevación-capacidad-área

Cota	Área(m ²)	Cota	Volumen(m ³)
1817.5	25000000	1818	61900000
1817.65	85700000	1818.15	95200000
1817.9	170200000	1818.44	176200000
1818	200000000	1818.62	223800000
1818.23	261900000	1818.81	281000000
1818.45	308300000	1819	352400000
1818.68	350000000	1819.36	504800000
1818.95	382100000	1819.88	714300000
1819.39	413100000	1820.64	1057100000
1819.67	428600000	1822	1704800000
1819.93	439300000		
1820.38	450000000		
1820.81	460700000		
1821.29	469000000		
1821.81	475000000		

**Figura 7.15.** Graficas de las curvas elevación capacidad-área

7.10. Llenado de datos faltantes en el registro de cotas mensuales

Siguiendo la metodología descrita en el capítulo 4.3.2, se hizo el llenado de los espacios vacíos en los registros mensuales del nivel del lago de Cuitzeo (Tabla 3.1), utilizando una correlación mínima de 0.7.

En la Tabla 7.54 se muestra la correlación de las series mensuales, los valores en verde son mayores que la correlación mínima establecida para llenar los vacíos en el registro.

Tabla 7.54. Matriz de correlación entre meses

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ENE	1	0.9732	0.9821	0.9693	0.9587	0.9431	0.9220	0.8925	0.8059	0.7359	0.6851	0.6831
FEB	0.9732	1	0.9760	0.9721	0.9607	0.9494	0.9330	0.8970	0.7968	0.7250	0.6681	0.6679
MAR	0.9821	0.9760	1	0.9948	0.9853	0.9699	0.9510	0.9233	0.8418	0.7812	0.7295	0.7265
ABR	0.9693	0.9721	0.9948	1	0.9913	0.9775	0.9579	0.9356	0.8574	0.7966	0.7483	0.7467
MAY	0.9587	0.9607	0.9853	0.9913	1	0.9861	0.9712	0.9493	0.8739	0.8080	0.7631	0.7596
JUN	0.9431	0.9494	0.9699	0.9775	0.9861	1	0.9824	0.9583	0.8793	0.8122	0.7699	0.7692
JUL	0.9220	0.9330	0.9510	0.9579	0.9712	0.9824	1	0.9670	0.8735	0.8144	0.7573	0.7497
AGO	0.8925	0.8970	0.9233	0.9356	0.9493	0.9583	0.9670	1	0.9430	0.8914	0.8388	0.8337
SEP	0.8059	0.7968	0.8418	0.8574	0.8739	0.8793	0.8735	0.9430	1	0.9366	0.9068	0.8978
OCT	0.7359	0.7250	0.7812	0.7966	0.8080	0.8122	0.8144	0.8914	0.9366	1	0.9502	0.9334
NOV	0.6851	0.6681	0.7295	0.7483	0.7631	0.7699	0.7573	0.8388	0.9068	0.9502	1	0.9952
DIC	0.6831	0.6679	0.7265	0.7467	0.7596	0.7692	0.7497	0.8337	0.8978	0.9334	0.9952	1

Se presenta como ejemplo el llenado de los vacíos en los meses de agosto con la serie del mes de abril que tiene la quinta mejor correlación (.9356).

En este caso, para el llenado de agosto con el mes de abril, la ecuación que mejor ajusto a los datos del periodo común de dichos meses fue la polinomial de grado 2 (Figura 7.16).

$$\text{"Poli2"} \text{ C AGO} = 1.202\text{e-}01 * \text{C ABR}^2 + -4.364\text{e+}02 * \text{C ABR} + 3.980\text{e+}05$$

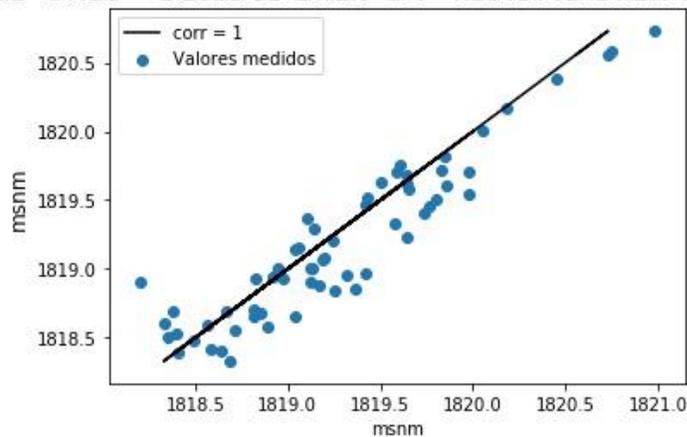


Figura 7.16. Ecuación que mejor ajusta y correlación entre valores medidos y estimados

En la Figura 7.17 se comparan los valores estimados con dicha ecuación y los valores reales del periodo común.

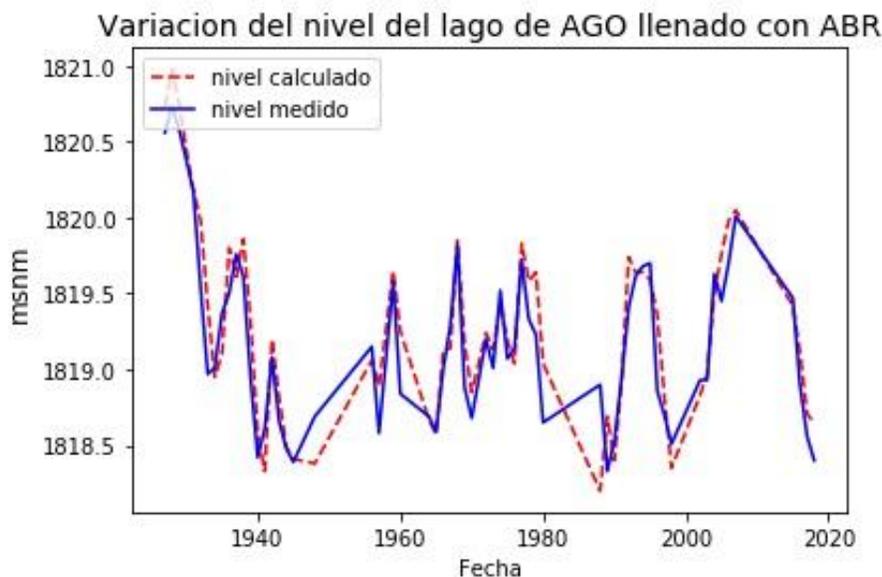


Figura 7.17. Datos medidos vs datos estimados

En el código del Anexo E se describe el proceso de llenado, el cual genera la Tabla 7.55, donde se encuentra la serie llena.

Tabla 7.55. Registro mensual de cotas del lago lleno

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1927	1820.94	1820.87	1820.81	1820.73	1820.62	1820.46	1820.40	1820.56	1820.76	1820.12	1821.21	1821.22
1928	1821.18	1821.18	1821.12	1820.98	1820.84	1820.78	1820.72	1820.73	1820.88	1821.10	1821.18	1821.12
1929	1821.04	1820.99	1820.91	1820.75	1820.59	1820.48	1820.40	1820.58	1820.82	1820.98	1820.90	1820.88
1930	1820.82	1820.73	1820.63	1820.45	1820.28	1820.18	1820.21	1820.38	1820.47	1820.41	1820.49	1820.52
1931	1820.44	1820.43	1820.35	1820.18	1820.19	1819.94	1819.95	1820.17	1820.57	1820.69	1820.54	1820.39
1932	1820.32	1820.21	1820.11	1819.98	1819.82	1819.63	1819.52	1819.54	1819.62	1819.85	1819.89	1819.80
1933	1819.74	1819.66	1819.60	1819.42	1819.26	1819.01	1818.97	1818.97	1819.13	1819.40	1819.38	1819.31
1934	1819.22	1819.17	1819.09	1818.95	1818.87	1818.85	1818.83	1819.01	1819.26	1819.47	1819.48	1819.41
1935	1819.39	1819.32	1819.23	1819.10	1818.85	1818.74	1818.97	1819.37	1819.77	1820.14	1820.17	1820.11
1936	1820.09	1820.02	1819.93	1819.80	1819.70	1819.49	1819.35	1819.50	1819.70	1819.88	1819.96	1819.93
1937	1819.86	1819.78	1819.71	1819.61	1819.46	1819.34	1819.33	1819.76	1819.90	1820.18	1820.19	1820.14
1938	1820.09	1820.02	1819.95	1819.86	1819.65	1819.50	1819.53	1819.61	1819.73	1819.86	1819.75	1819.70
1939	1819.54	1819.56	1819.46	1819.32	1819.05	1818.93	1818.90	1818.95	1819.03	1819.17	1819.07	1818.98
1940	1818.93	1818.82	1818.69	1818.58	1818.35	1818.37	1818.37	1818.42	1818.57	1818.59	1818.45	1818.40
1941	1818.37	1818.37	1818.38	1818.33	1818.31	1818.33	1818.42	1818.61	1818.79	1819.11	1819.38	1819.37
1942	1819.37	1819.32	1819.25	1819.20	1819.07	1818.94	1818.94	1819.08	1819.14	1819.23	1819.24	1819.19
1943	1819.13	1819.05	1818.95	1818.82	1818.71	1818.59	1818.66	1818.66	1818.72	1818.90	1818.84	1818.77
1944	1818.75	1818.75	1818.61	1818.49	1818.31	1818.37	1818.46	1818.48	1818.38	1818.68	1818.81	1818.77
1945	1818.70	1818.62	1818.57	1818.41	1818.31	1818.31	1818.34	1818.39	1818.50	1818.50	1818.35	1818.35
1946	1818.39	1818.36	1818.34	1818.28	1818.29	1818.26	1818.28	1818.51	1818.73	1818.51	1818.47	1818.44
1947	1818.91	1818.85	1818.81	1818.72	1818.61	1818.53	1818.54	1818.73	1818.92	1818.58	1818.44	1818.42

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1948	1818.50	1818.46	1818.44	1818.38	1818.50	1818.51	1818.55	1818.69	1818.75	1818.72	1818.62	1818.60
1949	1818.55	1818.52	1818.48	1818.50	1818.40	1818.35	1818.37	1818.58	1818.79	1818.96	1818.99	1818.94
1950	1818.81	1818.76	1818.72	1818.64	1818.53	1818.46	1818.48	1818.67	1818.38	1818.53	1818.47	1818.39
1951	1818.89	1818.83	1818.79	1818.71	1818.59	1818.52	1818.53	1818.72	1818.91	1818.53	1818.50	1818.39
1952	1818.32	1818.29	1818.28	1818.22	1818.25	1818.23	1818.25	1818.36	1818.70	1818.93	1818.86	1818.84
1953	1818.78	1818.72	1818.62	1818.44	1818.34	1818.30	1818.32	1818.54	1818.76	1818.34	1818.37	1818.35
1954	1818.29	1818.27	1818.25	1818.31	1818.22	1818.20	1818.22	1818.46	1818.40	1818.48	1818.66	1818.55
1955	1818.47	1818.37	1818.38	1818.32	1818.23	1818.21	1818.22	1818.35	1818.80	1819.19	1819.44	1819.42
1956	1819.36	1819.30	1819.22	1819.06	1818.94	1818.92	1818.98	1819.15	1819.29	1819.38	1819.28	1819.18
1957	1819.15	1819.07	1819.00	1818.89	1818.72	1818.58	1818.67	1818.58	1818.63	1818.50	1818.44	1818.45
1958	1818.56	1818.39	1818.49	1818.42	1818.33	1818.29	1818.39	1818.89	1819.32	1819.80	1820.10	1820.01
1959	1819.94	1819.86	1819.78	1819.65	1819.53	1819.39	1819.41	1819.58	1819.86	1819.77	1819.87	1819.76
1960	1819.66	1819.55	1819.40	1819.25	1819.09	1818.96	1818.78	1818.84	1818.87	1818.89	1818.83	1818.75
1961	1818.67	1818.65	1818.54	1818.46	1818.36	1818.32	1818.33	1818.58	1818.57	1818.58	1818.47	1818.37
1962	1818.96	1818.90	1818.86	1818.77	1818.66	1818.57	1818.58	1818.76	1818.95	1818.72	1818.71	1818.59
1963	1818.51	1818.54	1818.41	1818.35	1818.25	1818.23	1818.25	1818.61	1818.84	1818.84	1818.98	1818.93
1964	1818.88	1818.87	1818.76	1818.67	1818.59	1818.50	1818.58	1818.69	1818.75	1818.82	1818.71	1818.73
1965	1818.72	1818.68	1818.50	1818.57	1818.44	1818.35	1818.41	1818.59	1819.00	1819.20	1819.29	1819.24
1966	1819.18	1819.12	1819.14	1819.12	1818.98	1818.92	1818.97	1819.00	1819.28	1819.36	1819.42	1819.33
1967	1819.24	1819.34	1819.23	1819.14	1819.01	1818.98	1819.04	1819.29	1819.46	1820.04	1820.24	1820.18
1968	1820.11	1819.99	1819.93	1819.85	1819.72	1819.64	1819.64	1819.82	1819.92	1819.94	1819.88	1819.68
1969	1819.57	1819.44	1819.34	1819.17	1819.02	1818.86	1818.78	1818.88	1819.01	1819.41	1819.39	1819.32
1970	1819.22	1819.13	1819.04	1818.85	1818.66	1818.50	1818.53	1818.68	1818.81	1818.97	1819.04	1818.97
1971	1818.85	1818.76	1818.68	1818.62	1818.43	1818.38	1818.36	1818.64	1819.02	1819.25	1819.61	1819.58
1972	1819.51	1819.40	1819.33	1819.24	1819.12	1818.92	1819.12	1819.20	1819.32	1819.48	1819.45	1819.45
1973	1819.39	1819.32	1819.21	1819.13	1818.93	1818.87	1818.78	1819.01	1819.31	1819.55	1819.84	1819.76
1974	1819.70	1819.74	1819.55	1819.43	1819.32	1819.26	1819.27	1819.52	1819.63	1819.69	1819.59	1819.52
1975	1819.46	1819.42	1819.34	1819.19	1819.02	1818.93	1818.95	1819.07	1819.42	1819.63	1819.55	1819.39
1976	1819.28	1819.13	1819.07	1819.04	1819.02	1818.88	1818.81	1819.14	1819.33	1819.65	1820.25	1820.33
1977	1820.49	1820.09	1819.97	1819.83	1819.71	1819.72	1819.64	1819.72	1819.78	1819.96	1819.93	1819.85
1978	1819.80	1819.76	1819.68	1819.58	1819.43	1819.25	1819.27	1819.33	1819.56	1819.72	1820.02	1819.97
1979	1819.87	1819.81	1819.78	1819.64	1819.47	1819.31	1819.20	1819.23	1819.35	1819.38	1819.25	1819.18
1980	1819.17	1819.13	1819.15	1819.04	1818.90	1818.77	1818.68	1818.65	1818.74	1818.85	1818.96	1819.01
1981	1818.96	1818.94	1818.87	1818.77	1818.67	1818.52	1818.53	1818.60	1818.83	1819.12	1819.21	1819.15
1982	1819.06	1819.00	1818.91	1818.74	1818.59	1818.51	1818.53	1818.71	1818.91	1819.09	1819.14	1819.08
1983	1818.75	1818.70	1818.67	1818.59	1818.48	1818.42	1818.44	1818.40	1818.81	1819.04	1818.94	1818.05
1984	1818.78	1818.72	1818.61	1818.43	1818.33	1818.29	1818.46	1818.63	1818.86	1819.25	1819.19	1819.12
1985	1819.00	1818.91	1818.81	1818.66	1818.51	1818.44	1818.43	1818.57	1818.94	1819.01	1819.94	1818.87
1986	1818.82	1818.73	1818.62	1818.55	1818.44	1818.39	1818.49	1818.51	1818.61	1818.75	1818.94	1818.88
1987	1818.80	1818.71	1818.48	1818.41	1818.32	1818.28	1818.30	1818.44	1818.57	1818.64	1818.58	1818.52
1988	1818.20	1818.20	1818.20	1818.20	1818.20	1818.20	1818.20	1818.90	1819.05	1819.13	1819.11	1819.06
1989	1818.95	1818.89	1818.83	1818.69	1818.56	1818.20	1818.20	1818.33	1818.45	1818.67	1818.87	1818.70
1990	1818.55	1818.50	1818.46	1818.40	1818.34	1818.28	1818.20	1818.53	1819.78	1819.13	1819.41	1819.36
1991	1819.24	1818.17	1819.10	1818.92	1818.81	1818.62	1818.59	1818.94	1819.50	1819.88	1820.08	1819.96
1992	1819.85	1819.88	1819.80	1819.74	1819.54	1819.45	1819.39	1819.41	1819.55	1819.80	1819.98	1819.95
1993	1819.90	1819.82	1819.75	1819.64	1819.51	1819.29	1819.31	1819.62	1819.99	1820.29	1820.15	1820.00

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1994	1819.90	1819.80	1819.69	1819.64	1819.58	1819.31	1819.38	1819.68	1819.94	1820.21	1820.09	1819.96
1995	1819.88	1819.78	1819.64	1819.59	1819.54	1819.28	1819.36	1819.70	1819.98	1820.17	1820.06	1819.92
1996	1819.78	1819.65	1819.52	1819.36	1819.17	1819.02	1818.92	1818.86	1818.97	1819.08	1819.14	1819.08
1997	1819.02	1818.95	1818.84	1818.82	1818.73	1818.60	1818.60	1818.70	1818.80	1818.83	1818.78	1818.73
1998	1818.65	1818.53	1818.40	1818.35	1818.28	1818.36	1818.44	1818.51	1818.83	1819.47	1819.90	1819.83
1999	1819.74	1819.58	1819.47	1819.38	1819.30	1819.10	1819.19	1819.27	1819.53	1819.70	1819.80	1819.72
2000	1819.42	1819.34	1819.28	1819.18	1819.05	1818.57	1818.58	1818.76	1818.95	1819.14	1819.19	1819.13
2001	1819.08	1819.00	1818.90	1818.82	1818.70	1818.60	1817.85	1818.40	1818.50	1819.02	1819.06	1819.03
2002	1819.08	1819.10	1818.95	1818.83	1818.63	1818.50	1818.80	1818.93	1818.74	1819.02	1818.85	1818.77
2003	1818.78	1818.85	1819.10	1818.97	1818.92	1818.67	1818.80	1818.93	1819.26	1819.90	1820.10	1819.92
2004	1819.76	1819.71	1819.63	1819.50	1819.66	1819.74	1819.75	1819.63	1819.92	1820.16	1820.33	1820.13
2005	1820.04	1820.00	1819.89	1819.76	1819.72	1819.56	1819.53	1819.45	1819.18	1819.03	1819.10	1819.17
2006	1819.37	1819.67	1819.78	1819.98	1819.80	1819.65	1819.53	1819.70	1820.02	1820.35	1820.34	1820.29
2007	1820.22	1820.17	1820.11	1820.05	1819.94	1819.82	1819.87	1820.01	1820.23	1820.37	1820.32	1820.24
2008	1819.95	1819.47	1819.51	1819.40	1819.30	1819.15	1819.16	1819.27	1819.44	1820.78	1820.78	1820.72

7.11. Valores medios anuales de la cuenca

Como se mencionó en el capítulo 6.3, la información, hasta el momento es puntual, y para realizar el balance hídrico se requieren valores medios de la cuenca, en el caso de la precipitación y evapotranspiración; y valores medios en el lago para la evaporación.

En la Tabla 7.38, Tabla 7.41 y Tabla 7.50 se presentan los valores puntuales (precipitación, evaporación y evapotranspiración real respectivamente) que sirven para crear los mapas de comportamiento espacial por año.

La Figura 7.18, Figura 7.19, Figura 7.20 y la Tabla 7.56 se presenta a manera de ejemplo de los resultados para el año 1994. El código descrito en el Anexo E se utilizó para determinar los valores medios de la cuenca, con los métodos descritos en el capítulo 6.3.

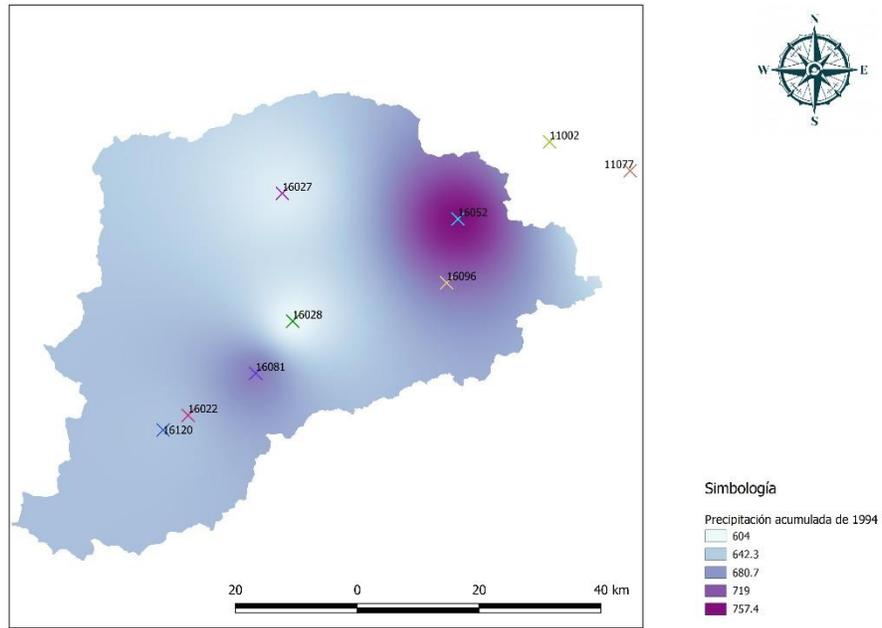


Figura 7.18. Distribución espacial de la precipitación en la cuenca para el año 1994

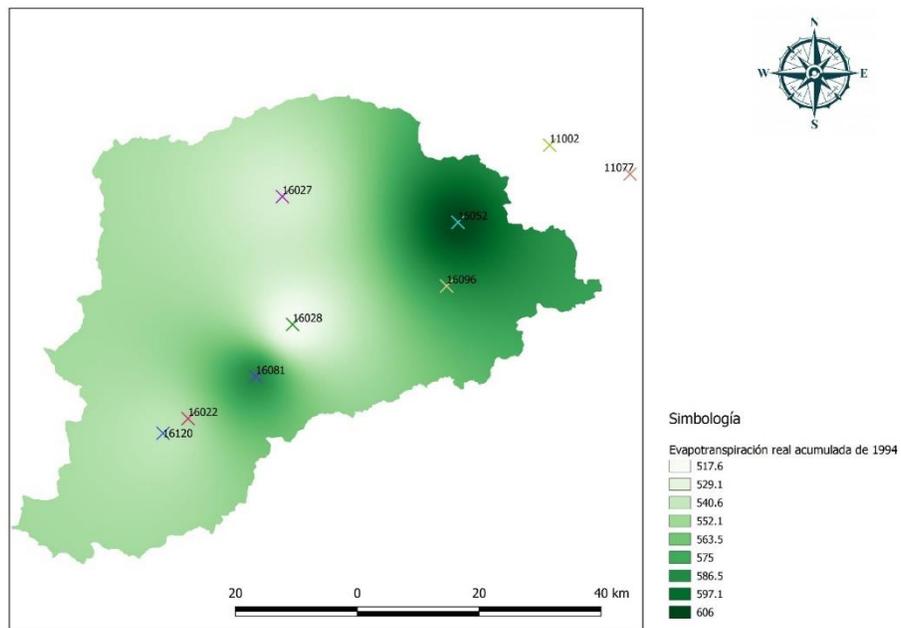


Figura 7.19. Distribución espacial de la evapotranspiración real en la cuenca para el año 1994

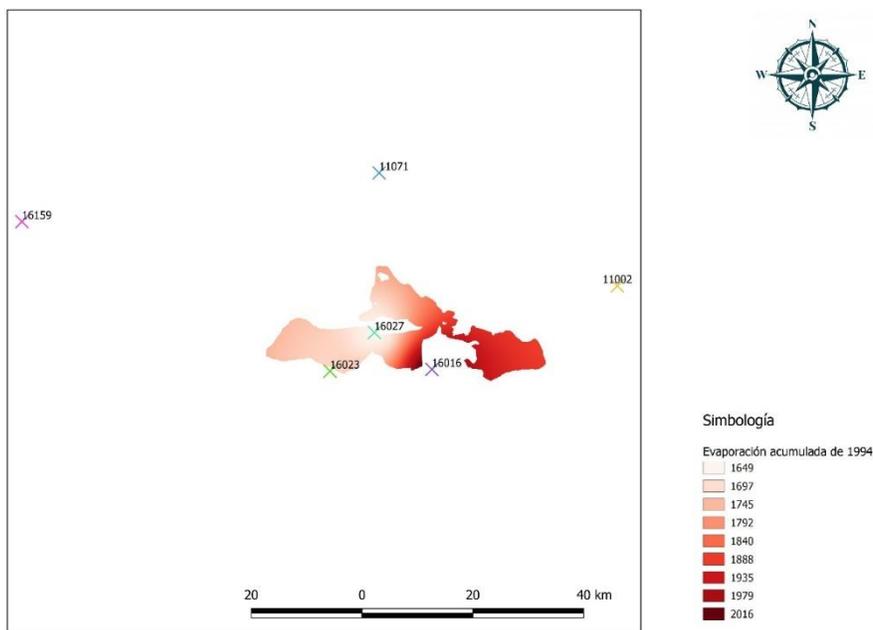


Figura 7.20. Distribución espacial de la evaporación en el lago para el año 1994

En la Tabla 7.56 se presenta el resumen de los estadísticos de los mapas anteriores, el dato que interesa es el promedio de cada una de las variables.

Tabla 7.56. Estadísticos de los mapas de distribución espacial para diferentes variables y años

Estadístico	Precipitación en la cuenca de 1994	Evapotranspiración real en la cuenca de 1994	Evaporación en el lago de 1994
Total de pixeles	19599650	19599650	25884495
Pixeles nulos	9536223	9536223	24978130
n	10063427	10063427	906365
Valor mínimo	603.958	517.326	1649
Valor máximo	757.4	605.956	2017.12
Rango	153.442	88.6301	368.12
Promedio	656.32	557.07	1795.71
Desviación estándar	27.3249	17.2149	93.8791
Varianza	746.653	296.353	8813.28
Coefficiente de variación	4.16336 %	3.09026 %	5.22798 %
Suma	6604829301.41052	5606029249.06914	1627564974.08542

En la Tabla 7.57 se presentan las series anuales de los valores medios; estas series son los valores de entrada para los modelos de balance hídrico propuestos.

Tabla 7.57. Valores medios de la cuenca

Año	Precipitación cuenca(mm)	Evaporación del lago (mm)	Evapotranspiración real de la cuenca (mm)
1940			589.29
1941	858.50		668.22
1942	600.40		521.00
1943	676.28		564.79
1944	634.50		539.15
1945	443.20		407.70
1946	589.30		513.69
1947	732.00		603.58
1948	750.40		617.67
1949	518.00		465.16
1950	684.40	2074.00	556.08
1951	647.14	2008.60	531.60
1952	824.95	2051.60	628.00
1953	641.13	1863.90	534.25
1954	751.20	1744.60	591.42
1955	753.74	1800.10	584.33
1956	751.79	1857.90	574.60
1957	590.44	1938.40	497.79
1958	1252.40	1800.80	762.57
1959	919.66	1777.00	663.39
1960	582.07	2025.00	494.15
1961	640.90	1944.40	533.12
1962	751.90	2041.70	592.41
1963	854.80	1918.40	644.14
1964	832.89	1910.30	634.91
1965	861.36	1850.70	642.84
1966	902.52	1819.90	653.84
1967	1104.20	1772.90	723.37
1968	880.17	1725.00	636.91
1969	679.60	1901.50	558.44
1970	654.29	2082.40	542.59
1971	834.65	1929.70	637.62
1972	776.05	1895.30	611.27
1973	842.21	1959.70	642.16
1974	609.15	1794.50	506.62
1975	771.64	1820.20	598.85
1976	919.27	1756.80	664.61

Año	Precipitación cuenca(mm)	Evaporación del lago (mm)	Evapotranspiración real de la cuenca (mm)
1977	724.71	1756.00	567.05
1978	895.16	1753.90	656.91
1979	590.02	1814.90	494.86
1980	796.73	1705.80	617.00
1981	765.35	1778.30	598.26
1982	467.33	2170.50	483.27
1983	725.56	2367.80	575.27
1984	716.92	2152.30	572.98
1985	767.23	2087.10	600.86
1986	671.28	1961.00	553.22
1987	588.85	2024.00	505.01
1988	764.61	2024.30	605.82
1989	591.08	2061.90	508.65
1990	907.81	2051.60	665.00
1991	834.47	1912.70	645.62
1992	917.13	1649.30	672.06
1993	776.86	1847.30	613.80
1994	656.32	1795.70	557.07
1995	865.91	1805.20	655.19
1996	617.96	1865.80	521.10
1997	664.47	1779.60	549.94
1998	882.22	2058.10	674.48
1999	677.76	1915.20	563.27
2000	627.02	1930.60	524.10
2001	794.23	1817.70	619.56
2002	920.32	1714.90	691.23
2003	869.64	1744.30	657.33
2004	894.27	1479.30	664.09
2005	639.52	1619.40	584.40
2006	740.91	1900.60	595.59
2007	754.68	1694.50	607.25
2008	1032.30	1760.30	701.98
2009	940.07	1843.20	697.39
2010	1324.80	1684.20	782.13
2011	965.22	1809.70	666.84
2012	874.72	1748.40	625.32
2013	867.06	1699.50	681.79
2014	949.38	1663.70	684.32
2015	1066.20	1560.30	677.77

7.12. Balance hídrico

El balance hídrico se realizó utilizando diferentes modelos, con la finalidad de identificar aquel con mejor ajuste a las condiciones observadas del lago.

7.12.1. Modelo para calcular aporte anual al lago (ΔV)

Con la metodología del capítulo 6.4.1, el modelo de balance hídrico (ecuación 6.11), el parámetro “a” igual a uno, el coeficiente de escurrimiento de la Tabla 7.52 y los valores de entrada para el modelo (Tabla 7.57) se estimó la cota final del lago anualmente.

El modelo requiere el área de la cuenca, para determinar el volumen de lluvia y evapotranspiración.

El periodo de modelado va del año 1950 a 1990, ya que es el periodo del que se cuenta con información climatológica. Las condiciones iniciales del lago son las correspondientes al año 1949, estas condiciones se obtuvieron con el registro mensual de las cotas del lago (Tabla 7.55) y las curvas elevación-capacidad-área (Figura 7.15), las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7.58. Condiciones iniciales del lago

Área de la cuenca (m ²)	4023609547.49
Año anterior al inicio del modelado	1949
Cota inicial (msnm)	1818.81
Área inicial del lago (m ²)	366015403.33
Volumen inicial del lago (m ³)	282769592.63

Como ya se mencionó anteriormente, los modelos descritos pueden tener errores, ya sea en la medición de variables o por la simplificación del modelo al no considerar ciertas variables.

En la Figura 7.21 se aprecia el resultado modelado comparado con los valores observados del lago (Tabla 7.55).

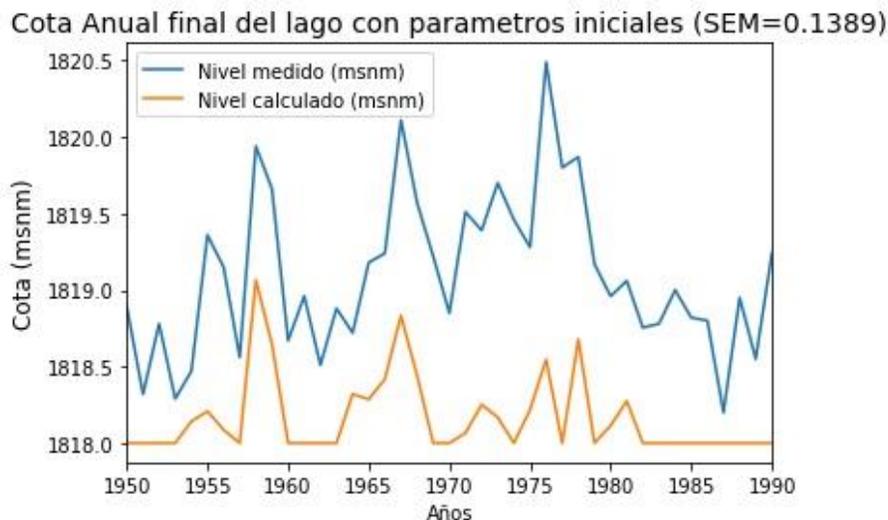


Figura 7.21. Resultados del modelo sin calibrar

Es evidente que hay un error significativo, por lo que fue necesario calibrar el modelo, comparando los resultados de éste con mediciones reales (en este caso el nivel hipsométrico del lago) y variar los parámetros hasta que los resultados del modelo fueron lo más parecido a lo que se observa físicamente.

7.13. Calibración del modelo

En este trabajo se utilizaron diferentes modelos (ecuaciones 7.11 y 7.12) y periodos de calibración con sus respectivas condiciones iniciales (Tabla 7.59), en la Tabla 7.60 se presenta la descripción de los modelos propuestos en este trabajo.

Tabla 7.59. Periodos de calibración y prueba

	Periodo	Modelo 1	Modelo 2
Calibración	Año de inicio y fin	1950 - 1990	1965 - 2007
	Cota inicial (msnm)	1818.81	1818.72
	Área inicial del lago (m ²)	366015403.33	354755555.56
	Volumen inicial del lago (m ³)	282769592.63	253905263.16
Prueba	Año de inicio y fin	1991 - 2007	1950 - 1964
	Cota inicial (msnm)	1819.24	1818.81
	Área inicial del lago (m ²)	402531818.18	366015403.33
	Volumen inicial del lago (m ³)	454000000.00	282769592.63

Tabla 7.60. Modelos propuestos

Modelo	Descripción
Ce_1	El escurrimiento se calcula a partir del coeficiente de escurrimiento (ecuación 6.11) y los periodos de calibración y prueba del modelo 1 descrito en la Tabla 7.59
Ci_1	El escurrimiento se calcula a partir del coeficiente de infiltración (ecuación 6.12) y los periodos de calibración y prueba del modelo 1 descrito en la Tabla 7.59
Ce_2	El escurrimiento se calcula a partir del coeficiente de escurrimiento (ecuación 6.11) y los periodos de calibración y prueba del modelo 2 descrito en la Tabla 7.59
Ci_2	El escurrimiento se calcula a partir del coeficiente de infiltración (ecuación 6.12) y los periodos de calibración y prueba del modelo 2 descrito en la Tabla 7.59

para calibrar los cuatro modelos anteriores se usaron los valores de las cotas medidas de CONAGUA, con los espacios vacíos previamente llenados (Tabla 7.55), como se trabajó con series anuales, se tomó la cota de enero del año siguiente como la cota final del año anterior, tal como se especificó en el capítulo 6.5.1.

En la siguiente tabla se presentan las cotas anuales con las que se calibraron los modelos.

Tabla 7.61. Cota final anual

Año	Cota final anual	Año	Cota final anual
1926	1820.94	1967	1820.11
1927	1821.18	1968	1819.57
1928	1821.04	1969	1819.22
1929	1820.82	1970	1818.85
1930	1820.44	1971	1819.51
1931	1820.32	1972	1819.39
1932	1819.74	1973	1819.70
1933	1819.22	1974	1819.46
1934	1819.39	1975	1819.28
1935	1820.09	1976	1820.49
1936	1819.86	1977	1819.80
1937	1820.09	1978	1819.87
1938	1819.54	1979	1819.17
1939	1818.93	1980	1818.96
1940	1818.37	1981	1819.06
1941	1819.37	1982	1818.75
1942	1819.13	1983	1818.78
1943	1818.75	1984	1819.00
1944	1818.70	1985	1818.82
1945	1818.39	1986	1818.80
1946	1818.91	1987	1818.20
1947	1818.50	1988	1818.95
1948	1818.55	1989	1818.55
1949	1818.81	1990	1819.24
1950	1818.89	1991	1819.85
1951	1818.32	1992	1819.90
1952	1818.78	1993	1819.90
1953	1818.29	1994	1819.88
1954	1818.47	1995	1819.78
1955	1819.36	1996	1819.02
1956	1819.15	1997	1818.65
1957	1818.56	1998	1819.74
1958	1819.94	1999	1819.42
1959	1819.66	2000	1819.08
1960	1818.67	2001	1819.08
1961	1818.96	2002	1818.78
1962	1818.51	2003	1819.76
1963	1818.88	2004	1820.04
1964	1818.72	2005	1819.37
1965	1819.18	2006	1820.22
1966	1819.24	2007	1819.95

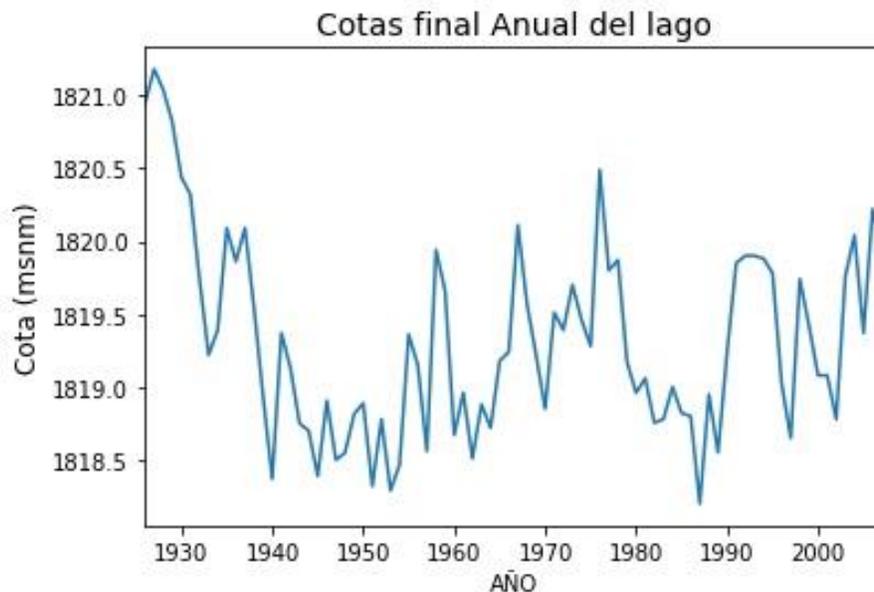


Figura 7.22. Cota final del lago por año

7.13.1. Periodo de calibración

Siguiendo la metodología descrita en el capítulo 6.5.2 se calibraron los cuatro modelos propuestos (Tabla 7.60), se utilizaron los valores medios anuales de precipitación, evaporación y evapotranspiración real (Tabla 7.57) y se propuso como coeficiente de escurrimiento “ C_e ” y coeficiente de infiltración “ C_i ” iniciales los presentados en la Tabla 7.52, y para los parámetros “ a ”, “ b ” y “ c ” su valor inicial fue igual a uno.

Con el código descrito en el Anexo E se calibraron y probaron los modelos.

A manera de ejemplo, se presenta el proceso de cálculo con el modelo que dio el menor error medio cuadrado; los demás modelos se describen en el Anexo C.

Tabla 7.62. Parámetros iniciales del periodo de calibración

Periodo	Modelo Ce_1
Año de inicio y fin	1950 - 1990
Cota inicial (msnm)	1818.814709
Área inicial del lago (m ²)	366015403.33
Volumen inicial del lago (m ³)	282769592.63
Área de la cuenca (m ²)	4023609547.49

Tabla 7.63. Serie anual del balance hídrico del periodo de calibración

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1950	684.40	2074.00	556.08	1818.89	310.61	27.84	320.21	2753.76	759.12	517.04	196.22	-86.55	1818.52
1951	647.14	2008.60	531.60	1818.32	142.68	-167.93	304.31	2603.84	643.18	488.89	173.70	-22.51	1818.43
1952	824.95	2051.60	628.00	1818.78	271.97	129.29	371.63	3319.28	624.31	623.22	300.52	126.81	1818.86
1953	641.13	1863.90	534.25	1818.29	134.30	-137.66	345.32	2579.66	692.68	484.35	234.10	-66.42	1818.65
1954	751.20	1744.60	591.42	1818.47	184.13	49.83	378.61	3022.54	602.45	567.50	322.58	88.48	1818.92
1955	753.74	1800.10	584.33	1819.36	504.80	320.67	385.19	3032.76	681.54	569.42	350.10	27.52	1818.99
1956	751.79	1857.90	574.60	1819.15	415.90	-88.90	384.99	3024.91	715.65	567.95	349.02	-1.08	1818.99
1957	590.44	1938.40	497.79	1818.56	208.04	-207.86	323.97	2375.70	746.26	446.06	201.71	-147.31	1818.54
1958	1252.40	1800.80	762.57	1819.94	741.36	533.32	434.14	5039.17	583.41	946.14	683.96	482.26	1819.80
1959	919.66	1777.00	663.39	1819.66	625.67	-115.70	440.80	3700.35	771.47	694.77	765.32	81.35	1819.99
1960	582.07	2025.00	494.15	1818.67	238.85	-386.81	409.41	2342.02	892.62	439.73	495.31	-270.01	1819.34
1961	640.90	1944.40	533.12	1818.96	337.76	98.91	384.52	2578.73	796.05	484.18	346.53	-148.78	1818.98
1962	751.90	2041.70	592.41	1818.51	194.71	-143.05	368.41	3025.35	785.08	568.03	290.33	-56.20	1818.83
1963	854.80	1918.40	644.14	1818.88	307.31	112.59	389.24	3439.38	706.75	645.77	374.14	83.82	1819.05
1964	832.89	1910.30	634.91	1818.72	253.91	-53.40	395.56	3351.22	743.57	629.22	412.13	37.99	1819.14
1965	861.36	1850.70	642.84	1819.18	428.60	174.69	406.99	3465.78	732.07	650.73	480.77	68.64	1819.30
1966	902.52	1819.90	653.84	1819.24	454.00	25.40	420.90	3631.39	740.68	681.82	573.66	92.89	1819.53
1967	1104.20	1772.90	723.37	1820.11	818.04	364.04	443.39	4442.87	746.22	834.18	814.51	240.85	1820.10
1968	880.17	1725.00	636.91	1819.57	589.41	-228.64	446.39	3541.46	764.85	664.94	871.30	56.78	1820.23
1969	679.60	1901.50	558.44	1819.22	445.53	-143.87	436.78	2734.45	848.81	513.41	709.80	-161.49	1819.87
1970	654.29	2082.40	542.59	1818.85	296.03	-149.50	407.01	2632.61	909.56	494.29	480.89	-228.92	1819.30
1971	834.65	1929.70	637.62	1819.51	565.23	269.20	408.01	3358.31	785.40	630.55	486.94	6.06	1819.32
1972	776.05	1895.30	611.27	1819.39	516.89	-48.35	403.25	3122.52	773.31	586.28	458.35	-28.60	1819.25
1973	842.21	1959.70	642.16	1819.70	641.78	124.89	404.57	3388.72	790.26	636.26	466.25	7.91	1819.27
1974	609.15	1794.50	506.62	1819.46	545.09	-96.69	385.02	2450.98	726.00	460.19	349.18	-117.07	1818.99
1975	771.64	1820.20	598.85	1819.28	470.93	-74.16	389.37	3104.78	700.81	582.95	374.89	25.71	1819.05
1976	919.27	1756.80	664.61	1820.49	989.44	518.51	414.28	3698.78	684.04	694.47	525.47	150.58	1819.41

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm ³)	ΔV medido (Hm ³)	A (Millones m ²)	V P_{re} (Hm ³)	V E_{vo} (Hm ³)	V ETR (Hm ³)	V lago calculado (Hm ³)	ΔV calculado (Hm ³)	Nivel lago calculado (msnm)
1977	724.71	1756.00	567.05	1819.80	682.07	-307.37	409.28	2915.95	727.48	547.49	494.53	-30.94	1819.34
1978	895.16	1753.90	656.91	1819.87	710.27	28.20	424.52	3601.77	717.83	676.26	600.03	105.50	1819.60
1979	590.02	1814.90	494.86	1819.17	424.37	-285.90	399.06	2374.01	770.47	445.74	433.15	-166.88	1819.19
1980	796.73	1705.80	617.00	1818.96	337.37	-87.00	409.15	3205.73	680.72	601.90	493.79	60.64	1819.33
1981	765.35	1778.30	598.26	1819.06	377.80	40.43	409.10	3079.47	727.60	578.19	493.46	-0.34	1819.33
1982	467.33	2170.50	483.27	1818.75	264.36	-113.44	279.22	1880.35	887.95	353.05	140.48	-352.98	1818.31
1983	725.56	2367.80	575.27	1818.78	271.97	7.61	296.17	2919.37	661.13	548.13	162.93	22.45	1818.39
1984	716.92	2152.30	572.98	1819.00	352.40	80.43	321.22	2884.61	637.45	541.61	197.69	34.76	1818.52
1985	767.23	2087.10	600.86	1818.82	284.76	-67.64	350.94	3087.03	670.41	579.61	244.24	46.55	1818.69
1986	671.28	1961.00	553.22	1818.80	277.99	-6.77	325.66	2700.97	688.19	507.13	204.17	-40.07	1818.55
1987	588.85	2024.00	505.01	1818.20	109.17	-168.82	267.47	2369.30	659.14	444.85	124.93	-79.25	1818.26
1988	764.61	2024.30	605.82	1818.95	333.61	224.45	361.92	3076.49	541.45	577.63	272.04	147.12	1818.78
1989	591.08	2061.90	508.65	1818.55	205.29	-128.32	267.70	2378.28	746.24	446.54	125.23	-146.81	1818.26
1990	907.81	2051.60	665.00	1819.24	454.00	248.71	389.28	3652.67	549.22	685.82	374.35	249.12	1819.05

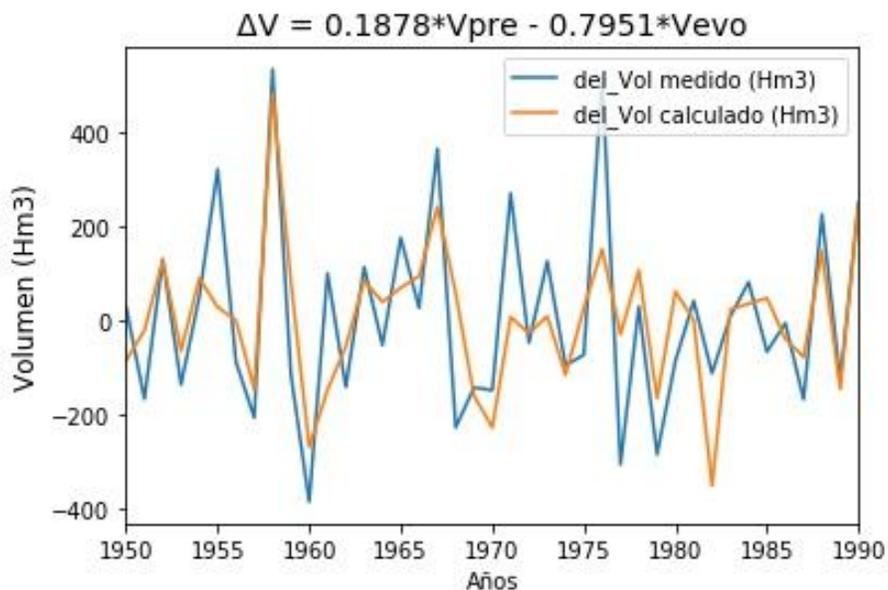


Figura 7.23. Volumen aportado anualmente del periodo de calibración

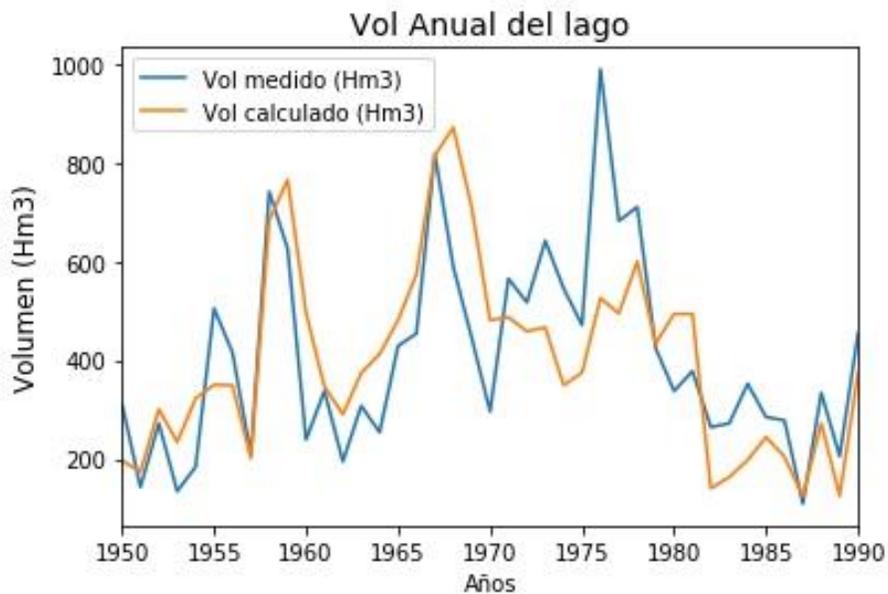


Figura 7.24. Volumen final anual del periodo de calibración

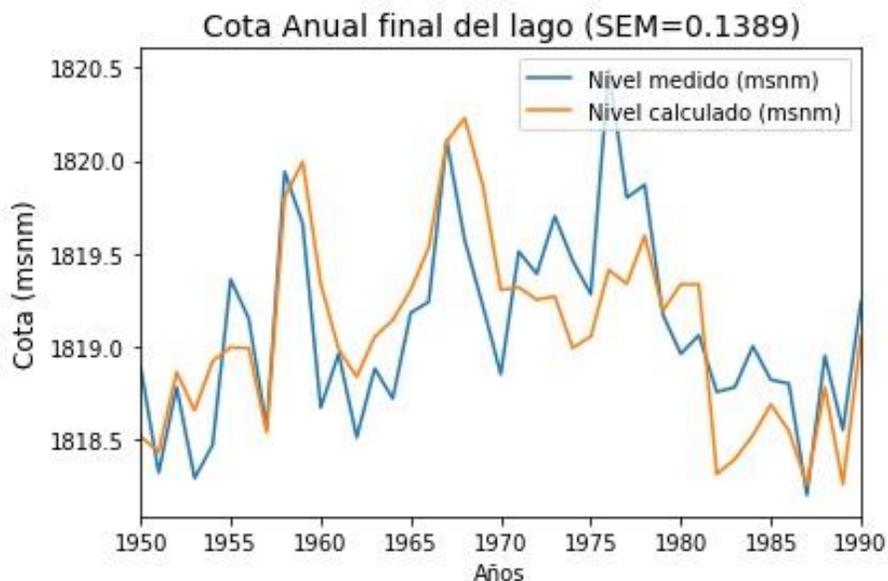


Figura 7.25. Cota final anual del lago del periodo de calibración

7.13.2. Periodo de prueba

Una vez que se encontraron los parámetros que mejor se ajustan, se realizó la prueba con dichos parámetros en el otro tramo de la serie, con lo cual se verificó que los datos estimados tuvieron el comportamiento esperado; este procedimiento se realiza utilizando la metodología del capítulo 6.4.1. A continuación, se presenta el proceso de cálculo con el mismo modelo utilizado en el periodo de calibración; los demás modelos se describen en el Anexo C.

Tabla 7.64. Parámetros iniciales del periodo de calibración

Periodo	Modelo Ce_1
Año de inicio y fin	1991 - 2007
Cota inicial (msnm)	1819.24
Área inicial del lago (m ²)	402531818.18
Volumen inicial del lago (m ³)	454000000.00
Área de la cuenca (m ²)	4023609547.49

Tabla 7.65. Serie anual del balance hídrico del periodo de prueba

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1991	834.47	1912.70	645.62	1819.85	702.21	248.21	405.57	3357.58	769.92	630.41	472.23	18.23	1819.28
1992	917.13	1649.30	672.06	1819.90	723.32	21.11	428.96	3690.17	668.90	692.86	633.23	161.00	1819.68
1993	776.86	1847.30	613.80	1819.90	723.32	0.00	423.15	3125.78	792.42	586.89	590.05	-43.18	1819.57
1994	656.32	1795.70	557.07	1819.88	714.30	-9.02	407.14	2640.78	759.85	495.83	481.70	-108.35	1819.31
1995	865.91	1805.20	655.19	1819.78	674.01	-40.29	417.85	3484.08	734.97	654.16	551.47	69.77	1819.48
1996	617.96	1865.80	521.10	1819.02	360.87	-313.14	393.28	2486.43	779.63	466.85	398.41	-153.05	1819.11
1997	664.47	1779.60	549.94	1818.65	232.83	-128.04	384.03	2673.57	699.88	501.98	343.90	-54.51	1818.98
1998	882.22	2058.10	674.48	1819.74	657.90	425.06	390.54	3549.71	790.37	666.48	381.95	38.04	1819.07
1999	677.76	1915.20	563.27	1819.42	528.97	-128.92	371.23	2727.04	747.96	512.02	299.25	-82.70	1818.86
2000	627.02	1930.60	524.10	1819.08	386.27	-142.71	324.91	2522.88	716.69	473.69	203.08	-96.17	1818.54
2001	794.23	1817.70	619.56	1819.08	386.27	0.00	382.06	3195.67	590.60	600.01	333.49	130.41	1818.95
2002	920.32	1714.90	691.23	1818.78	271.97	-114.30	411.51	3703.01	655.20	695.27	507.80	174.30	1819.37
2003	869.64	1744.30	657.33	1819.76	665.95	393.99	423.70	3499.09	717.80	656.98	594.04	86.24	1819.58
2004	894.27	1479.30	664.09	1820.04	786.47	120.51	441.11	3598.19	626.78	675.59	771.26	177.22	1820.01
2005	639.52	1619.40	584.40	1819.37	508.83	-277.64	434.39	2573.18	714.34	483.13	686.41	-84.85	1819.81
2006	740.91	1900.60	595.59	1820.22	867.66	358.83	423.10	2981.13	825.61	559.73	589.68	-96.73	1819.57
2007	754.68	1694.50	607.25	1819.95	745.87	-121.78	423.11	3036.54	716.95	570.13	589.75	0.07	1819.57

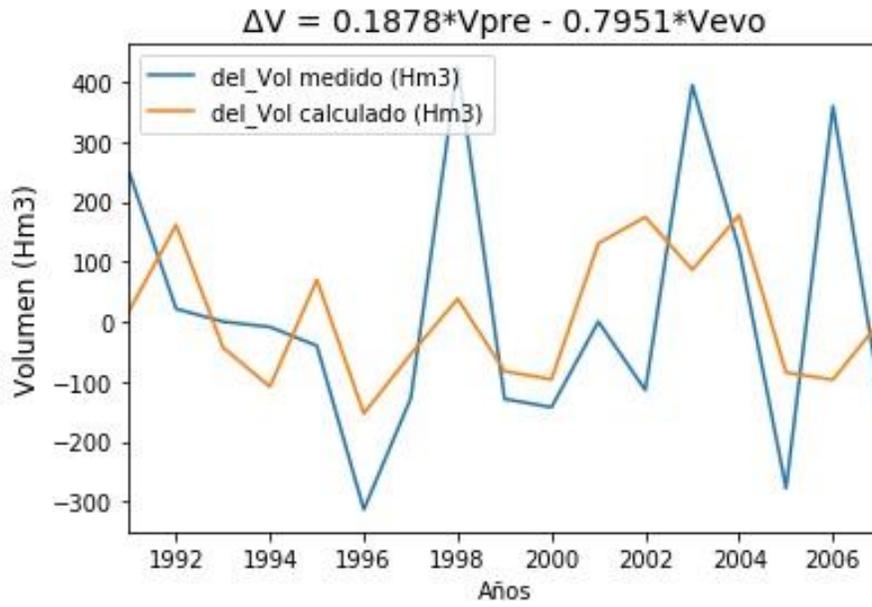


Figura 7.26. Volumen aportado anualmente del periodo de prueba

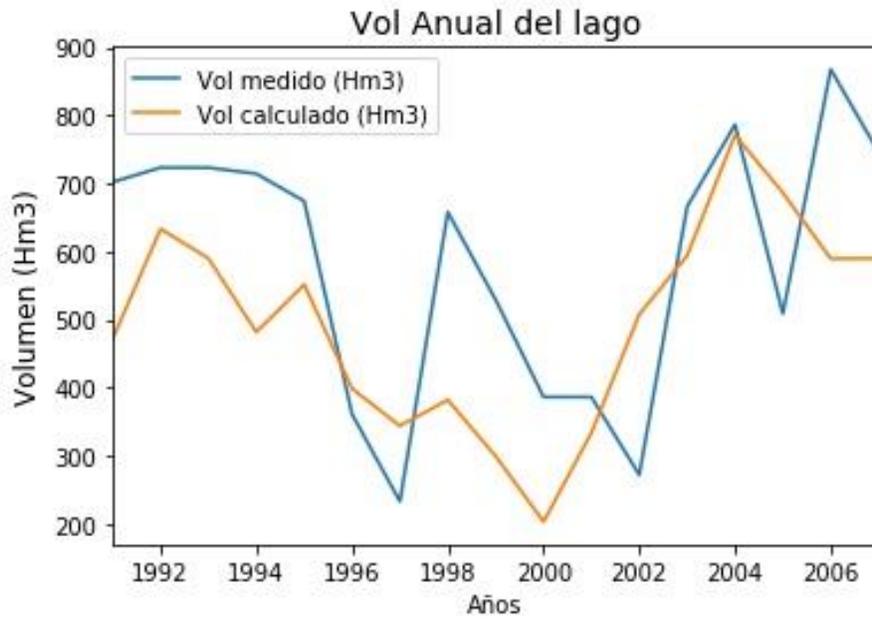


Figura 7.27. Volumen final anual del periodo de prueba

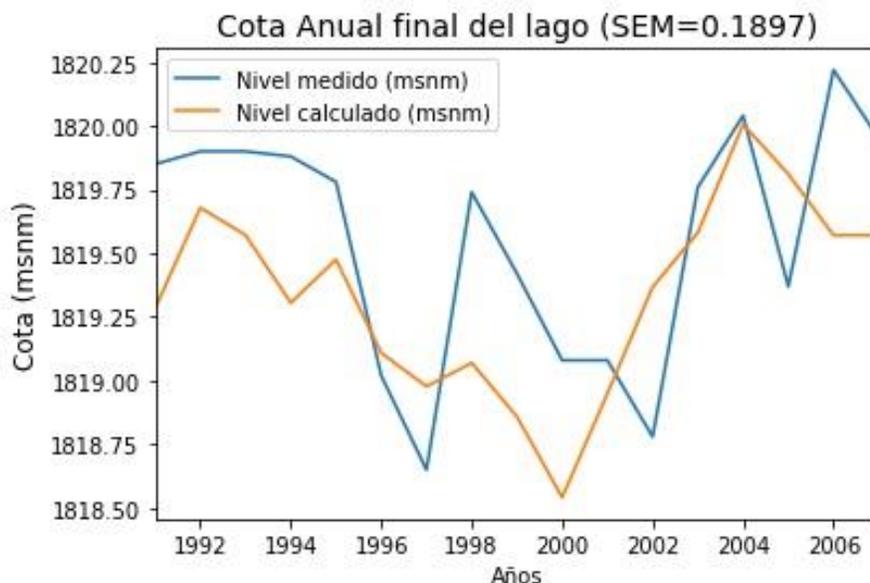


Figura 7.28. Cota final anual del lago del periodo de prueba

7.13.3. Resumen de la calibración

En la Tabla 7.66 se presentan los valores medios de las series de calibración y modelación, tanto de valores medidos como valores estimados con el modelo.

Tabla 7.66. Valores medios anuales

	Periodo de calibración	Periodo de prueba
Precipitación media de la cuenca (mm)	763.10	772.57
Evaporación media del lago (mm)	1921.33	1795.89
Evapotranspiración real media de la cuenca (mm)	591.37	611.53
Nivel medido promedio del lago (msnm)	1819.10	1819.55
Volumen medido promedio del lago (Hm ³)	407.77	584.53
ΔV promedio medido (Hm ³)	4.18	17.17
Área promedio del lago (Millones m ²)	378.37	405.04
Volumen promedio de precipitación (Hm ³)	3070.42	3108.52
Volumen promedio de evaporación (Hm ³)	722.23	723.99
Volumen promedio escurrido (Hm ³)	576.49	583.65
Volumen calculado promedio del lago (Hm ³)	401.19	495.75
ΔV promedio calculado (Hm ³)	2.23	7.99
Nivel calculado promedio del lago (msnm)	1819.08	1819.34

En la Tabla 7.67 se presenta la ecuación del balance hídrico con sus parámetros y el error medio cuadrado de la serie de calibración y prueba.

Tabla 7.67. Ecuación que mejor ajusta y EMC del periodo de calibración y prueba

ecuación	$\Delta V = C_e * V_{pre} - a * V_{evo}$
a	0.79512263
C_e	0.18775755
EMC mínimo calibración	0.13886982
EMC mínimo prueba	0.18969793

7.14. Selección del modelo que mejor se ajusta a la cuenca

Se repitió lo realizado en el capítulo 7.13 para cada uno de los modelos propuestos en la Tabla 7.60. Los errores medios cuadrados mínimos de la serie de prueba y calibración de cada uno de los modelos se presentan en la Tabla 7.68.

Tabla 7.68. Error medio cuadrado de los diferentes modelos

Modelo	EMC periodo de calibración	EMC periodo de prueba
Ce_1	.1389	.1897
Ci_1	.1388	.1934
Ce_2	.1410	.1702
Ci_2	.4345	.4172

Una vez analizados los resultados de todos los modelos, se decidió utilizar el siguiente modelo:

$$\Delta V = 0.18775755 * V_{pre} - 0.79512263 * V_{evo} \quad (7.1)$$

Donde:

ΔV = Aporte anual al lago en Hm^3

V_{pre} = Volumen de precipitación acumulado anual en Hm^3

V_{evo} = Volumen de evaporación acumulado anual en Hm^3

Este modelo fue uno de los que tuvo menor error medio cuadrado, y la gráfica de la cota calculada contra la cota medida presentó mayor similitud que el resto de los modelos, además, solo se requirieron dos variables para estimar el incremento del volumen en el lago.

Como se puede apreciar en la Figura 7.28 el modelo no estima adecuadamente los elementos de mayor o menor magnitud, sin embargo en las estimaciones, sí presenta una tendencia muy similar a las que presentan los datos reales.

Al tratarse de una cuenca pobremente monitoreada y carecer de más información para optimizar el modelo, se tiene que recurrir a modelos matemáticos, en el artículo *“Implicaciones hidrológicas del cambio de cobertura vegetal y uso de suelo: Una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del Lago de Cuitzeo, Michoacán”* (Mendoza M., 2002) se especifica que cuando se evalúa algún fenómeno hidrológico, con la aplicación de modelos en grandes áreas pobremente aforadas, sólo es posible obtener, en el mejor de los casos, una estimación de las tendencias del fenómeno modelado.

7.15. Proyección del comportamiento

Como se observa en la Figura 7.29 en varios periodos, los niveles del lago medidos por CONAGUA no se encuentran dentro de los límites recomendados, descritos en el capítulo 6.6, incluso en algunos años el lago está seco. Por consiguiente se propusieron bordos teóricos, como se indicó en el capítulo 6.6, en cada propuesta se evaluó el comportamiento del nivel del lago, las cuales se muestran a continuación. En el Anexo D se presentan las tablas resultado del modelamiento.

En el anexo E se describen los códigos utilizados para crear las curvas y hacer el balance hídrico de cada propuesta.

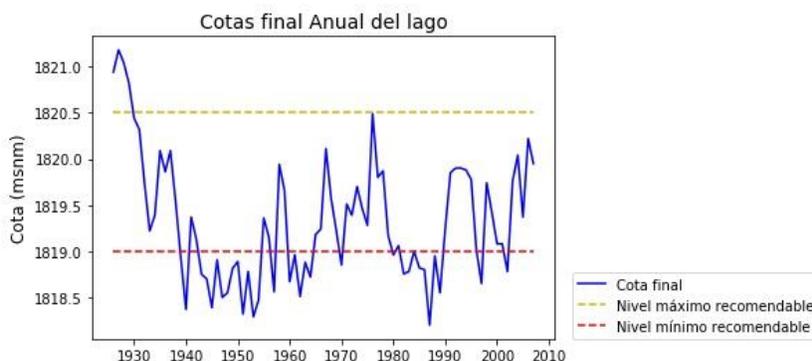


Figura 7.29. Cotas del lago y límites recomendados

7.15.1. Bordo con vertedores a 1.5 m y área de 360 km²

Se propuso un bordo que limite el crecimiento del lago a 360 km² y 1.5 m. de altura, el comportamiento del lago se ve representado en la Figura 7.30.

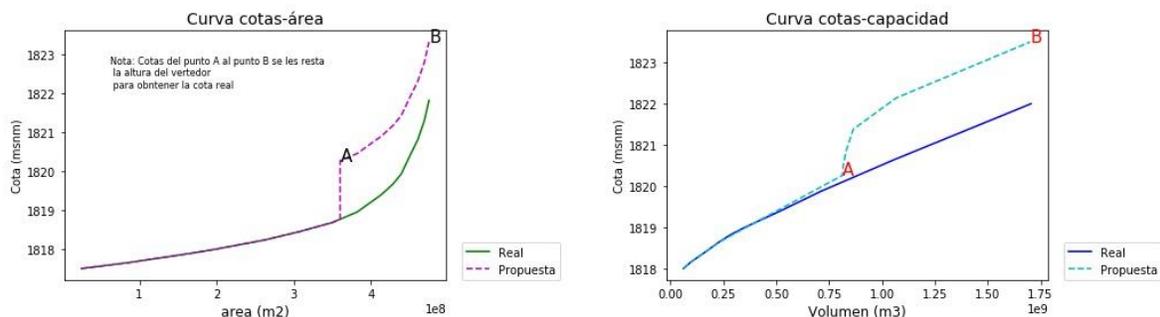


Figura 7.30. Curvas e-c-a original y propuesta 1

Nota: La cota sigue creciendo después de la altura de los vertedores, lo cual representa el desbordamiento del lago, pero físicamente la cota no aumenta; por lo que a las cotas mayores a la altura de los vertedores (A-B) se les debe restar la altura de los vertedores para tener la cota real del lago después del desbordamiento.

En la Figura 7.31 se puede comparar el nivel medido físicamente (Tabla 7.61), el nivel proyectado con el modelo (ecuación 7.1) en condiciones naturales y considerando un bordo teórico.

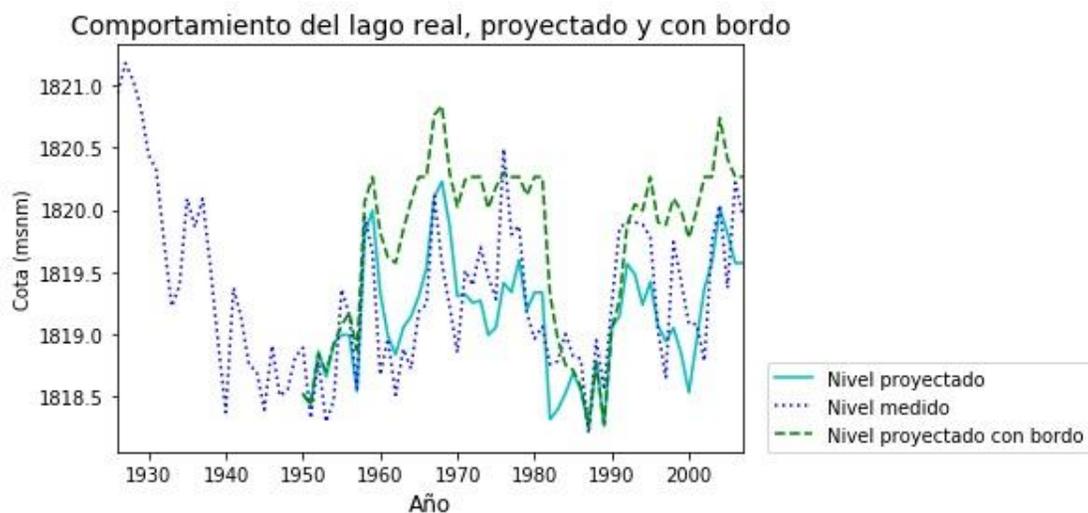


Figura 7.31. Comparación del comportamiento del lago real vs estimado 1



Figura 7.32. Proyección del comportamiento con bordo y límites recomendados 1

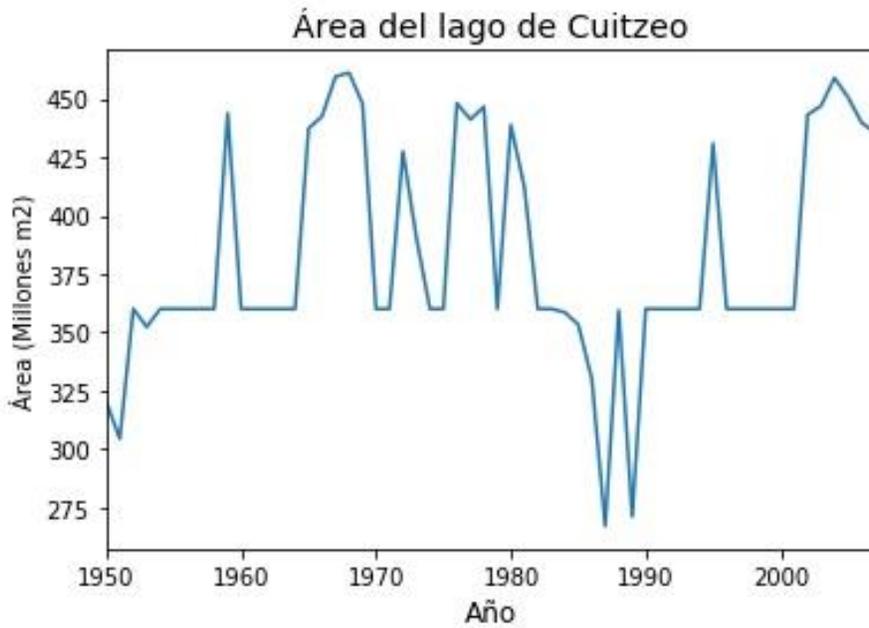


Figura 7.33. Área del lago por año (propuesta1)

7.15.2. Bordo con vertedores a 1.5 m y área de 370 km²

Se propuso un bordo que limite el crecimiento del lago a 370 km² y 1.5 m. de altura, el comportamiento del lago se ve representado en la Figura 7.34:

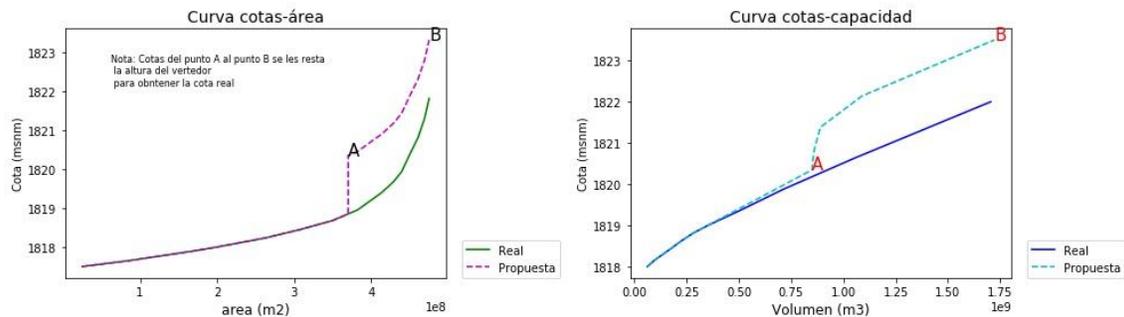


Figura 7.34. Curvas e-c-a original y propuesta 2

En la Figura 7.35 se puede comparar el nivel medido físicamente (Tabla 7.61), el nivel proyectado con el modelo (ecuación 7.1) en condiciones naturales y considerando un bordo teórico.

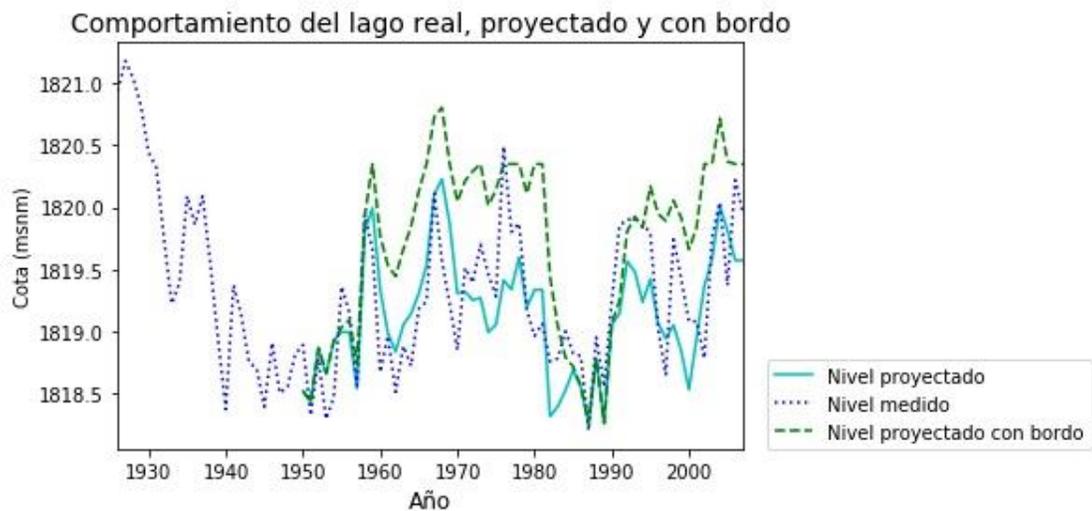


Figura 7.35. Comparación del comportamiento del lago real vs estimado 2



Figura 7.36. Proyección del comportamiento con bordo y límites recomendados 2

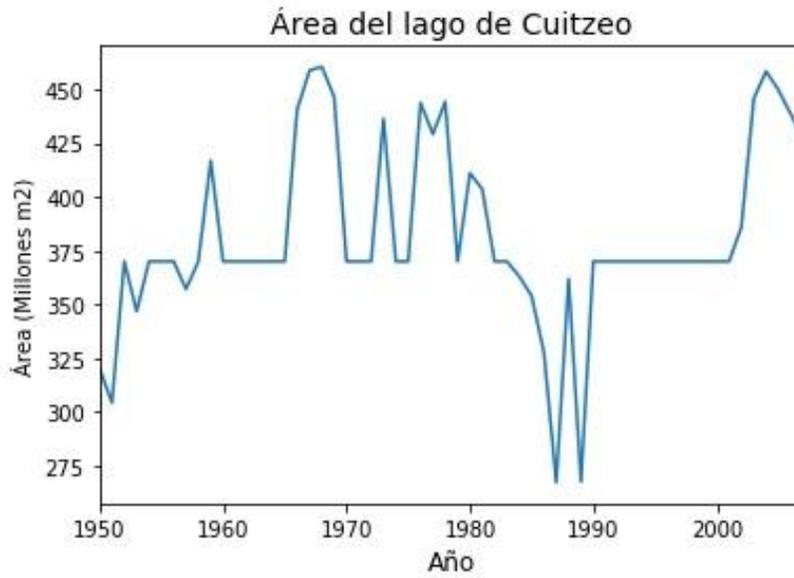


Figura 7.37. Área del lago por año (propuesta2)

7.15.3. Bordo con vertedores a 1.5 m y área de 380 km²

Se propuso un bordo que limite el crecimiento del lago a 380 km² y 1.5 m. de altura, el comportamiento del lago se ve representado en la Figura 7.38:

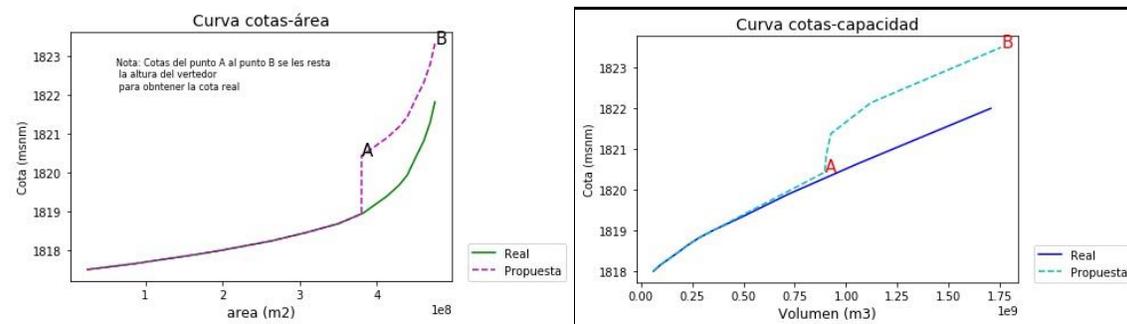


Figura 7.38. Curvas e-c-a original y propuesta 3

En la Figura 7.39 se puede comparar el nivel medido físicamente (Tabla 7.61), el nivel proyectado con el modelo (ecuación 7.1) en condiciones naturales y considerando un bordo teórico.

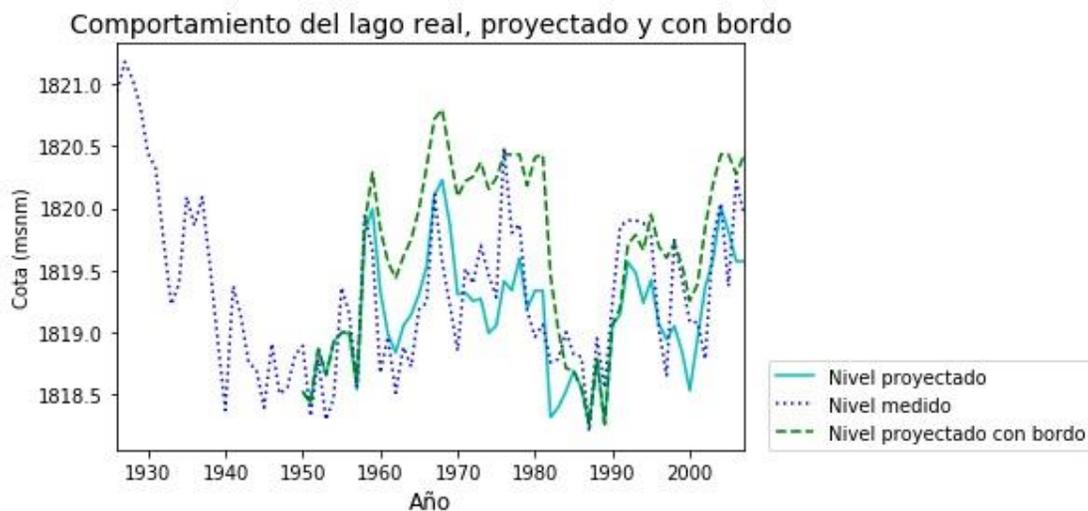


Figura 7.39. Comparación del comportamiento del lago real vs estimado 3



Figura 7.40. Proyección del comportamiento con bordo y límites recomendados 3

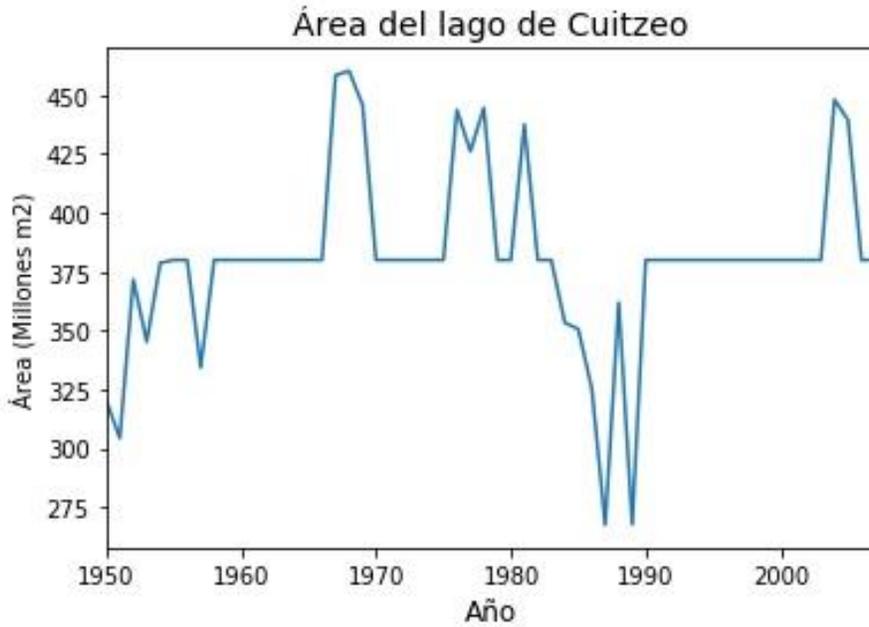


Figura 7.41. Área del lago por año (propuesta 3)

7.15.4. Bordo con vertedores a 1.5 m y área de 390 km²

Se propuso un bordo que limite el crecimiento del lago a 390 km²:y 1.5 m. de altura, el comportamiento del lago se ve representado en la Figura 7.42:

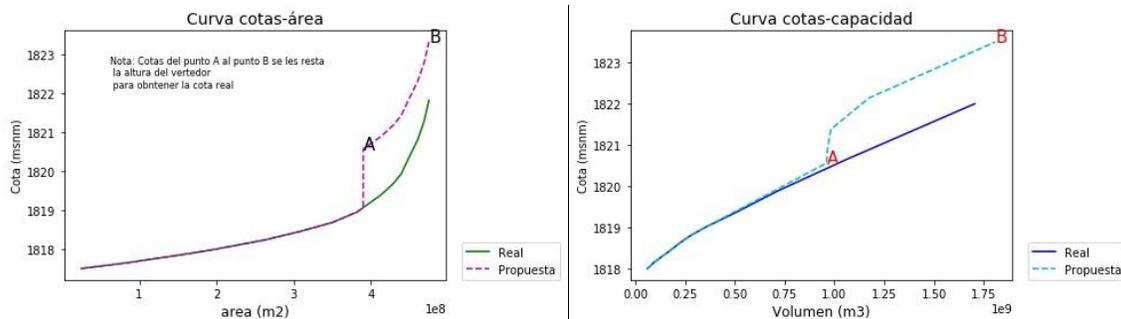


Figura 7.42. Curvas e-c-a original y propuesta 4

En la Figura 7.43 se puede comparar el nivel medido físicamente (Tabla 7.61), el nivel proyectado con el modelo (ecuación 7.1) en condiciones naturales y considerando un bordo teórico.

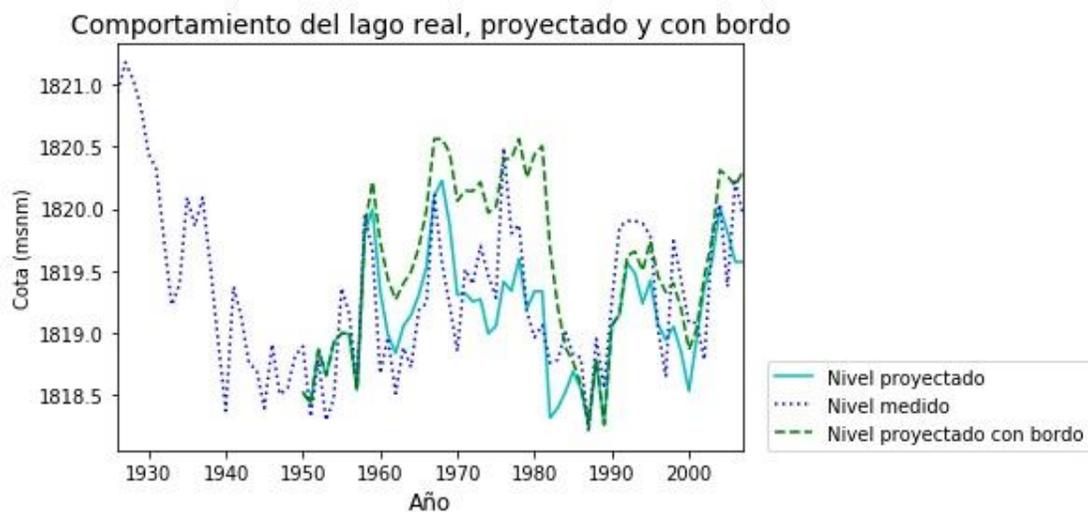


Figura 7.43. Comparación del comportamiento del lago real vs estimado 4



Figura 7.44. Proyección del comportamiento con bordo y límites recomendados 4

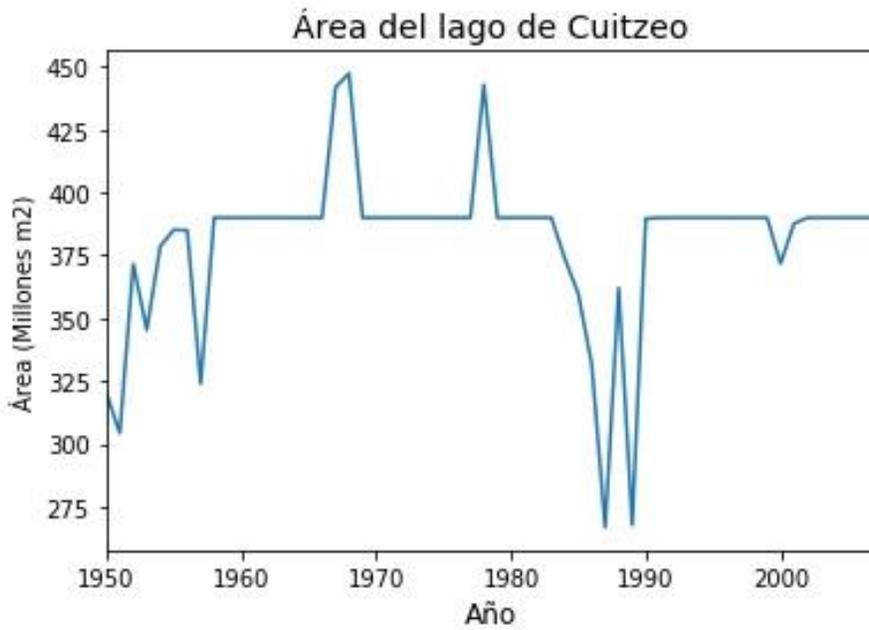


Figura 7.45. Área del lago por año (propuesta 4)

7.15.5. Selección de la mejor propuesta

A continuación, se presentan los valores medios de las series modeladas con las distintas propuestas (Tabla 7.69), y en la Tabla 7.71 se presenta la frecuencia en que el lago desborda por los vertedores y la profundidad del lago respecto a la cota media anual estimada por el modelo (ecuación 7.1).

Tabla 7.69. Valores medios de las series proyectadas

	Sin bordo	Con bordo			
		A360	A370	A380	A390
Área del lago (Millones m ²)	385.47	382.05	381.67	380.10	380.64
Volumen de precipitación (Hm ³)	3081.59	3081.59	3081.59	3081.59	3081.59
Volumen de evaporación (Hm ³)	721.02	715.13	714.80	714.42	715.18
Volumen escurrido al lago (Hm ³)	578.59	578.59	578.59	578.59	578.59
Volumen del lago (Hm ³)	424.64	657.12	642.93	621.01	578.82
Cota del lago (msnm)	1819.14	1819.73	1819.72	1819.66	1819.56

La profundidad promedio ponderada del lago se obtuvo con la Tabla 7.70, la profundidad promedio ponderada es la suma de la columna " $\Delta A \% * Profundidad$ ". En esta tabla también se puede apreciar las profundidades del lago con respecto a la cota media del lago y el área del lago que tienen como mínimo dicha profundidad. A manera de ejemplo se presenta la tabla de la profundidad ponderada para la propuesta 1, en el Anexo D se presentan las tablas de las otras propuestas.

Tabla 7.70. Profundidad ponderada de la propuesta 1

Cota	Área(Mm2)	Profundidad	Profundidad promedio por cota	ΔA	$\Delta A \%$	$\Delta A \% * Profundidad$
1817.5	25	2.23	2.23	25.00	0.07	0.16
1817.65	85.7	2.08	2.16	60.70	0.17	0.35
1817.9	170.2	1.83	2.05	84.50	0.23	0.43
1818	200	1.73	1.97	29.80	0.08	0.14
1818.23	261.9	1.50	1.88	61.90	0.17	0.26
1818.45	308.3	1.28	1.78	46.40	0.13	0.17
1818.68	350	1.05	1.68	41.70	0.12	0.12
1818.764112	360	0.97	1.59	10.00	0.03	0.03
suma						1.65

Tabla 7.71. Profundidad del lago y frecuencia de desbordamiento

	Sin bordo	Con bordo			
		A360	A370	A380	A390
Profundidad Mínima	0.19	0.97	0.87	0.72	0.49
Profundidad Promedio	0.97	1.59	1.56	1.49	1.29
Profundidad Máxima	1.64	2.23	2.22	2.16	2.06
Profundidad promedio ponderada	1.01	1.65	1.62	1.53	1.40
No. de veces que la cota es mayor a los vertedores	-	6	4	2	0
No. de veces que la cota es igual a los vertedores	-	14	13	7	3
No. de veces que la cota es menor a los vertedores	-	38	41	49	55

Con la existencia de un bordo que reduzca el área de evaporación del lago a 360 km², el nivel se estabiliza; ya que se logra minimizar el número de años que el lago se encuentra debajo de la cota mínima recomendable (Figura 7.32), además la profundidad media del lago aumento en comparación a la profundidad media sin bordo (Tabla 7.71), y en la Tabla 7.70 se aprecia que en 200 km² del lago se mantiene una profundidad de al menos 1.73 m y una profundidad promedio de 1.97 m; y en 360 km² la profundidad es al menos .97 m y una profundidad promedio de 1.59 m.

8. Propuestas y conclusiones

Con la finalidad de estabilizar el lago de Cuitzeo se propone la reducción de área de evaporación mediante un bordo, de tal forma que se garantice un nivel adecuado para la pesca en al menos 360 km², además, se proponen vertedores a 1.5 metros de altura, ya que, en periodos de años lluviosos el nivel del lago podría rebasar el bordo e inundar todo el vaso del lago.

Con el bordo propuesto el lago mantendría una profundidad promedio de 1.65 m y una profundidad mínima de 0.97 m, en contraste, estos niveles sin bordo son de 1.01 m y 0.19 m respectivamente.

Con esta propuesta el modelo nos señala que, durante un periodo de 58 años, 38 veces el nivel del lago es menor a la cota de los vertedores y 20 veces el nivel es igual o mayor a la cota de los vertedores, por lo que el lago tendería a recuperar su área natural de inundación.

Las partes norte y poniente del lago son las más someras, por lo que su tendencia a secarse es mayor, de tal manera que se propone que la reducción de área de evaporación sea en estas partes.

La primera opción sería confinar la parte norte del lago con un bordo, dicho bordo tendría una longitud aproximada de 10 km y reduciría un área de evaporación de 41 km² (Figura 8.1), del área máxima de inundación del lago que es de 424 km² (según se aprecia en GOOGLE EARTH y promedio de varios estudios consultados).

La segunda opción es confinar una parte del vaso poniente del lago como se muestra en la Figura 8.1, el bordo iría de Santa Rita a Capacho con una longitud de 6.9 km y reduciría un área de evaporación de 47 km². Si se tomara esta opción, sería necesario encauzar el río Chucándiro y el arroyo Colorado para que desemboquen directamente dentro del bordo propuesto.

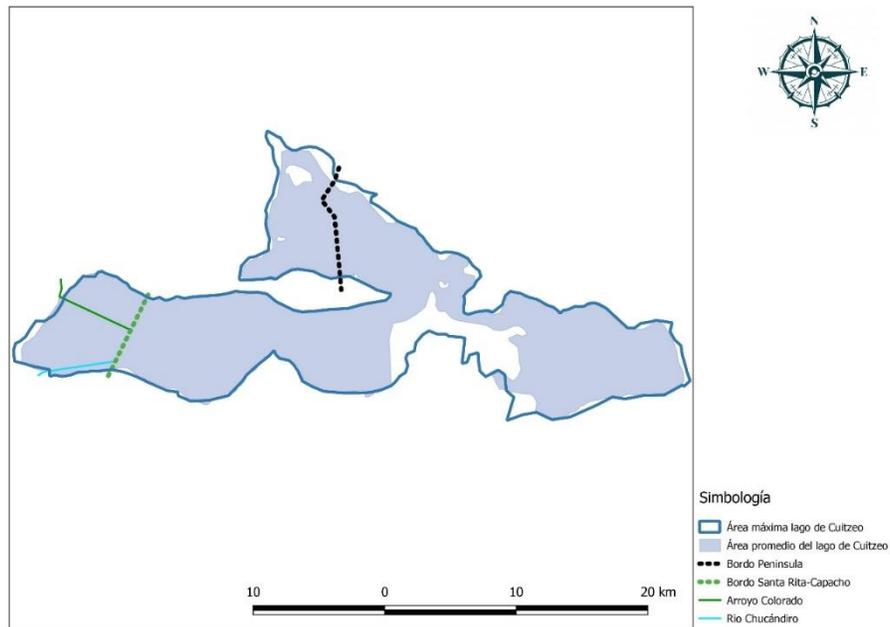


Figura 8.1. Propuestas de bordos para estabilizar el nivel del lago de Cuitzeo

Las pruebas de homogeneidad y tendencia muestran que, en prácticamente todas las estaciones, las series son “no estacionarias” y no muestran tendencia significativa, por lo que es recomendable utilizar hidrología estocástica para estimar eventos de diseño.

La estabilidad del lago de Cuitzeo es de suma importancia para la cuenca, ya que contribuye a regular el clima, brinda sustento y hábitat a diversas especies vegetales y animales, además de contribuir a la economía de miles de familias.

La fauna del lago de Cuitzeo da sustento a 800 pescadores y sus familias, los pescadores extraen mojarra, tilapia, charales, rana y especies asociadas como la carpa dorada, la carpa común. (García Vega D., 2016)

Al mantener las condiciones del lago estables, miles de familias tienen una fuente de trabajo segura, por lo que la tasa de migración podría disminuir considerablemente; además, se reduciría el número y la magnitud de tolvaneras y, se mejorarían las condiciones ambientales para el arribo de aves migratorias. Con los beneficios anteriormente mencionados, se puede establecer que las enfermedades respiratorias en la zona poniente del lago, pueden disminuir considerablemente y, que la actividad turística se vería ampliamente favorecida.

El presente documento puede servir de base para futuros trabajos en la región, ya que se realizó la delimitación de regiones homogéneas de precipitación, evaporación, temperatura máxima y mínima y, el llenado de los espacios vacíos en los registros diarios de las variables utilizadas. Esta información es de gran importancia, para posteriores estudios que se realicen en la cuenca. Además, en las regiones homogéneas de variables climatológicas delimitadas, es posible aplicar técnicas regionales (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2002) y, así reducir el error en estimaciones hidrológicas en la zona de estudio.

El modelo calibrado para este trabajo es una herramienta muy útil para el manejo de los recursos hídricos de la cuenca del lago de Cuitzeo; porque se puede utilizar para modelar, evaluar y analizar diversas propuestas y su respuesta en el lago, y así seleccionar la propuesta óptima para mejorar las condiciones productivas, sociales y ambientales del lago de Cuitzeo.

Las limitantes en este trabajo es la falta de información topográfica de calidad, por lo que, se recomienda realizar un estudio topográfico del vaso del lago de Cuitzeo, con el fin de actualizar las curvas elevación-capacidad-área del lago; y así el modelo sea más acercado a la realidad.

El bordo teórico se propuso sobre una curva de nivel, esto con fines prácticos de cálculo, pero si se construyera un bordo no se haría de esta forma, ya que resultaría muy costoso e impráctico, el bordo se construiría de un punto A a un punto B confinando una parte del área del lago, esta área confinada debe ser equivalente a el área de reducción estimada con el modelo.

La propuesta de reducción del área de evaporación es en las áreas más someras que son los vasos oeste y norte; esta reducción sería de 41 a 47 km² aproximadamente, lo que corresponde al 10% del área total del lago; con esta reducción el resto del lago (90 %) se mantendría en un nivel estable en años secos. Y en años húmedos, si el nivel excede la capacidad del bordo este desbordaría por los vertedores para recuperar el área natural del lago.

Por lo que es importante aclarar que no se está quitando área al lago, simplemente se reduce área de evaporación, para que el nivel se comporte adecuadamente en años secos y evitar que el lago se seque por completo en dichos años, mientras que en años húmedos el nivel crecerá y recuperaría el área natural del lago.

Finalmente, el lago presenta muchos problemas como lo son: la contaminación, desecación, reducción de la flora y fauna, etc. En el presente trabajo se dan propuestas para solucionar el problema de la desecación, sin embargo, el resto de los problemas seguirían presentes. Este trabajo podría

complementarse con otras propuestas (algunas fueron citadas en el capítulo 2), con el fin de solucionar los problemas presentes en el lago de Cuitzeo.

Bibliografía

- Acosta A., A. L. (2012). Ordenamiento ecológico territorial de la Cuenca del Lago de Cuitzeo. *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*, 309.
- Barajas Mendoza, G. A. (2012). Programa de rehabilitación y mantenimiento del Lago de Cuitzeo. *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*, 279.
- Barboza Ornelas, F. J. (2012). Planta potabilizadora de Morelia, Michoacán. *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*, 263.
- Belén Gallego, E. (2011). *Análisis de la evaporación en embalses de riego y su reducción con cobertura de sombreo*. Cartagena, Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Biodiversidad, C. N. (11 de Marzo de 2019). *CONABIO*. Obtenido de CONABIO:
<https://www.gob.mx/conabio>
- Bocco G., L. G. (2012). La investigación ambiental en la cuenca del lago de Cuitzeo: Una revisión de la bibliografía publicada. *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*, 317.
- Bravo E. M., B. C. (2008). *La cuenca del Lago de Cuitzeo: Problemática, perspectiva y retos hacia su desarrollo sostenible*. Morelia, Michoacán: Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Michoacán (COECYT).
- Bravo-Espinosa, M. M.-O.-B.-R. (2012). La erosión en cárcavas en la subcuenca de Cointzio, Michoacán: Características, impacto y control. *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*, 187.
- Campos Aranda, D. F. (1994). Aplicación del método de índice de crecientes en la región hidrológica número 10, Sinaloa. *Ingeniería Hidráulica en México Vol. IX Núm. 3*, 41-55.
- Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas (CEAC), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2009). *Plan de gestión integral de los recursos naturales de la Cuenca del Lago de Cuitzeo*. Cuitzeo del Porvenir, Michoacan.
- Comisión Nacional del Agua. (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Morelia-Queréndaro(1602), Estado de Michoacán*. Ciudad de México: Diario oficial de la Federación.

- CONAGUA. (20 de Enero de 2019). *BANDAS*. Obtenido de BANDAS:
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>
- Di Leo Margherita, D. S. (2013). *An Open-Source Approach for Catchment's Physiographic Characterization, Abstract H52E-06 presented at 2013 Fall Meeting, AGU*. San Francisco, CA, USA. Obtenido de An Open-Source Approach for Catchment's Physiographic Characterization.
- Escalante Sandoval, C., & Reyes Chávez, L. (2002). *Técnicas estadísticas en hidrología*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
- García Vega D., R. V. (2016). *La importancia socio-ambiental de la Cuenca del Lago de Cuitzeo: consideraciones sociales, económicas y ambientales*. Morelia, Michoacán: Ciencia Nicolaita #68.
- González Terrazas, D. I. (2012). Uso de técnicas multicriterio para la gestión de recursos y aplicación de políticas ambientales en la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán. *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*, 301.
- INEGI. (11 de Marzo de 2019). *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática: <https://www.inegi.org.mx>
- Martínez Heras, J. (24 de Mayo de 2020). *IArtificial.net*. Obtenido de Error Cuadrático Medio para Regresión: <https://iartificial.net/error-cuadratico-medio-para-regresion/>
- Méndez de Martínez, Y. M. (2012). El enfoque de sistemas complejos coevolutivos como marco referencial para el manejo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo. *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*, 293.
- Mendoza M., B. G. (2002). Implicaciones hidrológicas del cambio de cobertura vegetal y uso de suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del Lago de Cuitzeo, Michoacán. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 92-117.
- OSGeo Project. (6 de Marzo de 2020). *GRASS GIS*. Obtenido de GRASS GIS: <https://grass.osgeo.org/>
- OSGEO Project. (20 de Marzo de 2020). *QGIS*. Obtenido de QGIS: <https://www.qgis.org/en/site/>
- Rodríguez Castro, J. A. (2012). Simulación del impactode las descargas de agua residual en el rio grande de Morelia. *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*, 177.
- Rodríguez-Castro, J. A.-C.-A. (2012). Simulación hidrológica en la cuenca del lago de Cuitzeo, con apoyo de un sistema de información geográfica. *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*, 225.

- Rossum, G. v. (15 de 10 de 2019). *python*. Obtenido de python: <https://www.python.org/>
- Sáenz Reyes, J. T. (2012). Áreas potenciales para plantaciones forestales comerciales en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán. *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*, 269.
- Sánchez San Román, F. J. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Salamanca, España: Createspace Independent Pub.
- SciPy.org. (20 de enero de 2020). *scipy.optimize.curve_fit*. Obtenido de [scipy.optimize.curve_fit](https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.curve_fit.html): https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.curve_fit.html
- Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. (2015). *NOM-011-CONAGUA-2015*. Ciudad de México: Diario oficial de la federación.
- Servicio Meteorológico Nacional. (15 de Agosto de 2019). *CLICOM*. Obtenido de CLICOM: <http://clicom-mex.cicese.mx/>
- Shapiro, M. (13 de 04 de 2020). *GRASS GIS manual (v.surf.idw)*. Obtenido de <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/v.surf.idw.html>
- Sistemas hidráulicos y ambientales S. d. (1986). *Estudio para el diagnóstico del funcionamiento hidráulico y planteamiento de acciones para mejorar la calidad del agua en el Lago de Cuitzeo*. Morelia, Michoacán.
- Sokolov A.A., C. T. (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico*. Madrid, España: Unesco.
- Trueba Regalado, R. (2019). *Valoración socioeconómica de las externalidades negativas en salud para la región oeste del lago de Cuitzeo*. Morelia, Michoacán: UMSNH-ININEE.
- Vargas Uriel, G. M. (2012). Perspectiva de solución a los problemas ambientales de la Cuenca del Lago de Cuitzeo. *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*, 235.

Anexos

A. Pruebas de homogeneidad y tendencia

Siguiendo la metodología del capítulo 5.1 se determinó la homogeneidad de las series anuales de cada una de las variables climatológicas.

- Prueba de Pettit

Tabla A.1. Prueba de Pettit para precipitación acumulada anual

Estación	Xk_{max}	$Xk_{critico}$	Pettit
11002	235	361.4	Homogénea
11077	104	92	No homogénea
16022	402	149	No homogénea
16027	432	361.4	No homogénea
16028	562	361.4	No homogénea
16052	353	440.3	Homogénea
16081	187	361.4	Homogénea
16096	284	143	No homogénea
16120	149	329.8	Homogénea

Tabla A.2. Prueba de Pettit para temperatura máxima anual

Estación	Xk_{max}	$Xk_{critico}$	Pettit
11002	1308	449.8	No homogénea
11077	911	97	No homogénea
16022	847	449.8	No homogénea
16027	821	377.2	No homogénea
16028	694	449.8	No homogénea
16052	564	449.8	No homogénea
16081	300	449.8	Homogénea
16096	888	282.4	No homogénea
16120	754	449.8	No homogénea

Tabla A.3. Prueba de Pettit para temperatura mínima anual

Estación	Xk_{\max}	$Xk_{\text{crítico}}$	Pettit
11002	769	361.4	No homogénea
11077	415	361.4	No homogénea
16022	682	361.4	No homogénea
16027	680	361.4	No homogénea
16028	627	361.4	No homogénea
16052	375	449.8	Homogénea
16081	917	361.4	No homogénea
16096	573	361.4	No homogénea
16120	524	361.4	No homogénea

Tabla A.4. Prueba de Pettit para evaporación acumulada anual

Estación	Xk_{\max}	$Xk_{\text{crítico}}$	Pettit
11002	114	102	No homogénea
11071	600	274.5	No homogénea
16016	374	207.8	No homogénea
16023	287	207.8	No homogénea
16027	281	290.3	Homogénea
16159	229	92	No homogénea

- Prueba normal estándar

Tabla A.5. Prueba normal estándar para precipitación acumulada anual

Estación	TK_{\max}	$T_{\text{crítico}}$	Normal estándar
11002	2.84	8.73	Homogénea
11077	3.33	7.44	Homogénea
16022	20.33	7.97	No homogénea
16027	26.42	8.73	No homogénea
16028	7.32	8.73	Homogénea
16052	5.69	8.86	Homogénea
16081	5.08	8.73	Homogénea
16096	34.81	7.92	No homogénea
16120	1.43	8.66	Homogénea

Tabla A.6. Prueba normal estándar para temperatura máxima anual

Estación	TK _{max}	T _{critico}	Normal estándar
11002	30.96	8.87	No homogénea
11077	20.19	7.51	No homogénea
16022	18.81	8.87	No homogénea
16027	19.67	8.765	No homogénea
16028	29.48	8.87	No homogénea
16052	4.83	8.87	Homogénea
16081	11.40	8.87	No homogénea
16096	18.20	8.555	No homogénea
16120	10.97	8.87	No homogénea

Tabla A.7. Prueba normal estándar para temperatura mínima anual

Estación	TK _{max}	T _{critico}	Normal estándar
11002	15.13	8.73	No homogénea
11077	11.78	8.73	No homogénea
16022	8.86	8.73	No homogénea
16027	18.89	8.73	No homogénea
16028	15.29	8.73	No homogénea
16052	6.64	8.87	Homogénea
16081	27.33	8.73	No homogénea
16096	17.24	8.73	No homogénea
16120	23.79	8.73	No homogénea

Tabla A.8. Prueba normal estándar para evaporación acumulada anual

Estación	TK _{max}	T _{critico}	Normal estándar
11002	9.96	7.58	No homogénea
11071	25.01	8.54	No homogénea
16016	7.77	8.31	Homogénea
16023	10.89	8.31	No homogénea
16027	11.90	8.57	No homogénea
16159	9.08	7.44	No homogénea

- Prueba de Buishand

Tabla A.9. Prueba de Buishand para precipitación acumulada anual

Estación	Q/n.5	Qcrítico	Buishand
11002	0.71	1.28	Homogénea
11077	0.88	1.23	Homogénea
16022	0.60	1.25	Homogénea
16027	1.49	1.28	No homogénea
16028	1.68	1.28	No homogénea
16052	1.29	1.28	No homogénea
16081	1.18	1.28	Homogénea
16096	0.78	1.25	Homogénea
16120	1.45	1.27	No homogénea

Tabla A.10. Prueba de Buishand para temperatura máxima anual

Estación	Q/n.5	Qcrítico	Buishand
11002	2.76	1.28	No homogénea
11077	1.99	1.24	No homogénea
16022	2.18	1.28	No homogénea
16027	1.19	1.28	Homogénea
16028	2.04	1.28	No homogénea
16052	2.05	1.28	No homogénea
16081	0.89	1.28	Homogénea
16096	1.01	1.27	Homogénea
16120	2.12	1.28	No homogénea

Tabla A.11. Prueba de Buishand para temperatura mínima anual

Estación	Q/n.5	Qcrítico	Buishand
11002	1.79	1.28	No homogénea
11077	1.31	1.28	No homogénea
16022	1.44	1.28	No homogénea
16027	1.99	1.28	No homogénea
16028	1.44	1.28	No homogénea
16052	0.83	1.28	Homogénea
16081	2.54	1.28	No homogénea
16096	1.56	1.28	No homogénea
16120	1.90	1.28	No homogénea

Tabla A.12. Prueba de Buishand para evaporación acumulada anual

Estación	Q/n.5	Qcrítico	Buishand
11002	1.30	1.24	No homogénea
11071	2.38	1.27	No homogénea
16016	1.55	1.27	No homogénea
16023	1.39	1.27	No homogénea
16027	1.05	1.27	Homogénea
16159	0.95	1.23	Homogénea

- Prueba de Van Newman

Tabla A.13. Prueba de Van Newman para precipitación acumulada anual

Estación	N	Nc	Van Newman
11002	1.98	1.60	Homogénea
11077	2.37	1.38	Homogénea
16022	1.92	1.47	Homogénea
16027	1.34	1.60	No homogénea
16028	0.79	1.60	No homogénea
16052	1.54	1.62	No homogénea
16081	1.78	1.60	Homogénea
16096	2.01	1.46	Homogénea
16120	0.97	1.58	No homogénea

Tabla A.14. Prueba de Van Newman para temperatura máxima anual

Estación	N	Nc	Van Newman
11002	1.17	1.62	No homogénea
11077	0.72	1.40	No homogénea
16022	0.92	1.62	No homogénea
16027	1.98	1.60	Homogénea
16028	1.09	1.62	No homogénea
16052	0.94	1.62	No homogénea
16081	1.57	1.62	No homogénea
16096	1.12	1.56	No homogénea
16120	1.10	1.62	No homogénea

Tabla A.15. Prueba de Van Newman para temperatura mínima anual

Estación	N	N _C	Van Newman
11002	1.40	1.60	No homogénea
11077	1.12	1.60	No homogénea
16022	1.94	1.60	Homogénea
16027	1.32	1.60	No homogénea
16028	0.66	1.60	No homogénea
16052	1.39	1.62	No homogénea
16081	1.16	1.60	No homogénea
16096	1.60	1.60	Homogénea
16120	0.76	1.60	No homogénea

Tabla A.16. Prueba de Van Newman para evaporación acumulada anual

Estación	N	N _C	Van Newman
11002	0.91	1.41	No homogénea
11071	0.48	1.56	No homogénea
16016	0.66	1.52	No homogénea
16023	0.98	1.52	No homogénea
16027	0.56	1.56	No homogénea
16159	1.03	1.38	No homogénea

- Estadístico de Fisher

Tabla A.17. Prueba de Fisher para precipitación acumulada anual

Estación	F _i	F	Fisher
11002	1.58	1.87	Homogénea
11077		2.81	No homogénea
16022	2.06	2.34	Homogénea
16027	0.54	1.87	Homogénea
16028	0.62	1.87	Homogénea
16052	1.20	1.81	Homogénea
16081	0.95	1.87	Homogénea
16096	3.92	2.36	No homogénea
16120	0.39	1.90	Homogénea

Tabla A.18. Prueba de Fisher para temperatura máxima anual

Estación	F_t	F	Fisher
11002	0.76	1.80	Homogénea
11077	1.81	2.71	Homogénea
16022	0.36	1.80	Homogénea
16027	0.32	1.85	Homogénea
16028	0.23	1.80	Homogénea
16052	1.91	1.80	No homogénea
16081	0.98	1.80	Homogénea
16096	1.44	1.96	Homogénea
16120	0.84	1.80	Homogénea

Tabla A.19. Prueba de Fisher para temperatura mínima anual

Estación	F_t	F	Fisher
11002	0.47	1.87	Homogénea
11077	1.20	1.87	Homogénea
16022	0.36	1.87	Homogénea
16027	0.56	1.87	Homogénea
16028	2.20	1.87	No homogénea
16052	0.91	1.80	Homogénea
16081	0.55	1.87	Homogénea
16096	0.67	1.87	Homogénea
16120	0.50	1.87	Homogénea

Tabla A.20. Prueba de Fisher para evaporación acumulada anual

Estación	F_t	F	Fisher
11002	2.49	2.69	Homogénea
11071	0.50	1.98	Homogénea
16016	1.02	2.09	Homogénea
16023	0.62	2.09	Homogénea
16027	0.38	1.96	Homogénea
16159		2.81	No homogénea

- Prueba estadística de Helmert

Tabla A.21. Prueba de Helmert para precipitación acumulada anual

Estación	s-c	+-(n-1) ⁵	Helmert
11002	-1	8.06	Homogénea
11077	-12	5.10	No homogénea
16022	6	6.00	Homogénea
16027	19	8.06	No homogénea
16028	23	8.06	No homogénea
16052	14	8.60	No homogénea
16081	1	8.06	Homogénea
16096	1	5.92	Homogénea
16120	7	7.81	Homogénea

Tabla A.22. Prueba de Helmert para temperatura máxima anual

Estación	s-c	+-(n-1) ⁵	Helmert
11002	39	8.66	No homogénea
11077	13	5.20	No homogénea
16022	25	8.66	No homogénea
16027	7	8.19	Homogénea
16028	27	8.66	No homogénea
16052	25	8.66	No homogénea
16081	11	8.66	No homogénea
16096	11	7.42	No homogénea
16120	31	8.66	No homogénea

Tabla A.23. Prueba de Helmert para temperatura mínima anual

Estación	s-c	+-(n-1) ⁵	Helmert
11002	31	8.06	No homogénea
11077	23	8.06	No homogénea
16022	7	8.06	Homogénea
16027	19	8.06	No homogénea
16028	29	8.06	No homogénea
16052	15	8.66	No homogénea
16081	27	8.06	No homogénea
16096	11	8.06	No homogénea
16120	17	8.06	No homogénea

Tabla A.24. Prueba de Helmert para evaporación acumulada anual

Estación	s-c	+-(n-1) ^s	Helmert
11002	4	5.29	Homogénea
11071	36	7.35	No homogénea
16016	25	6.71	No homogénea
16023	25	6.71	No homogénea
16027	32	7.48	No homogénea
16159	10	5.10	No homogénea

- Prueba t de student

Tabla A.25. Prueba t de student para precipitación acumulada anual

Estación	x_{prom1}	S_1	S_1^2	x_{prom2}	S_2	S_2^2	t_d	T	T de student
11002	768.65	181.15	32815.26	751.79	144.29	20819.70	0.39	2.00	Homogénea
11077				796.81	166.24	27635.65		2.06	Homogénea
16022	819.13	238.97	57105.57	827.05	166.50	27723.44	0.16	2.03	Homogénea
16027	688.12	170.85	29190.81	766.00	232.50	54054.95	1.45	2.00	Homogénea
16028	824.61	233.60	54567.57	773.75	296.70	88029.76	0.72	2.00	Homogénea
16052	726.89	165.48	27384.48	765.06	151.22	22866.06	0.89	2.00	Homogénea
16081	839.51	154.47	23859.95	761.85	158.76	25206.24	1.89	2.00	Homogénea
16096	686.49	258.21	66670.16	710.83	130.43	17012.67	0.48	2.03	Homogénea
16120	882.61	167.93	28199.95	914.98	268.18	71921.68	0.56	2.00	Homogénea

Tabla A.26. Prueba t de student para temperatura máxima anual

Estación	x_{prom1}	S_1	S_1^2	x_{prom2}	S_2	S_2^2	t_d	T	T de student
11002	33.738	1.397	1.952	35.832	1.599	2.557	5.998	1.995	No homogéneo
11077	33.560	1.872	3.504	37.341	1.391	1.935	11.198	2.056	No homogéneo
16022	33.771	1.490	2.220	35.225	2.489	6.197	3.049	1.995	No homogéneo
16027	34.089	1.158	1.341	34.804	2.046	4.188	1.928	1.998	Homogénea
16028	33.470	1.756	3.082	34.997	3.665	13.435	2.285	1.995	No homogéneo
16052	33.685	2.082	4.334	33.043	1.505	2.264	1.520	1.995	Homogénea
16081	35.020	1.933	3.738	34.542	1.951	3.805	1.060	1.995	Homogénea
16096	34.110	2.285	5.221	34.265	1.903	3.620	0.335	2.006	Homogénea
16120	32.649	1.972	3.888	34.428	2.151	4.625	3.709	1.995	No homogéneo

Tabla A.27. Prueba t de student para temperatura mínima anual

Estación	x_{prom1}	S_1	S_1^2	x_{prom2}	S_2	S_2^2	t_d	T	T de student
11002	-1.065	1.440	2.074	0.541	2.095	4.389	3.575	1.999	No homogéneo
11077	-3.113	2.983	8.900	-2.201	2.719	7.393	1.278	1.999	Homogénea
16022	0.100	1.349	1.819	1.030	2.257	5.094	2.002	1.999	No homogéneo
16027	-2.448	2.062	4.254	0.510	2.766	7.648	4.850	1.999	No homogéneo
16028	-2.581	3.387	11.470	-1.181	2.283	5.211	1.940	1.999	Homogénea
16052	-1.622	1.823	3.322	-1.967	1.911	3.651	0.711	1.995	Homogénea
16081	-1.796	1.718	2.951	1.115	2.325	5.407	5.695	1.999	No homogéneo
16096	-2.444	1.896	3.595	-1.020	2.315	5.359	2.691	1.999	No homogéneo
16120	-2.899	2.057	4.230	-1.829	2.914	8.491	1.698	1.999	Homogénea

Tabla A.28. Prueba t de student para evaporación acumulada anual

Estación	x_{prom1}	S_1	S_1^2	x_{prom2}	S_2	S_2^2	t_d	T	homo
11002	1975.27	251.41	63206.27	2079.67	159.21	25346.88	1.24	2.05	Homogénea
11071	2050.26	145.65	21213.94	1716.87	206.68	42716.16	3.57	2.01	No homogéneo
16016	1989.76	180.68	32645.81	2082.91	179.00	32042.59	1.12	2.02	Homogénea
16023	1902.84	140.99	19878.15	1843.59	179.63	32266.57	0.77	2.02	Homogénea
16027	1772.76	198.47	39388.47	1798.85	320.39	102652.87	0.18	2.01	Homogénea
16159				2012.01	120.06	14413.42		2.06	Homogénea

- Prueba estadística de Cramer

Tabla A.29. Prueba de Crammer para precipitación acumulada anual

Estación	Cramer ₃₀	t_{30}	Cramer ₆₀	t_{60}	T
11002	Homogénea	0.73	Homogénea	0.36	2.00
11077	Homogénea	1.77	Homogénea	0.71	2.06
16022	Homogénea	0.05	Homogénea	0.24	2.03
16027	Homogénea	1.48	Homogénea	1.33	2.00
16028	No homogénea	2.71	Homogénea	0.30	2.00
16052	No homogénea	2.02	Homogénea	0.60	2.00
16081	Homogénea	1.28	Homogénea	1.96	2.00
16096	Homogénea	0.70	Homogénea	0.49	2.03
16120	No homogénea	2.52	Homogénea	0.54	2.00

Tabla A.30. Prueba de Crammer para temperatura máxima anual

Estación	Cramer ₃₀	t ₃₀	Cramer ₆₀	t ₆₀	T
11002	No homogénea	5.99	No homogénea	4.16	2.00
11077	No homogénea	4.20	No homogénea	4.52	2.06
16022	No homogénea	4.57	Homogénea	1.26	2.00
16027	Homogénea	1.58	Homogénea	1.84	2.00
16028	No homogénea	5.08	Homogénea	1.36	2.00
16052	Homogénea	1.12	No homogénea	2.73	2.00
16081	Homogénea	1.60	Homogénea	0.38	2.00
16096	Homogénea	1.65	Homogénea	0.66	2.01
16120	No homogénea	4.28	No homogénea	3.28	2.00

Tabla A.31. Prueba de Crammer para temperatura mínima anual

Estación	Cramer ₃₀	t ₃₀	Cramer ₆₀	t ₆₀	T
11002	Homogénea	1.40	No homogénea	3.70	2.00
11077	Homogénea	1.80	Homogénea	0.63	2.00
16022	Homogénea	1.53	Homogénea	1.96	2.00
16027	No homogénea	2.64	No homogénea	3.94	2.00
16028	Homogénea	1.88	Homogénea	1.45	2.00
16052	Homogénea	1.20	Homogénea	0.40	2.00
16081	No homogénea	4.84	No homogénea	4.92	2.00
16096	Homogénea	0.82	No homogénea	3.01	2.00
16120	No homogénea	2.15	Homogénea	1.86	2.00

Tabla A.32. Prueba de Crammer para evaporación acumulada anual

Estación	Cramer ₃₀	t ₃₀	Cramer ₆₀	t ₆₀	T
11002	No homogénea	2.21	Homogénea	1.333434485	2.05
11071	No homogénea	2.37	No homogénea	5.547171857	2.01
16016	No homogénea	3.43	Homogénea	0.443219978	2.02
16023	No homogénea	2.45	Homogénea	1.405990388	2.02
16027	Homogénea	0.60	Homogénea	1.571301817	2.01
16159	Homogénea	0.05	Homogénea	1.698348642	2.06

En el capítulo 5.2 se indica la metodología para determinar la tendencia de las series anuales de cada una de las variables climatológicas.

- Prueba de Mann Kendall

Tabla A.33. Prueba de Mann Kendall para precipitación acumulada anual

Estación	Z_{mk}	p	Tendencia
11002	0.686	0.493	No hay tendencia
11077	-0.917	0.359	No hay tendencia
16022	0.327	0.744	No hay tendencia
16027	2.590	0.010	Hay tendencia
16028	1.328	0.184	No hay tendencia
16052	2.552	0.011	Hay tendencia
16081	-1.328	0.184	No hay tendencia
16096	0.558	0.577	No hay tendencia
16120	0.923	0.359	No hay tendencia

Tabla A.34. Prueba de Mann Kendall para temperatura máxima anual

Estación	Z_{mk}	p	Tendencia
11002	5.486	0.000	Hay tendencia
11077	4.952	0.000	Hay tendencia
16022	1.671	0.095	No hay tendencia
16027	2.299	0.022	Hay tendencia
16028	1.432	0.152	No hay tendencia
16052	-2.623	0.009	Hay tendencia
16081	-1.155	0.248	No hay tendencia
16096	0.326	0.745	No hay tendencia
16120	2.757	0.006	Hay tendencia

Tabla A.35. Prueba de Mann Kendall para temperatura mínima anual

Estación	Z_{mk}	p	Tendencia
11002	4.697	0.000	Hay tendencia
11077	0.094	0.925	No hay tendencia
16022	3.217	0.001	Hay tendencia
16027	4.620	0.000	Hay tendencia
16028	1.816	0.069	No hay tendencia
16052	-1.005	0.315	No hay tendencia
16081	6.327	0.000	Hay tendencia
16096	2.714	0.007	Hay tendencia
16120	2.251	0.024	Hay tendencia

Tabla A.36. Prueba de Mann Kendall para evaporación acumulada anual

Estación	Z_{mk}	p	Tendencia
11002	1.032	0.302	No hay tendencia
11071	-4.486	0.000	Hay tendencia
16016	-1.136	0.256	No hay tendencia
16023	-1.799	0.072	No hay tendencia
16027	-1.838	0.066	No hay tendencia
16159	-1.376	0.169	No hay tendencia

- Prueba de Spearman

Tabla A.37. Prueba de Spearman para precipitación acumulada anual

Estación	Sentido	Significancia	t_a	t	R_s
11002	Tendencia decreciente	Tendencia no significativa	0.68	2.00	-0.08
11077	Tendencia creciente	Tendencia no significativa	0.91	2.06	0.18
16022	Tendencia decreciente	Tendencia no significativa	0.32	2.03	-0.05
16027	Tendencia decreciente	Tendencia significativa	2.52	2.00	-0.30
16028	Tendencia decreciente	Tendencia no significativa	1.27	2.00	-0.16
16052	Tendencia decreciente	Tendencia significativa	2.61	2.00	-0.29
16081	Tendencia creciente	Tendencia no significativa	1.47	2.00	0.18
16096	Tendencia decreciente	Tendencia no significativa	0.50	2.03	-0.09
16120	Tendencia decreciente	Tendencia no significativa	0.95	2.00	-0.12

Tabla A.38. Prueba de Spearman para temperatura máxima anual

Estación	Sentido	Significancia	t_a	t	R_s
11002	Tendencia decreciente	Tendencia significativa	6.49	2.00	-0.60
11077	Tendencia decreciente	Tendencia significativa	68.78	2.06	-1.00
16022	Tendencia decreciente	Tendencia no significativa	1.74	2.00	-0.20
16027	Tendencia decreciente	Tendencia significativa	2.36	2.00	-0.28
16028	Tendencia decreciente	Tendencia no significativa	1.59	2.00	-0.18
16052	Tendencia creciente	Tendencia significativa	2.72	2.00	0.30
16081	Tendencia creciente	Tendencia no significativa	1.14	2.00	0.13
16096	Tendencia decreciente	Tendencia no significativa	0.31	2.01	-0.04
16120	Tendencia decreciente	Tendencia significativa	3.31	2.00	-0.36

Tabla A.39. Prueba de Spearman para temperatura mínima anual

Estación	Sentido	Significancia	t_a	t	R_s
11002	Tendencia decreciente	Tendencia significativa	5.44	2.00	-0.56
11077	Tendencia decreciente	Tendencia no significativa	0.61	2.00	-0.08
16022	Tendencia decreciente	Tendencia significativa	2.80	2.00	-0.33
16027	Tendencia decreciente	Tendencia significativa	5.60	2.00	-0.57
16028	Tendencia decreciente	Tendencia significativa	2.16	2.00	-0.26
16052	Tendencia creciente	Tendencia no significativa	1.11	2.00	0.13
16081	Tendencia decreciente	Tendencia significativa	8.46	2.00	-0.73
16096	Tendencia decreciente	Tendencia significativa	3.11	2.00	-0.36
16120	Tendencia decreciente	Tendencia significativa	2.10	2.00	-0.25

Tabla A.40. Prueba de Spearman para evaporación acumulada anual

Estación	Sentido	Significancia	t_a	t	R_s
11002	Tendencia decreciente	no significativa	1.40	2.05	-0.26
11071	Tendencia creciente	significativa	5.43	2.01	0.60
16016	Tendencia creciente	no significativa	1.05	2.02	0.16
16023	Tendencia creciente	no significativa	1.64	2.02	0.24
16027	Tendencia creciente	no significativa	1.32	2.01	0.18
16159	Tendencia creciente	no significativa	0.83	2.06	0.16

B. Evapotranspiración real**Tabla B.41.** Calculo de la evapotranspiración real de la estación 11002

Año	T min	T max	Mensual	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1950	9.57	26.94	6.53	18.25	571.10	0.30	473.90	1060.40	523.51
1951	9.54	26.51	6.53	18.02	765.30	0.30	589.07	1043.38	638.19
1952	9.60	26.38	6.51	17.99	880.13	0.30	646.69	1040.69	692.51
1953	9.65	26.75	6.53	18.20	705.08	0.30	556.59	1056.46	607.87
1954	9.54	26.35	6.53	17.94	772.10	0.30	592.11	1037.41	640.33
1955	9.56	25.85	6.53	17.71	728.60	0.30	566.70	1020.25	613.59
1956	8.64	25.47	6.51	17.05	645.00	0.31	514.49	974.38	557.57
1957	9.02	26.52	6.53	17.77	548.90	0.30	457.25	1024.58	503.81
1958	9.71	25.33	6.53	17.52	1067.00	0.31	717.00	1006.92	750.20
1959	9.88	25.76	6.53	17.82	785.30	0.30	598.13	1028.49	644.86
1960	10.07	26.25	6.51	18.16	529.03	0.30	445.30	1053.46	492.86
1961	10.01	25.56	6.53	17.79	631.70	0.30	510.41	1025.98	558.55
1962	10.20	26.14	6.53	18.17	648.70	0.30	522.86	1054.27	573.69
1963	10.36	25.60	6.53	17.98	744.50	0.30	577.42	1040.24	626.49
1964	10.48	25.46	6.51	17.97	811.80	0.30	613.07	1039.55	660.67
1965	9.94	25.56	6.53	17.75	817.40	0.30	614.02	1023.47	659.14
1966	9.74	24.92	6.53	17.33	1011.00	0.31	694.14	993.28	726.61
1967	9.77	25.05	6.53	17.41	1052.50	0.31	710.32	999.08	742.41
1968	9.94	25.48	6.51	17.71	609.70	0.30	496.36	1020.68	543.85
1969	10.59	26.94	6.53	18.77	538.70	0.29	454.03	1099.57	504.53
1970	9.97	26.80	6.53	18.39	771.60	0.30	595.15	1070.44	647.61
1971	10.31	26.25	6.53	18.28	1012.40	0.30	707.28	1062.43	752.92
1972	10.83	27.03	6.51	18.93	637.30	0.29	519.58	1112.33	575.04
1973	10.55	26.52	6.53	18.53	1162.67	0.29	764.48	1081.72	811.00
1974	10.17	26.33	6.53	18.25	621.30	0.30	506.25	1060.32	557.19
1975	9.54	26.35	6.53	17.95	864.00	0.30	638.66	1037.83	684.54
1976	9.90	25.91	6.51	17.90	808.70	0.30	610.91	1034.56	657.88
1977	10.32	26.65	6.53	18.49	654.60	0.30	528.13	1078.13	581.17
1978	10.90	26.87	6.53	18.89	876.30	0.29	653.33	1108.93	709.74
1979	10.58	27.69	6.53	19.13	681.80	0.29	548.16	1128.46	606.18
1980	11.08	26.95	6.51	19.01	697.50	0.29	556.95	1118.82	614.43
1981	11.03	26.39	6.53	18.71	960.30	0.29	690.58	1095.04	743.32
1982	11.12	27.61	6.53	19.37	504.00	0.28	431.66	1147.45	482.10
1983	10.60	26.80	6.53	18.70	838.90	0.29	633.01	1094.49	687.83
1984	10.73	26.82	6.51	18.78	768.90	0.29	596.48	1100.55	652.62
1985	10.76	27.15	6.53	18.95	793.00	0.29	610.89	1114.05	668.61
1986	10.77	27.19	6.53	18.98	484.40	0.29	416.54	1116.66	464.36
1987	10.62	27.93	6.53	19.28	567.80	0.29	475.65	1139.96	529.92

Año	T min	T max	Mensual	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1988	10.16	27.27	6.51	18.72	759.50	0.29	590.84	1095.64	646.40
1989	10.15	27.53	6.53	18.84	652.30	0.29	528.53	1105.39	583.85
1990	10.93	26.99	6.53	18.96	874.90	0.29	653.28	1114.48	710.51
1991	10.97	27.36	6.53	19.16	734.30	0.29	579.49	1131.04	638.77
1992	11.00	26.60	6.51	18.80	900.00	0.29	663.98	1102.17	719.01
1993	10.55	27.94	6.53	19.25	553.40	0.29	465.76	1137.53	519.06
1994	10.36	28.57	6.53	19.47	678.80	0.28	548.10	1155.56	608.34
1995	10.01	28.55	6.53	19.28	705.20	0.29	563.08	1140.34	622.72
1996	8.96	28.76	6.51	18.86	658.10	0.29	532.23	1107.13	587.84
1997	9.87	28.15	6.53	19.01	706.50	0.29	562.32	1119.01	619.97
1998	10.08	29.26	6.53	19.67	667.70	0.28	542.24	1172.15	603.40
1999	8.71	27.87	6.53	18.29	634.70	0.30	514.81	1062.89	566.20
2000	9.47	28.15	6.51	18.81	655.73	0.29	530.48	1102.76	585.66
2001	9.97	27.75	6.53	18.86	899.30	0.29	664.22	1106.89	720.00
2002	11.08	27.51	6.53	19.30	885.47	0.29	661.56	1141.81	722.64
2003	10.92	27.82	6.53	19.37	1098.10	0.28	754.71	1147.45	814.90
2004	10.96	26.94	6.51	18.95	1023.20	0.29	720.03	1114.17	774.94
2005	11.32	28.20	6.53	19.76	589.30	0.28	491.94	1180.02	549.67
2006	11.06	27.76	6.53	19.41	918.60	0.28	678.67	1150.63	740.86
2007	10.26	27.76	6.53	19.01	719.50	0.29	569.94	1118.71	627.76
2008	10.33	27.94	6.51	19.13	934.90	0.29	683.64	1128.49	742.28
2009	11.33	28.39	6.53	19.86	726.50	0.28	579.09	1188.18	643.69
2010	10.50	27.81	6.53	19.15	620.90	0.29	510.17	1130.27	566.38
2011	11.01	28.67	6.53	19.84	514.10	0.28	440.22	1186.40	492.92
2012	11.13	27.56	6.51	19.34	758.00	0.29	594.21	1145.43	655.32
2013	11.33	27.41	6.53	19.37	882.00	0.28	660.47	1147.51	722.37
2014	11.27	27.54	6.53	19.41	850.50	0.28	644.81	1150.52	707.16
2015	11.72	27.30	6.53	19.51	852.00	0.28	646.43	1158.92	709.88

Tabla B.42. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16022

Año	T min	T max	Month	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1950	8.84	25.38	6.53	17.11	869.00	0.31	632.68	978.26	668.64
1951	9.43	25.12	6.53	17.27	580.55	0.31	475.81	989.42	520.45
1952	9.32	25.03	6.51	17.17	776.20	0.31	588.17	982.58	628.75
1953	9.21	25.51	6.53	17.36	614.80	0.31	497.81	995.79	543.16
1954	10.10	22.22	6.53	16.16	783.30	0.33	582.98	915.22	613.06
1955	10.22	24.62	6.53	17.42	900.20	0.31	649.99	999.74	688.24
1956	9.44	24.43	6.51	16.93	748.10	0.32	571.59	966.10	610.90
1957	9.73	26.01	6.53	17.87	707.70	0.30	556.01	1032.01	604.57
1958	10.55	23.99	6.53	17.27	1392.30	0.31	789.84	989.22	820.28
1959	10.49	24.59	6.53	17.54	941.70	0.31	669.34	1008.49	707.44
1960	9.99	26.26	6.51	18.13	640.70	0.30	517.72	1051.00	568.17
1961	10.26	25.11	6.53	17.69	700.00	0.31	550.43	1018.79	597.59
1962	9.74	26.88	6.53	18.31	851.70	0.30	636.03	1064.73	686.35
1963	10.23	26.18	6.53	18.20	909.90	0.30	662.65	1056.70	710.20
1964	10.40	25.65	6.51	18.03	961.11	0.30	683.17	1043.45	726.86
1965	10.10	24.93	6.53	17.52	870.70	0.31	637.58	1006.54	678.19
1966	10.09	24.09	6.53	17.09	892.80	0.31	643.14	976.90	677.76
1967	9.84	24.00	6.53	16.92	1096.10	0.32	717.01	965.40	740.83
1968	9.82	24.02	6.51	16.92	1111.50	0.32	721.58	965.01	744.88
1969	10.41	25.00	6.53	17.70	791.00	0.31	600.14	1019.85	645.51
1970	9.81	24.77	6.53	17.29	643.40	0.31	514.88	990.84	559.66
1971	9.87	24.26	6.53	17.07	785.60	0.31	592.08	975.11	631.20
1972	9.95	25.37	6.51	17.66	848.20	0.31	628.39	1017.17	671.54
1973	9.73	24.37	6.53	17.05	878.60	0.31	636.39	974.07	671.18
1974	7.93	23.78	6.53	15.85	308.00	0.33	276.58	895.64	305.23
1975	9.42	23.95	6.53	16.69	845.30	0.32	617.45	949.41	649.71
1976	9.57	22.89	6.51	16.23	987.10	0.33	669.97	919.62	689.06
1977	9.67	23.21	6.53	16.44	851.50	0.32	617.77	933.37	646.96
1978	9.70	23.15	6.53	16.42	1018.60	0.32	683.83	932.10	703.87
1979	9.37	23.80	6.53	16.58	664.00	0.32	522.77	942.67	561.95
1980	9.95	23.71	6.51	16.83	923.80	0.32	653.37	958.89	683.24
1981	9.89	24.64	6.53	17.26	906.20	0.31	650.93	988.88	687.03
1982	10.03	25.82	6.53	17.92	588.80	0.30	484.04	1036.05	532.42
1983	9.66	24.99	6.53	17.33	886.90	0.31	643.04	993.16	680.73
1984	9.58	24.81	6.51	17.19	726.10	0.31	561.72	984.06	604.15
1985	9.71	24.96	6.53	17.34	820.50	0.31	611.88	993.89	652.44
1986	10.20	26.57	6.53	18.39	707.64	0.30	559.22	1070.37	611.98

Tabla B.43. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16027

Año	T min	T max	Month	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1950	8.49	25.79	6.53	17.14	485.40	0.31	411.76	980.20	453.58
1951	7.68	26.92	6.53	17.30	507.80	0.31	427.78	991.56	471.02
1952	8.64	27.77	6.51	18.20	680.83	0.30	542.40	1056.64	593.68
1953	8.75	27.36	6.53	18.06	512.00	0.30	433.22	1045.66	479.58
1954	9.12	27.52	6.53	18.32	691.50	0.30	549.37	1065.22	601.55
1955	8.33	26.62	6.53	17.48	587.60	0.31	481.25	1003.75	527.11
1956	8.83	26.08	6.51	17.46	621.30	0.31	502.30	1002.35	548.26
1957	8.97	27.19	6.53	18.08	462.70	0.30	398.42	1047.28	442.13
1958	9.20	25.29	6.53	17.24	1116.10	0.31	728.52	987.38	756.31
1959	11.30	25.26	6.53	18.28	801.80	0.30	610.41	1062.31	661.39
1960	10.10	26.54	6.51	18.32	486.60	0.30	416.23	1065.31	462.14
1961	8.13	26.24	6.53	17.19	591.80	0.31	482.56	983.44	526.77
1962	8.61	26.76	6.53	17.68	581.10	0.31	478.01	1018.57	524.93
1963	8.91	25.87	6.53	17.39	860.80	0.31	631.69	997.44	671.19
1964	8.62	25.82	6.51	17.22	721.80	0.31	559.55	985.98	602.35
1965	7.73	25.66	6.53	16.69	731.60	0.32	560.99	950.00	598.73
1966	7.12	24.87	6.53	16.00	742.10	0.33	560.91	904.53	591.68
1967	8.33	24.61	6.53	16.47	1023.40	0.32	686.22	935.31	706.68
1968	8.65	24.28	6.51	16.46	599.70	0.32	483.85	934.48	523.59
1969	9.29	25.84	6.53	17.57	620.30	0.31	502.26	1010.33	548.93
1970	8.59	26.46	6.53	17.53	585.80	0.31	480.33	1007.25	526.44
1971	8.87	27.51	6.53	18.19	776.40	0.30	596.30	1055.88	646.85
1972	9.91	27.15	6.51	18.53	820.30	0.29	622.03	1081.15	675.27
1973	10.26	27.59	6.53	18.93	906.20	0.29	668.15	1112.12	724.62
1974	9.77	27.14	6.53	18.46	708.80	0.30	560.33	1075.73	613.65
1975	9.62	27.22	6.53	18.42	820.00	0.30	621.00	1073.01	673.13
1976	10.84	27.37	6.51	19.11	1005.20	0.29	714.42	1126.42	771.78
1977	11.92	27.91	6.53	19.92	584.50	0.28	489.29	1192.86	547.41
1978	11.78	27.15	6.53	19.47	1005.20	0.28	718.57	1155.44	780.93
1979	12.08	27.08	6.53	19.58	542.80	0.28	459.59	1164.62	513.53
1980	11.94	26.51	6.51	19.23	828.00	0.29	631.66	1136.10	692.13
1981	11.14	25.44	6.53	18.29	820.40	0.30	620.15	1063.39	670.93
1982	10.91	27.03	6.53	18.97	405.70	0.29	358.07	1115.53	399.31
1983	8.64	25.11	6.53	16.87	846.70	0.32	620.01	962.10	654.32
1984	9.44	24.96	6.51	17.20	867.00	0.31	632.69	984.49	669.79
1985	10.07	24.97	6.53	17.52	913.20	0.31	656.85	1007.02	695.84
1986	10.63	25.76	6.53	18.19	737.00	0.30	574.71	1055.86	625.74
1987	10.63	26.18	6.53	18.40	602.20	0.30	494.80	1071.83	546.18
1988	10.62	26.83	6.51	18.73	661.30	0.29	533.49	1096.47	588.26

Año	T min	T max	Month	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1989	10.92	26.63	6.53	18.78	643.00	0.29	522.41	1100.38	577.09
1990	9.20	26.51	6.53	17.86	755.00	0.30	582.27	1031.16	630.02
1991	10.32	26.28	6.53	18.30	779.90	0.30	598.97	1063.78	650.48
1992	11.68	24.91	6.51	18.29	766.80	0.30	591.84	1063.25	643.46
1993	11.70	26.76	6.53	19.23	647.30	0.29	527.32	1136.37	584.97
1994	11.09	27.48	6.53	19.28	613.50	0.29	505.95	1140.62	562.56
1995	10.35	27.36	6.53	18.86	683.90	0.29	547.93	1106.68	604.04
1996	9.82	27.48	6.51	18.65	417.80	0.29	366.63	1090.72	408.37
1997	10.31	22.93	6.53	16.62	460.00	0.32	392.33	945.17	431.42
1998	11.14	27.95	6.53	19.55	827.20	0.28	633.73	1162.18	697.47
1999	11.20	27.54	6.53	19.37	678.00	0.28	547.12	1147.84	606.69
2000	10.29	28.04	6.51	19.17	489.30	0.29	420.57	1131.19	469.29
2001	10.05	27.39	6.53	18.72	594.20	0.29	490.98	1095.93	543.80
2002	10.16	28.18	6.53	19.17	848.29	0.29	641.72	1131.39	701.53
2003	9.70	28.09	6.53	18.90	690.70	0.29	552.24	1109.79	608.76
2004	10.83	26.16	6.51	18.50	675.30	0.30	540.77	1078.92	594.17
2005	11.48	27.51	6.53	19.50	290.00	0.28	266.17	1157.85	
2006	11.02	27.39	6.53	19.20	747.73	0.29	587.46	1134.17	647.23
2007	11.48	26.31	6.53	18.90	754.38	0.29	589.21	1109.75	646.38

Tabla B.44. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16028

Año	T min	T max	Month	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1950	8.68	26.24	6.53	17.46	638.58	0.31	512.88	1002.41	558.82
1951	8.98	26.59	6.53	17.78	638.04	0.30	514.29	1025.79	562.44
1952	8.93	26.16	6.51	17.54	800.54	0.31	603.71	1008.49	647.17
1953	8.95	26.26	6.53	17.61	579.06	0.31	476.36	1013.05	522.82
1954	7.24	27.99	6.53	17.61	806.61	0.31	607.40	1013.63	651.42
1955	6.27	25.15	6.53	15.71	751.44	0.33	563.17	886.52	590.67
1956	5.35	24.25	6.51	14.80	858.55	0.35	601.93	832.22	612.58
1957	5.77	24.88	6.53	15.33	632.55	0.34	496.73	863.30	527.70
1958	8.21	24.23	6.53	16.22	1286.41	0.33	747.62	919.16	760.83
1959	7.81	23.14	6.53	15.47	965.27	0.34	651.15	872.02	662.12
1960	7.05	23.22	6.51	15.13	649.38	0.34	504.89	851.58	533.51
1961	9.15	25.01	6.53	17.08	712.55	0.31	553.45	976.12	595.27
1962	9.14	25.33	6.53	17.24	799.47	0.31	600.55	986.93	640.87
1963	9.92	24.83	6.53	17.37	981.28	0.31	683.39	996.63	717.69
1964	9.65	25.40	6.51	17.52	915.68	0.31	657.95	1007.15	696.86
1965	9.11	25.04	6.53	17.08	1080.49	0.31	714.58	975.83	741.03
1966	8.72	24.46	6.53	16.59	1094.08	0.32	710.77	943.16	730.10
1967	8.82	24.45	6.53	16.63	1379.54	0.32	771.27	945.97	792.95
1968	8.82	24.67	6.51	16.74	1120.75	0.32	721.27	953.37	741.91
1969	9.35	25.86	6.53	17.60	594.07	0.31	485.97	1012.90	532.64
1970	8.74	25.70	6.53	17.22	512.60	0.31	430.78	986.09	473.85
1971	9.30	25.14	6.53	17.22	745.30	0.31	572.29	985.71	614.36
1972	8.78	25.52	6.51	17.15	639.50	0.31	511.72	980.70	555.52
1973	9.36	25.11	6.53	17.23	609.00	0.31	493.56	986.80	538.10
1974	7.93	25.33	6.53	16.63	490.00	0.32	413.25	945.72	453.30
1975	8.75	25.38	6.53	17.06	653.00	0.31	519.28	974.97	562.31
1976	8.67	24.69	6.51	16.68	859.30	0.32	623.77	948.99	655.23
1977	8.65	25.14	6.53	16.89	604.80	0.32	489.24	963.47	531.66
1978	9.08	24.82	6.53	16.95	712.70	0.32	552.61	967.15	593.29
1979	7.38	25.21	6.53	16.30	583.20	0.32	472.83	923.88	511.80
1980	8.64	25.16	6.51	16.90	566.30	0.32	465.00	963.74	507.47
1981	8.53	25.15	6.53	16.84	510.90	0.32	428.24	959.90	469.67
1982	8.21	26.49	6.53	17.35	129.80	0.31	124.58	994.64	
1983	7.81	26.06	6.53	16.93	537.80	0.32	446.58	966.04	488.92
1984	7.84	25.35	6.51	16.60	694.90	0.32	540.30	943.42	578.57
1985	8.08	25.32	6.53	16.70	657.90	0.32	519.97	950.37	560.20
1986	8.51	25.21	6.53	16.86	545.20	0.32	451.14	961.05	493.23
1987	8.07	25.33	6.53	16.70	465.60	0.32	396.51	950.24	436.06
1988	7.58	26.27	6.51	16.92	723.60	0.32	558.40	965.53	598.52

Año	T min	T max	Month	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1989	7.26	26.23	6.53	16.75	595.20	0.32	482.54	953.45	524.10
1990	8.48	25.94	6.53	17.21	820.00	0.31	610.50	985.21	649.74
1991	8.11	26.12	6.53	17.12	774.20	0.31	586.67	978.62	626.75
1992	8.30	24.97	6.51	16.63	1012.40	0.32	684.82	946.01	707.91
1993	7.21	28.44	6.53	17.82	657.25	0.30	526.17	1028.79	574.65
1994	8.04	27.61	6.53	17.83	603.96	0.30	493.28	1028.89	541.37
1995	7.75	27.89	6.53	17.82	782.92	0.30	596.88	1028.42	643.65
1996	7.92	27.68	6.51	17.80	671.97	0.30	534.82	1027.16	583.12
1997	9.76	25.34	6.53	17.55	636.20	0.31	511.91	1008.73	558.46
1998	9.80	26.67	6.53	18.24	690.10	0.30	548.07	1059.09	599.62
1999	8.46	27.13	6.53	17.80	649.10	0.30	521.09	1026.73	569.37
2000	8.75	27.58	6.51	18.16	572.77	0.30	474.63	1053.63	523.84
2001	7.78	27.27	6.53	17.52	848.40	0.31	627.13	1006.94	668.65
2002	8.34	27.50	6.53	17.92	1005.10	0.30	699.79	1035.76	740.63
2003	7.88	27.77	6.53	17.82	754.00	0.30	581.47	1028.63	628.92
2004	8.37	26.89	6.51	17.63	990.40	0.31	690.29	1014.84	727.68
2005	7.33	28.35	6.53	17.84	530.60	0.30	445.21	1029.67	491.48
2006	7.28	27.78	6.53	17.53	393.90	0.31	346.23	1007.76	383.90
2007	9.72	27.15	6.53	18.43	692.11	0.30	550.41	1073.92	603.47
2008	10.26	25.54	6.51	17.90	1278.42	0.30	783.99	1034.02	820.34
2009	11.17	25.81	6.53	18.49	1094.48	0.30	740.99	1078.37	787.80
2010	10.39	25.40	6.53	17.89	1650.21	0.30	826.31	1033.88	888.75
2011	10.65	26.39	6.53	18.52	1211.01	0.29	778.76	1080.63	824.78
2012	10.50	25.55	6.51	18.03	1200.32	0.30	766.83	1043.51	805.04
2013	10.87	25.92	6.53	18.40	1018.74	0.30	711.28	1071.21	758.39
2014	11.48	25.51	6.53	18.49	1336.71	0.30	809.50	1078.62	856.48
2015	12.14	25.98	6.53	19.06	1291.83	0.29	810.68	1122.72	866.25

Tabla B.45. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16052

Año	T min	T max	Month	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1940	11.41	26.53	6.51	18.97		0.29		1115.32	
1941	10.40	26.73	6.53	18.57	858.50	0.29	641.70	1084.28	694.76
1942	10.40	26.89	6.53	18.64	600.40	0.29	494.69	1090.12	547.33
1943	9.64	26.65	6.53	18.15	676.29	0.30	539.37	1052.45	590.22
1944	9.74	26.53	6.51	18.14	634.50	0.30	513.94	1051.76	564.38
1945	9.95	27.46	6.53	18.70	443.20	0.29	385.74	1094.64	429.68
1946	9.86	27.46	6.53	18.66	589.30	0.29	487.53	1091.37	539.86
1947	10.18	27.34	6.53	18.76	732.00	0.29	575.63	1099.20	631.53
1948	10.36	27.82	6.51	19.09	750.40	0.29	588.25	1125.16	647.09
1949	9.31	28.54	6.53	18.92	518.00	0.29	440.21	1112.00	490.12
1950	8.80	27.27	6.53	18.03	623.30	0.30	506.45	1044.12	556.08
1951	9.35	26.50	6.53	17.93	613.30	0.30	499.66	1036.32	548.50
1952	9.47	26.07	6.51	17.77	709.90	0.30	556.63	1024.90	604.36
1953	9.66	26.17	6.53	17.92	715.40	0.30	560.71	1035.57	609.60
1954	9.72	26.20	6.53	17.96	670.50	0.30	534.86	1038.68	584.32
1955	9.36	25.51	6.53	17.44	765.20	0.31	584.56	1001.13	628.10
1956	8.56	24.75	6.51	16.65	610.04	0.32	491.20	947.32	532.04
1957	9.00	25.92	6.53	17.46	628.30	0.31	506.61	1002.36	552.57
1958	10.37	25.15	6.53	17.76	1313.40	0.30	788.48	1024.01	823.28
1959	9.92	24.86	6.53	17.39	897.80	0.31	648.58	997.53	686.56
1960	9.35	25.68	6.51	17.51	618.60	0.31	500.93	1006.44	547.24
1961	9.22	25.48	6.53	17.35	698.90	0.31	547.64	994.98	592.08
1962	9.08	22.01	6.53	15.54	748.80	0.34	560.41	876.42	586.51
1963	9.66	21.24	6.53	15.45	754.50	0.34	562.37	870.61	587.19
1964	10.18	25.33	6.51	17.76	760.79	0.30	584.64	1023.81	631.32
1965	9.39	25.01	6.53	17.20	858.60	0.31	628.77	984.18	666.19
1966	9.18	24.89	6.53	17.03	907.80	0.31	649.02	972.90	682.22
1967	9.18	24.97	6.53	17.08	1160.40	0.31	738.39	975.91	762.85
1968	9.73	24.73	6.51	17.23	793.20	0.31	597.34	986.55	637.85
1969	9.38	25.77	6.53	17.58	596.20	0.31	487.19	1010.97	533.73
1970	8.94	25.88	6.53	17.41	734.10	0.31	567.63	999.03	611.76
1971	9.09	25.54	6.53	17.32	907.50	0.31	652.07	992.49	688.75
1972	9.70	25.49	6.51	17.60	663.40	0.31	528.54	1012.28	575.35
1973	9.34	25.33	6.53	17.34	751.50	0.31	576.49	993.88	619.46
1974	8.94	25.24	6.53	17.09	529.50	0.31	441.68	976.80	484.61
1975	8.90	25.61	6.53	17.26	602.40	0.31	489.57	988.47	534.25
1976	9.12	25.35	6.51	17.23	785.90	0.31	593.63	986.60	634.43
1977	9.07	25.37	6.53	17.22	673.20	0.31	532.05	985.80	575.92
1978	9.28	25.20	6.53	17.24	790.60	0.31	596.13	987.47	636.87

Año	T min	T max	Month	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1979	9.12	25.91	6.53	17.52	421.80	0.31	367.09	1006.57	406.71
1980	9.88	25.77	6.51	17.82	830.20	0.30	621.04	1028.69	666.55
1981	9.31	25.58	6.53	17.45	708.60	0.31	553.74	1001.58	598.76
1982	8.81	26.48	6.53	17.65	406.10	0.31	355.67	1015.87	394.48
1983	8.48	25.67	6.53	17.08	664.50	0.31	526.11	975.86	569.04
1984	8.51	25.41	6.51	16.96	672.50	0.32	530.03	967.91	571.90
1985	8.46	25.60	6.53	17.03	707.60	0.31	550.36	972.76	591.90
1986	8.66	25.55	6.53	17.11	710.90	0.31	552.72	977.98	594.82
1987	8.43	26.25	6.53	17.34	697.50	0.31	546.78	994.31	591.17
1988	8.52	26.45	6.51	17.48	703.50	0.31	551.10	1004.16	596.53
1989	8.32	25.95	6.53	17.14	588.50	0.31	480.24	979.99	524.15
1990	8.28	25.74	6.53	17.01	881.80	0.31	637.42	971.51	671.62
1991	8.98	25.92	6.53	17.45	894.30	0.31	647.71	1002.07	686.61
1992	9.34	24.73	6.51	17.03	967.30	0.31	673.51	973.03	703.93
1993	8.65	25.78	6.53	17.22	888.60	0.31	642.64	985.56	678.95
1994	9.49	25.98	6.53	17.74	757.40	0.30	582.67	1022.38	629.24
1995	9.74	26.16	6.53	17.95	951.96	0.30	678.44	1038.01	721.46
1996	8.53	26.47	6.51	17.50	630.60	0.31	508.24	1005.47	554.49
1997	8.80	26.39	6.53	17.60	722.20	0.31	562.37	1012.25	608.41
1998	8.85	27.18	6.53	18.02	1068.30	0.30	724.82	1043.01	765.21
1999	7.95	26.15	6.53	17.05	671.50	0.31	530.00	973.93	572.58
2000	8.46	26.65	6.51	17.56	629.50	0.31	507.86	1009.39	554.47
2001	8.60	26.47	6.53	17.54	707.20	0.31	553.57	1008.17	599.40
2002	9.11	26.57	6.53	17.84	840.10	0.30	626.09	1030.02	671.49
2003	8.85	26.36	6.53	17.60	1041.40	0.31	709.18	1012.83	744.39
2004	8.94	25.37	6.51	17.15	1003.40	0.31	688.90	981.12	719.30
2005	8.93	26.19	6.53	17.56	717.20	0.31	559.35	1009.82	605.19
2006	9.36	26.05	6.53	17.71	816.20	0.30	613.03	1020.25	657.71
2007	9.61	25.06	6.53	17.33	781.40	0.31	592.18	993.80	634.17
2008	8.58	25.64	6.51	17.11	755.00	0.31	576.63	978.39	617.38
2009	9.47	26.13	6.53	17.80	707.70	0.30	555.57	1027.04	603.57
2010	8.41	25.45	6.53	16.93	831.20	0.32	613.24	965.70	648.89
2011	8.77	26.56	6.53	17.66	569.80	0.31	470.60	1017.12	517.18
2012	9.20	25.94	6.51	17.57	657.63	0.31	524.96	1010.45	571.62
2013	10.23	27.07	6.53	18.65	960.19	0.29	689.92	1090.73	741.92
2014	10.55	25.93	6.53	18.24	913.23	0.30	664.57	1059.60	712.50
2015	11.03	24.54	6.53	17.78	804.70	0.30	607.87	1025.90	653.72

Tabla B.46. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16081

Año	T min	T max	Month	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1950	8.65	26.60	6.53	17.62	745.90	0.31	575.60	1014.13	621.37
1951	9.07	27.12	6.53	18.10	710.20	0.30	558.89	1048.64	609.29
1952	8.62	26.22	6.51	17.42	939.30	0.31	666.88	999.77	703.50
1953	8.70	26.39	6.53	17.54	788.21	0.31	597.40	1008.52	641.26
1954	9.14	25.59	6.53	17.37	828.40	0.31	616.02	996.03	656.61
1955	8.72	24.88	6.53	16.80	805.70	0.32	599.76	957.17	635.27
1956	7.51	24.24	6.51	15.88	845.30	0.33	608.91	896.97	632.14
1957	8.16	25.88	6.53	17.02	545.90	0.31	452.27	972.01	495.17
1958	10.16	24.60	6.53	17.38	1151.60	0.31	741.46	997.15	770.52
1959	9.85	24.21	6.53	17.03	1114.60	0.31	724.42	972.59	749.20
1960	9.38	24.93	6.51	17.15	581.50	0.31	475.88	981.17	519.85
1961	9.68	24.37	6.53	17.03	559.06	0.31	460.90	972.53	504.00
1962	9.70	25.74	6.53	17.72	789.40	0.30	599.47	1021.28	645.09
1963	11.16	25.53	6.53	18.35	838.60	0.30	629.83	1067.40	680.81
1964	10.21	25.69	6.51	17.95	844.50	0.30	629.20	1037.65	675.63
1965	9.61	25.58	6.53	17.60	925.50	0.31	663.04	1012.35	702.47
1966	8.76	25.14	6.53	16.95	884.40	0.32	637.86	967.02	671.15
1967	8.65	25.41	6.53	17.03	1027.91	0.31	696.07	972.64	723.79
1968	8.50	25.27	6.51	16.88	859.30	0.32	625.89	962.61	659.66
1969	8.58	27.04	6.53	17.81	724.90	0.30	565.35	1027.73	613.20
1970	9.23	26.86	6.53	18.04	810.90	0.30	613.19	1044.73	661.56
1971	9.85	27.44	6.53	18.65	936.60	0.29	679.37	1090.21	731.80
1972	9.62	28.67	6.51	19.15	1020.50	0.29	721.28	1129.58	778.99
1973	9.80	28.11	6.53	18.95	870.10	0.29	650.89	1114.38	708.16
1974	9.20	27.37	6.53	18.29	894.00	0.30	656.16	1063.05	705.17
1975	9.70	27.12	6.53	18.41	732.80	0.30	573.78	1071.94	626.68
1976	9.50	28.74	6.51	19.12	1060.00	0.29	736.87	1127.72	793.72
1977	9.57	29.13	6.53	19.35	713.60	0.28	568.48	1146.07	628.85
1978	10.17	27.74	6.53	18.96	907.00	0.29	668.82	1114.49	725.64
1979	9.79	27.74	6.53	18.76	580.80	0.29	482.37	1099.48	534.89
1980	8.14	25.97	6.51	17.06	842.10	0.31	619.67	974.63	656.26
1981	7.26	26.44	6.53	16.85	700.60	0.32	545.22	960.47	585.45
1982	7.58	29.36	6.53	18.47	521.80	0.30	441.38	1076.82	489.83
1983	8.64	27.13	6.53	17.88	811.80	0.30	612.33	1033.12	659.01
1984	8.40	28.43	6.51	18.41	601.20	0.30	494.20	1072.58	545.60
1985	9.11	27.68	6.53	18.40	700.10	0.30	554.89	1071.13	607.70
1986	9.78	27.53	6.53	18.66	661.00	0.29	532.95	1091.18	587.25
1987	10.41	26.70	6.53	18.55	565.80	0.29	471.57	1083.06	522.43
1988	11.18	26.75	6.51	18.97	846.70	0.29	639.24	1115.46	696.88

Año	T min	T max	Month	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1989	11.18	26.91	6.53	19.05	557.50	0.29	467.84	1121.56	520.53
1990	10.16	25.77	6.53	17.96	895.10	0.30	653.37	1038.70	698.40
1991	11.01	26.03	6.53	18.52	918.50	0.29	669.82	1080.44	721.04
1992	9.13	25.63	6.51	17.38	961.40	0.31	675.51	996.88	710.67
1993	8.76	28.11	6.53	18.44	932.00	0.30	675.09	1074.18	724.95
1994	10.22	28.55	6.53	19.38	694.80	0.28	557.42	1148.84	617.57
1995	11.33	27.84	6.53	19.58	865.06	0.28	653.74	1164.86	718.02
1996	9.18	27.71	6.51	18.44	513.77	0.30	435.72	1074.80	483.63
1997	11.58	28.02	6.53	19.80	713.20	0.28	570.82	1183.37	634.56
1998	11.38	27.32	6.53	19.35	988.40	0.28	710.02	1146.23	770.97
1999	10.67	26.46	6.53	18.57	730.80	0.29	573.69	1084.17	627.96
2000	11.03	27.60	6.51	19.32	518.60	0.29	441.85	1143.27	493.18
2001	11.11	26.35	6.53	18.73	850.28	0.29	639.03	1096.89	694.04
2002	11.45	26.11	6.53	18.78	1053.10	0.29	729.69	1100.63	781.58
2003	12.20	26.13	6.53	19.16	971.40	0.29	700.48	1131.05	759.09
2004	11.47	25.39	6.51	18.43	914.20	0.30	666.95	1073.73	717.18
2005	11.69	26.63	6.53	19.16	756.80	0.29	592.36	1130.98	651.89
2006	11.73	25.87	6.53	18.80	822.15	0.29	625.20	1102.22	681.27
2007	11.96	25.43	6.53	18.70	692.20	0.29	552.00	1094.19	607.05
2008	11.16	25.73	6.51	18.45	584.00	0.30	483.18	1075.23	534.23
2009	12.10	26.03	6.53	19.06	720.70	0.29	570.97	1123.04	629.24
2010	11.53	25.28	6.53	18.40	1032.00	0.30	716.58	1071.73	763.46
2011	11.80	26.36	6.53	19.08	559.00	0.29	468.97	1124.09	521.88
2012	11.62	25.62	6.51	18.62	609.20	0.29	500.27	1088.46	553.07
2013	11.88	25.91	6.53	18.89	727.40	0.29	573.81	1109.47	630.77
2014	12.10	25.50	6.53	18.80	625.80	0.29	511.68	1102.02	566.00
2015	12.45	25.47	6.53	18.96	651.10	0.29	528.39	1114.95	584.46

Tabla B.47. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16096

Año	T min	T max	Month	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1950	7.49	26.35	6.53	16.92	744.80	0.32	569.76	965.38	609.10
1951	7.65	27.03	6.53	17.34	442.10	0.31	381.53	993.93	421.94
1952	8.25	26.84	6.51	17.54	680.30	0.31	538.16	1008.50	584.42
1953	6.83	26.49	6.53	16.66	538.60	0.32	446.00	947.89	487.05
1954	6.46	24.74	6.53	15.60	607.00	0.34	483.53	879.85	517.47
1955	6.04	25.52	6.53	15.78	571.60	0.33	463.02	890.88	499.09
1956	5.99	23.54	6.51	14.77	710.50	0.35	534.45	830.20	556.09
1957	5.86	26.44	6.53	16.15	555.80	0.33	454.88	914.39	493.30
1958	7.01	25.49	6.53	16.25	1327.70	0.33	754.48	920.92	769.30
1959	9.45	25.11	6.53	17.28	798.10	0.31	600.22	989.87	641.04
1960	8.98	26.14	6.51	17.56	489.90	0.31	416.25	1009.89	459.78
1961	8.45	27.96	6.53	18.20	605.60	0.30	496.07	1056.71	546.40
1962	8.42	26.35	6.53	17.39	764.90	0.31	583.99	997.38	627.02
1963	8.68	26.28	6.53	17.48	783.07	0.31	594.22	1003.95	637.59
1964	8.67	25.90	6.51	17.28	740.30	0.31	570.09	990.32	612.93
1965	8.63	25.72	6.53	17.17	841.00	0.31	620.28	982.68	658.23
1966	8.77	25.39	6.53	17.08	855.90	0.31	626.36	976.27	662.59
1967	9.07	25.15	6.53	17.11	1006.20	0.31	689.42	978.49	719.18
1968	8.58	25.14	6.51	16.86	799.60	0.32	597.29	961.12	633.70
1969	9.11	26.82	6.53	17.96	657.20	0.30	526.90	1038.87	576.36
1970	8.29	26.13	6.53	17.21	615.30	0.31	497.33	985.04	541.70
1971	8.56	25.61	6.53	17.09	751.60	0.31	574.64	976.66	615.28
1972	8.92	26.23	6.51	17.57	571.30	0.31	471.20	1010.78	517.35
1973	8.64	26.09	6.53	17.36	899.30	0.31	648.98	995.80	686.59
1974	8.10	25.52	6.53	16.81	593.80	0.32	481.98	957.73	523.95
1975	8.09	25.64	6.53	16.87	755.40	0.32	574.91	961.65	613.31
1976	8.67	25.49	6.51	17.08	650.30	0.31	517.78	976.13	560.97
1977	8.80	25.68	6.53	17.24	655.10	0.31	521.56	987.23	565.85
1978	8.82	25.42	6.53	17.12	763.80	0.31	581.29	978.77	621.78
1979	7.84	26.26	6.53	17.05	490.40	0.31	414.94	974.18	456.62
1980	9.42	26.26	6.51	17.84	846.30	0.30	629.09	1029.81	674.27
1981	9.43	26.20	6.53	17.81	815.40	0.30	613.55	1027.98	659.39
1982	8.58	27.33	6.53	17.95	498.30	0.30	423.37	1038.28	468.69
1983	8.52	26.43	6.53	17.47	663.10	0.31	527.65	1003.57	573.56
1984	8.65	26.15	6.51	17.40	598.10	0.31	487.56	998.42	533.07
1985	8.92	26.22	6.53	17.57	683.20	0.31	540.02	1010.49	586.46

Tabla B.48. Calculo de la evapotranspiración real de la estación 16120

Año	T min	T max	Month	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1950	8.85	25.50	6.53	17.17	774.57	0.31	587.34	982.65	627.98
1951	9.29	25.46	6.53	17.38	1020.26	0.31	698.27	996.80	731.07
1952	9.18	25.31	6.51	17.25	1184.95	0.31	748.15	987.68	774.73
1953	9.09	25.70	6.53	17.40	769.37	0.31	586.42	998.14	629.42
1954	7.69	24.29	6.53	15.99	865.30	0.33	618.88	904.11	642.11
1955	7.37	24.39	6.53	15.88	944.70	0.33	649.49	897.19	666.55
1956	6.73	24.00	6.51	15.36	909.50	0.34	629.18	865.41	642.39
1957	6.84	24.43	6.53	15.64	649.10	0.33	508.15	882.14	540.65
1958	8.27	23.00	6.53	15.63	1277.00	0.33	731.35	881.85	737.65
1959	7.78	22.95	6.53	15.36	988.50	0.34	657.39	865.48	665.77
1960	7.04	23.93	6.51	15.48	647.50	0.34	506.23	872.71	537.63
1961	7.06	23.77	6.53	15.42	635.70	0.34	499.09	868.54	530.54
1962	7.15	24.17	6.53	15.66	806.20	0.33	588.98	883.44	612.45
1963	7.48	23.88	6.53	15.68	864.10	0.33	614.82	884.82	634.66
1964	7.50	23.69	6.51	15.60	909.50	0.34	632.25	879.63	648.14
1965	7.79	23.89	6.53	15.84	766.30	0.33	571.69	894.66	599.54
1966	8.22	23.74	6.53	15.98	942.60	0.33	650.09	903.68	668.53
1967	8.18	23.94	6.53	16.06	1061.01	0.33	691.73	908.66	705.24
1968	8.07	23.67	6.51	15.87	1008.80	0.33	671.96	896.34	685.34
1969	8.48	24.86	6.53	16.67	834.80	0.32	612.40	948.24	645.01
1970	8.70	26.38	6.53	17.54	680.50	0.31	538.27	1008.43	584.52
1971	8.60	25.31	6.53	16.96	877.10	0.32	634.72	967.72	668.50
1972	8.72	24.40	6.51	16.56	906.90	0.32	643.19	941.28	670.71
1973	8.45	23.64	6.53	16.04	867.10	0.33	620.27	907.57	644.01
1974	7.83	23.37	6.53	15.60	684.40	0.34	527.43	879.81	557.86
1975	7.19	22.88	6.53	15.03	896.90	0.34	619.97	845.77	630.35
1976	7.25	21.36	6.51	14.31	1054.70	0.36	657.81	804.03	651.50
1977	7.10	20.09	6.53	13.60	1026.90	0.37	636.84	765.57	625.04
1978	7.29	20.46	6.53	13.88	1014.80	0.36	639.37	780.64	630.58
1979	7.57	21.79	6.53	14.68	780.30	0.35	567.04	825.11	582.52
1980	8.92	24.31	6.51	16.62	734.70	0.32	562.06	945.01	598.99
1981	9.08	24.18	6.53	16.63	786.70	0.32	588.88	945.87	623.55
1982	8.87	25.87	6.53	17.37	710.80	0.31	554.45	996.16	598.78
1983	7.75	25.35	6.53	16.55	585.10	0.32	475.26	940.21	515.70
1984	7.67	24.55	6.51	16.11	772.60	0.33	577.23	911.73	607.37
1985	7.94	24.68	6.53	16.31	799.40	0.32	592.13	924.58	622.79
1986	7.73	24.98	6.53	16.36	701.50	0.32	542.24	927.71	578.24
1987	7.94	26.35	6.53	17.15	618.80	0.31	499.16	980.68	543.11
1988	8.25	25.07	6.51	16.66	878.10	0.32	631.94	947.69	662.17

Año	T min	T max	Month	T mean	Pre	Coutange		Turc	
						X	ETR	L	ETR
1989	7.75	25.59	6.53	16.67	555.00	0.32	456.72	948.58	497.94
1990	8.93	25.03	6.53	16.98	1167.90	0.31	738.65	969.47	761.65
1991	8.20	26.31	6.53	17.25	864.30	0.31	631.99	988.22	669.83
1992	8.52	24.65	6.51	16.59	935.50	0.32	655.19	942.84	681.47
1993	7.93	26.36	6.53	17.15	861.50	0.31	629.60	980.69	666.31
1994	8.52	26.60	6.53	17.56	648.70	0.31	519.56	1009.80	566.19
1995	6.56	26.48	6.53	16.52	1092.52	0.32	709.06	938.38	727.46
1996	7.12	26.66	6.51	16.89	835.70	0.32	614.99	962.99	649.98
1997	7.63	26.64	6.53	17.13	793.70	0.31	596.77	979.90	636.27
1998	7.74	28.03	6.53	17.89	917.70	0.30	662.82	1033.29	706.18
1999	6.52	27.00	6.53	16.76	675.40	0.32	530.43	954.46	570.67
2000	6.53	27.27	6.51	16.90	893.20	0.32	641.24	964.04	673.58
2001	6.49	26.99	6.53	16.74	946.00	0.32	661.34	953.15	689.02
2002	7.86	27.62	6.53	17.74	884.14	0.30	646.08	1022.64	688.83
2003	6.97	24.90	6.53	15.94	861.30	0.33	616.57	900.83	639.47
2004	6.72	25.67	6.51	16.20	885.60	0.33	629.92	917.32	654.29
2005	7.93	27.30	6.53	17.62	935.50	0.31	667.58	1013.86	706.89
2006	7.83	26.57	6.53	17.20	863.46	0.31	631.08	984.65	668.36
2007	8.14	26.33	6.53	17.24	848.81	0.31	624.60	987.07	662.92
2008	11.68	25.50	6.51	18.59	1497.79	0.29	838.42	1085.80	894.65
2009	12.63	25.78	6.53	19.21	1330.98	0.29	823.23	1134.45	882.14
2010	12.09	25.30	6.53	18.70	1892.65	0.29	844.43	1094.10	959.31
2011	12.26	26.27	6.53	19.27	1592.33	0.29	867.40	1139.42	942.72

C. Calibración de modelos

- Ce_E_2

Tabla C.49. Serie anual del balance hídrico del periodo de calibración del modelo Ce_E_2

	P _{re} (mm)	E _{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm ³)	ΔV medido (Hm ³)	A (Millones m ²)	V P _{re} (Hm ³)	V E _{vo} (Hm ³)	V ETR (Hm ³)	V lago calculado (Hm ³)	ΔV calculado (Hm ³)	Nivel lago calculado (msnm)
1965	861.36	1850.70	642.84	1819.18	428.60	174.69	391.41	3465.78	656.55	568.52	387.17	133.27	1819.08
1966	902.52	1819.90	653.84	1819.24	454.00	25.40	412.01	3631.39	712.33	595.69	510.63	123.46	1819.37
1967	1104.20	1772.90	723.37	1820.11	818.04	364.04	440.27	4442.87	730.44	728.81	755.19	244.56	1819.97
1968	880.17	1725.00	636.91	1819.57	589.41	-228.64	444.35	3541.46	759.46	580.94	832.64	77.46	1820.14
1969	679.60	1901.50	558.44	1819.22	445.53	-143.87	437.86	2734.45	844.93	448.56	721.06	-111.59	1819.89
1970	654.29	2082.40	542.59	1818.85	296.03	-149.50	417.43	2632.61	911.80	431.85	548.43	-172.62	1819.47
1971	834.65	1929.70	637.62	1819.51	565.23	269.20	419.75	3358.31	805.52	550.89	565.31	16.87	1819.51
1972	776.05	1895.30	611.27	1819.39	516.89	-48.35	417.67	3122.52	795.56	512.22	550.11	-15.20	1819.47
1973	842.21	1959.70	642.16	1819.70	641.78	124.89	419.49	3388.72	818.50	555.88	563.37	13.26	1819.51
1974	609.15	1794.50	506.62	1819.46	545.09	-96.69	404.59	2450.98	752.77	402.06	466.38	-96.99	1819.27
1975	771.64	1820.20	598.85	1819.28	470.93	-74.16	408.10	3104.78	736.44	509.31	487.47	21.08	1819.32
1976	919.27	1756.80	664.61	1820.49	989.44	518.51	427.12	3698.78	716.95	606.75	618.91	131.44	1819.64
1977	724.71	1756.00	567.05	1819.80	682.07	-307.37	424.52	2915.95	750.02	478.33	600.02	-18.89	1819.60
1978	895.16	1753.90	656.91	1819.87	710.27	28.20	435.50	3601.77	744.57	590.83	697.24	97.22	1819.84
1979	590.02	1814.90	494.86	1819.17	424.37	-285.90	419.39	2374.01	790.39	389.43	562.68	-134.56	1819.50
1980	796.73	1705.80	617.00	1818.96	337.37	-87.00	426.48	3205.73	715.40	525.87	614.28	51.59	1819.63
1981	765.35	1778.30	598.26	1819.06	377.80	40.43	426.81	3079.47	758.41	505.15	616.64	2.37	1819.64
1982	467.33	2170.50	483.27	1818.75	264.36	-113.44	374.93	1880.35	926.38	308.45	310.95	-305.69	1818.89
1983	725.56	2367.80	575.27	1818.78	271.97	7.61	323.70	2919.37	887.76	478.89	201.30	-109.65	1818.53
1984	716.92	2152.30	572.98	1819.00	352.40	80.43	331.46	2884.61	696.69	473.19	212.62	11.32	1818.58
1985	767.23	2087.10	600.86	1818.82	284.76	-67.64	357.32	3087.03	691.78	506.40	260.40	47.78	1818.74
1986	671.28	1961.00	553.22	1818.80	277.99	-6.77	348.24	2700.97	700.70	443.07	238.93	-21.47	1818.67
1987	588.85	2024.00	505.01	1818.20	109.17	-168.82	294.21	2369.30	704.83	388.66	160.33	-78.61	1818.38
1988	764.61	2024.30	605.82	1818.95	333.61	224.45	361.18	3076.49	595.56	504.67	270.17	109.84	1818.77
1989	591.08	2061.90	508.65	1818.55	205.29	-128.32	298.94	2378.28	744.71	390.13	166.59	-103.57	1818.41
1990	907.81	2051.60	665.00	1819.24	454.00	248.71	386.75	3652.67	613.30	599.18	359.19	192.60	1819.02
1991	834.47	1912.70	645.62	1819.85	702.21	248.21	396.80	3357.58	739.74	550.78	419.56	60.37	1819.16
1992	917.13	1649.30	672.06	1819.90	723.32	21.11	423.29	3690.17	654.44	605.33	591.03	171.47	1819.57
1993	776.86	1847.30	613.80	1819.90	723.32	0.00	422.51	3125.78	781.94	512.75	585.40	-5.63	1819.56
1994	656.32	1795.70	557.07	1819.88	714.30	-9.02	412.88	2640.78	758.71	433.19	515.60	-69.79	1819.39
1995	865.91	1805.20	655.19	1819.78	674.01	-40.29	423.56	3484.08	745.32	571.53	593.02	77.42	1819.58
1996	617.96	1865.80	521.10	1819.02	360.87	-313.14	406.36	2486.43	790.28	407.87	476.98	-116.04	1819.29
1997	664.47	1779.60	549.94	1818.65	232.83	-128.04	399.56	2673.57	723.15	438.57	436.14	-40.84	1819.20
1998	882.22	2058.10	674.48	1819.74	657.90	425.06	405.74	3549.71	822.33	582.29	473.27	37.13	1819.29
1999	677.76	1915.20	563.27	1819.42	528.97	-128.92	394.45	2727.04	777.07	447.34	405.45	-67.81	1819.13

2000	627.02	1930.60	524.10	1819.08	386.27	-142.71	376.04	2522.88	761.53	413.85	314.45	-91.00	1818.90
2001	794.23	1817.70	619.56	1819.08	386.27	0.00	391.14	3195.67	683.52	524.22	385.52	71.08	1819.08
2002	920.32	1714.90	691.23	1818.78	271.97	-114.30	417.41	3703.01	670.76	607.44	548.29	162.76	1819.47
2003	869.64	1744.30	657.33	1819.76	665.95	393.99	429.61	3499.09	728.10	573.99	639.59	91.30	1819.69
2004	894.27	1479.30	664.09	1820.04	786.47	120.51	443.08	3598.19	635.52	590.25	808.51	168.93	1820.09
2005	639.52	1619.40	584.40	1819.37	508.83	-277.64	440.25	2573.18	717.52	422.10	754.94	-53.58	1819.97
2006	740.91	1900.60	595.59	1820.22	867.66	358.83	434.68	2981.13	836.75	489.02	689.24	-65.70	1819.82
2007	754.68	1694.50	607.25	1819.95	745.87	-121.78	435.68	3036.54	736.57	498.11	699.05	9.80	1819.84

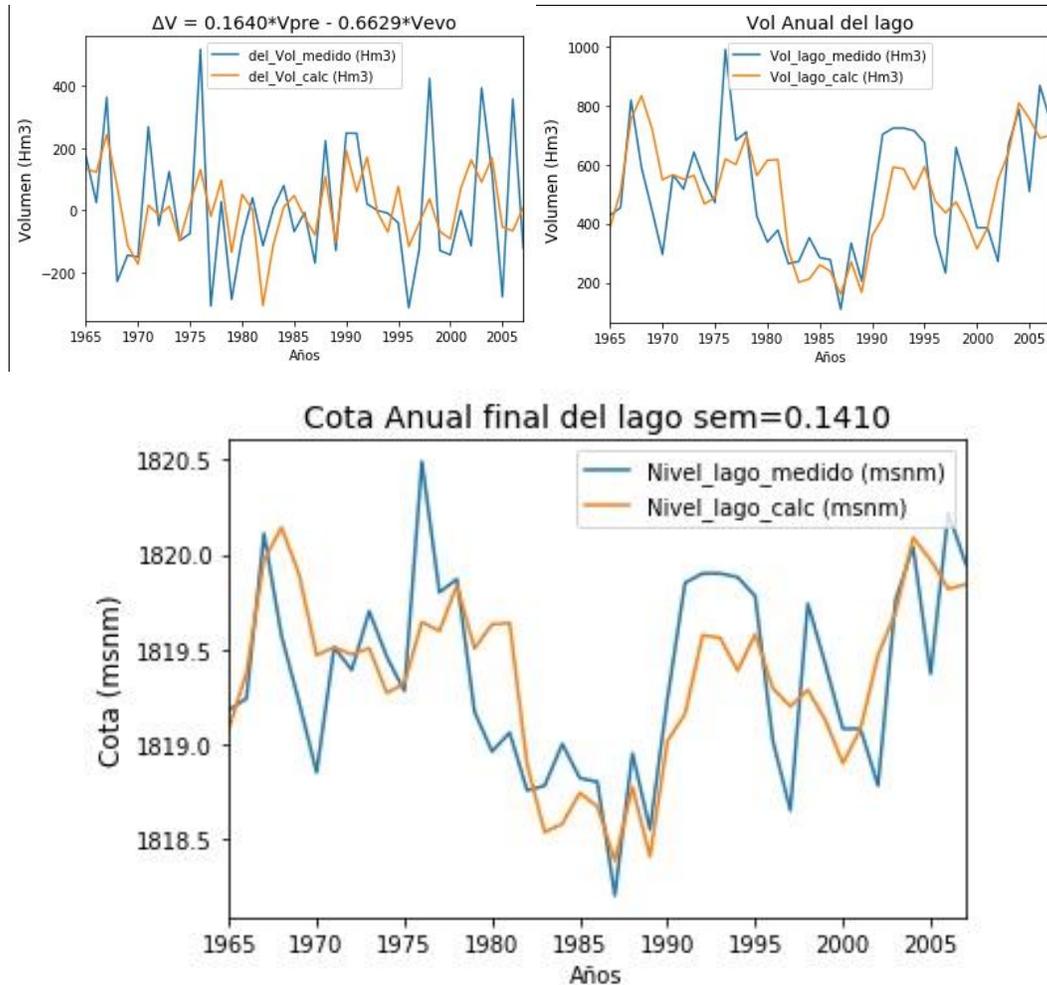


Figura C.0.1. ΔV, Volumen y cota del periodo de calibración del modelo Ce_E_2

Tabla C.50. Serie anual del balance hídrico del periodo de prueba del modelo Ce_E_2

P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago
--------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------	-----------------------------	------------------------------------------------	--------------------------------------------	--------------------------------------------	-----------------------------------------	-----------------------------------------	----------------------------------------	---------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------

	medido												calculado
	(msnm)												(msnm)
1950	684.40	2074.00	556.08	1818.89	310.61	27.84	343.60	2753.76	759.12	451.72	231.24	-51.53	1818.64
1951	647.14	2008.60	531.60	1818.32	142.68	-167.93	323.37	2603.84	690.16	427.13	200.83	-30.41	1818.53
1952	824.95	2051.60	628.00	1818.78	271.97	129.29	373.21	3319.28	663.44	544.49	305.50	104.67	1818.88
1953	641.13	1863.90	534.25	1818.29	134.30	-137.66	360.13	2579.66	695.62	423.17	267.51	-37.99	1818.77
1954	751.20	1744.60	591.42	1818.47	184.13	49.83	384.57	3022.54	628.28	495.81	346.81	79.30	1818.99
1955	753.74	1800.10	584.33	1819.36	504.80	320.67	391.11	3032.76	692.27	497.49	385.36	38.55	1819.08
1956	751.79	1857.90	574.60	1819.15	415.90	-88.90	393.52	3024.91	726.64	496.20	399.84	14.48	1819.11
1957	590.44	1938.40	497.79	1818.56	208.04	-207.86	366.36	2375.70	762.79	389.71	283.85	-115.98	1818.82
1958	1252.40	1800.80	762.57	1819.94	741.36	533.32	433.03	5039.17	659.74	826.62	673.10	389.25	1819.78
1959	919.66	1777.00	663.39	1819.66	625.67	-115.70	441.05	3700.35	769.50	607.00	769.97	96.86	1820.00
1960	582.07	2025.00	494.15	1818.67	238.85	-386.81	419.31	2342.02	893.12	384.18	562.06	-207.91	1819.50
1961	640.90	1944.40	533.12	1818.96	337.76	98.91	400.96	2578.73	815.30	423.01	444.57	-117.49	1819.22
1962	751.90	2041.70	592.41	1818.51	194.71	-143.05	393.23	3025.35	818.65	496.28	398.13	-46.44	1819.11
1963	854.80	1918.40	644.14	1818.88	307.31	112.59	403.90	3439.38	754.38	564.19	462.21	64.08	1819.26
1964	832.89	1910.30	634.91	1818.72	253.91	-53.40	410.26	3351.22	771.57	549.73	500.43	38.22	1819.35

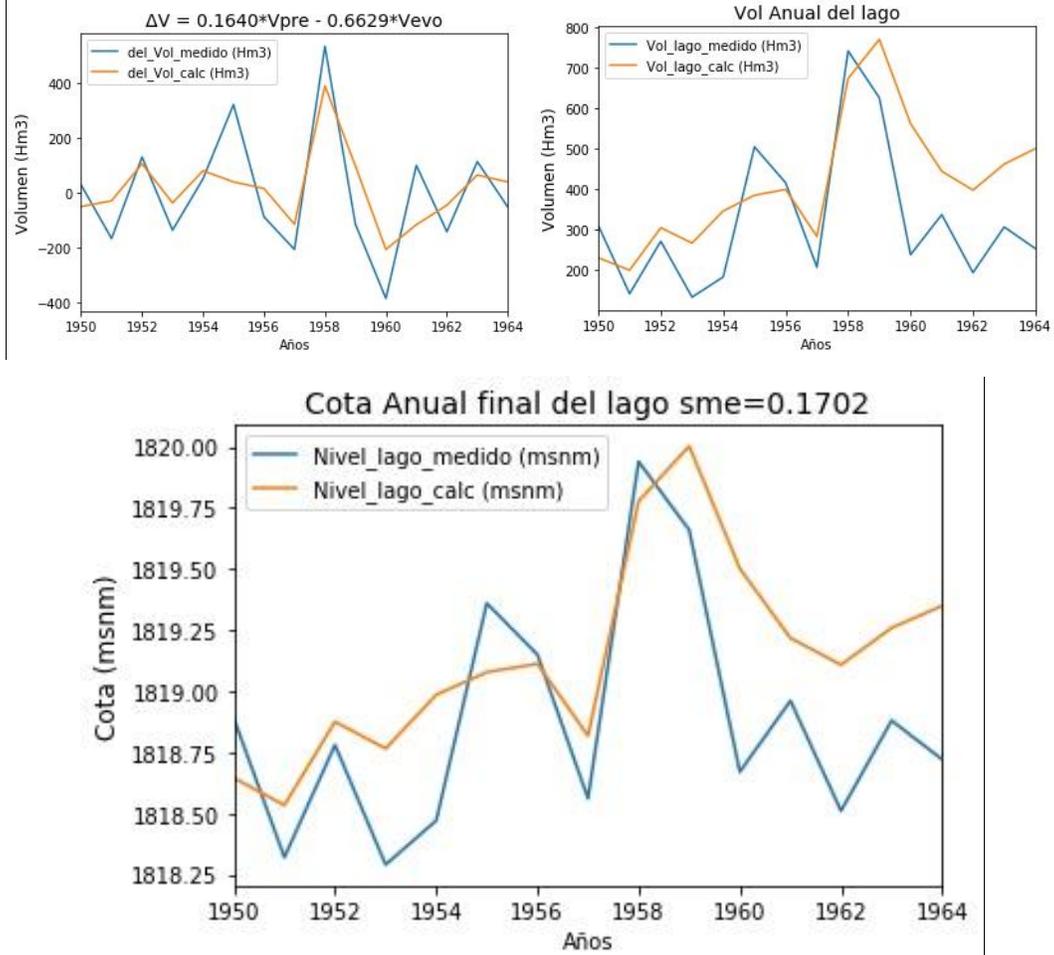


Figura C.0.2. ΔV , Volumen y cota del periodo de prueba del modelo Ce_E_2

- Ci_E_1

Tabla C.51. Serie anual del balance hídrico del periodo de calibración del modelo Ci_E_1

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V infiltración (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1950	684.40	2074.00	556.08	1818.89	310.61	27.84	319.66	2753.76	759.12	2216.85	2237.45	195.41	-87.36	1818.51
1951	647.14	2008.60	531.60	1818.32	142.68	-167.93	303.73	2603.84	642.06	2096.17	2138.95	172.94	-22.48	1818.43
1952	824.95	2051.60	628.00	1818.78	271.97	129.29	371.28	3319.28	623.12	2672.11	2526.83	299.41	126.47	1818.86
1953	641.13	1863.90	534.25	1818.29	134.30	-137.66	344.50	2579.66	692.03	2076.70	2149.61	232.73	-66.67	1818.65
1954	751.20	1744.60	591.42	1818.47	184.13	49.83	378.18	3022.54	601.02	2433.23	2379.64	321.22	88.48	1818.92
1955	753.74	1800.10	584.33	1819.36	504.80	320.67	384.85	3032.76	680.76	2441.46	2351.12	348.29	27.08	1818.99
1956	751.79	1857.90	574.60	1819.15	415.90	-88.90	384.55	3024.91	715.02	2435.14	2311.97	346.70	-1.59	1818.98
1957	590.44	1938.40	497.79	1818.56	208.04	-207.86	322.43	2375.70	745.42	1912.51	2002.91	199.46	-147.24	1818.53
1958	1252.40	1800.80	762.57	1819.94	741.36	533.32	433.90	5039.17	580.64	4056.68	3068.28	681.57	482.11	1819.80
1959	919.66	1777.00	663.39	1819.66	625.67	-115.70	440.62	3700.35	771.04	2978.89	2669.22	761.91	80.34	1819.99
1960	582.07	2025.00	494.15	1818.67	238.85	-386.81	408.82	2342.02	892.26	1885.40	1988.27	491.77	-270.14	1819.33
1961	640.90	1944.40	533.12	1818.96	337.76	98.91	383.90	2578.73	794.91	2075.95	2145.07	343.24	-148.54	1818.98
1962	751.90	2041.70	592.41	1818.51	194.71	-143.05	367.38	3025.35	783.82	2435.50	2383.63	287.10	-56.14	1818.83
1963	854.80	1918.40	644.14	1818.88	307.31	112.59	388.75	3439.38	704.79	2768.80	2591.77	371.20	84.10	1819.04
1964	832.89	1910.30	634.91	1818.72	253.91	-53.40	395.00	3351.22	742.63	2697.83	2554.63	408.75	37.56	1819.13
1965	861.36	1850.70	642.84	1819.18	428.60	174.69	406.35	3465.78	731.03	2790.05	2586.54	476.96	68.21	1819.29
1966	902.52	1819.90	653.84	1819.24	454.00	25.40	420.32	3631.39	739.52	2923.37	2630.80	569.42	92.46	1819.52
1967	1104.20	1772.90	723.37	1820.11	818.04	364.04	443.12	4442.87	745.18	3576.64	2910.56	809.27	239.85	1820.09
1968	880.17	1725.00	636.91	1819.57	589.41	-228.64	446.06	3541.46	764.38	2850.98	2562.68	865.17	55.89	1820.21
1969	679.60	1901.50	558.44	1819.22	445.53	-143.87	436.14	2734.45	848.19	2201.31	2246.94	703.46	-161.70	1819.85
1970	654.29	2082.40	542.59	1818.85	296.03	-149.50	406.03	2632.61	908.21	2119.32	2183.17	475.04	-228.42	1819.29
1971	834.65	1929.70	637.62	1819.51	565.23	269.20	407.10	3358.31	783.52	2703.53	2565.53	481.46	6.41	1819.30
1972	776.05	1895.30	611.27	1819.39	516.89	-48.35	402.40	3122.52	771.58	2513.72	2459.51	453.22	-28.23	1819.24
1973	842.21	1959.70	642.16	1819.70	641.78	124.89	403.75	3388.72	788.59	2728.02	2583.80	461.30	8.08	1819.26
1974	609.15	1794.50	506.62	1819.46	545.09	-96.69	384.19	2450.98	724.52	1973.11	2038.44	344.74	-116.56	1818.98
1975	771.64	1820.20	598.85	1819.28	470.93	-74.16	388.65	3104.78	699.30	2499.44	2409.54	370.58	25.84	1819.04
1976	919.27	1756.80	664.61	1820.49	989.44	518.51	413.63	3698.78	682.78	2977.63	2674.13	520.71	150.13	1819.40

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V infiltración (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1977	724.71	1756.00	567.05	1819.80	682.07	-307.37	408.48	2915.95	726.33	2347.42	2281.59	489.75	-30.97	1819.32
1978	895.16	1753.90	656.91	1819.87	710.27	28.20	423.83	3601.77	716.44	2899.53	2643.15	595.00	105.25	1819.58
1979	590.02	1814.90	494.86	1819.17	424.37	-285.90	398.30	2374.01	769.21	1911.15	1991.12	428.55	-166.45	1819.18
1980	796.73	1705.80	617.00	1818.96	337.37	-87.00	408.37	3205.73	679.41	2580.71	2482.57	489.07	60.52	1819.32
1981	765.35	1778.30	598.26	1819.06	377.80	40.43	408.32	3079.47	726.20	2479.06	2407.16	488.81	-0.26	1819.32
1982	467.33	2170.50	483.27	1818.75	264.36	-113.44	276.60	1880.35	886.27	1513.74	1944.49	137.01	-351.80	1818.30
1983	725.56	2367.80	575.27	1818.78	271.97	7.61	296.51	2919.37	654.93	2350.18	2314.66	163.38	26.36	1818.39
1984	716.92	2152.30	572.98	1819.00	352.40	80.43	320.43	2884.61	638.17	2322.19	2305.45	196.54	33.17	1818.52
1985	767.23	2087.10	600.86	1818.82	284.76	-67.64	350.57	3087.03	668.78	2485.15	2417.63	243.29	46.75	1818.68
1986	671.28	1961.00	553.22	1818.80	277.99	-6.77	324.83	2700.97	687.46	2174.36	2225.94	202.95	-40.34	1818.54
1987	588.85	2024.00	505.01	1818.20	109.17	-168.82	267.05	2369.30	657.46	1907.36	2031.96	124.36	-78.59	1818.25
1988	764.61	2024.30	605.82	1818.95	333.61	224.45	361.48	3076.49	540.58	2476.66	2437.58	270.93	146.57	1818.78
1989	591.08	2061.90	508.65	1818.55	205.29	-128.32	266.95	2378.28	745.33	1914.58	2046.61	124.24	-146.69	1818.25
1990	907.81	2051.60	665.00	1819.24	454.00	248.71	389.05	3652.67	547.68	2940.51	2675.70	373.01	248.77	1819.05

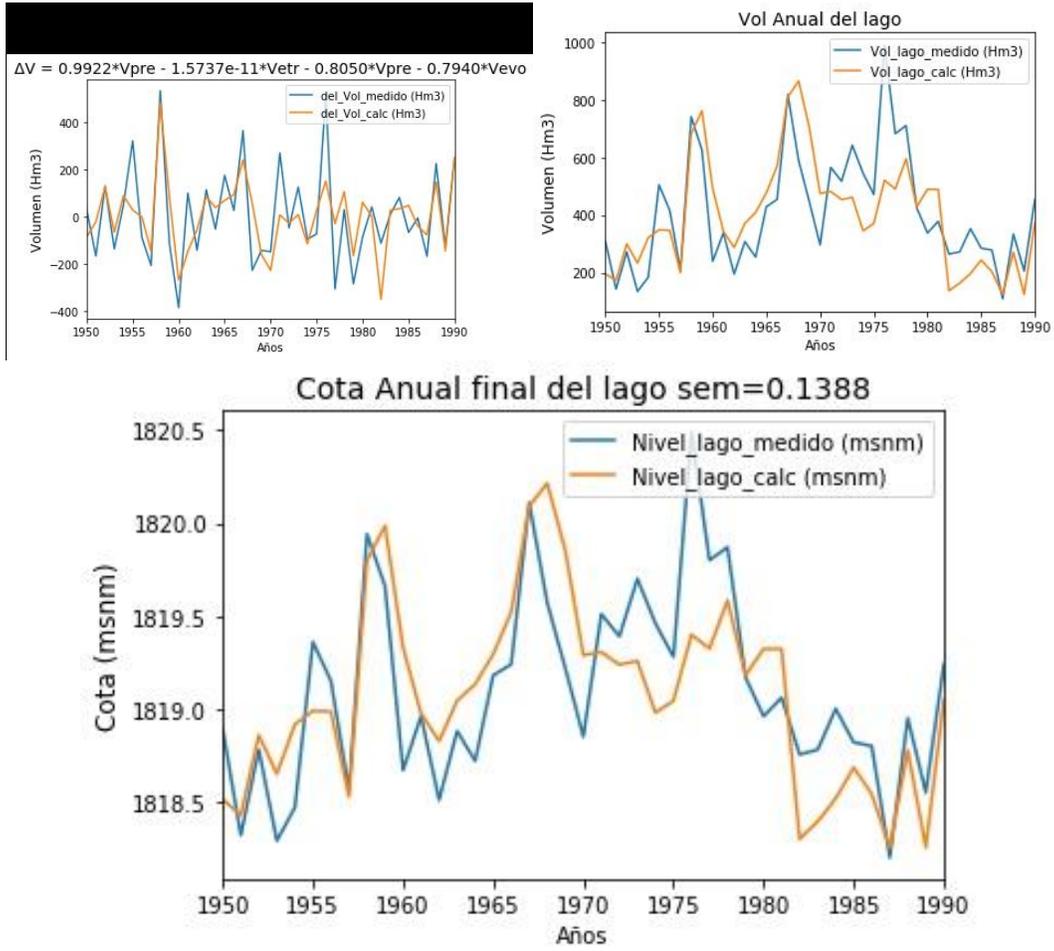


Figura C.0.3. ΔV, Volumen y cota del periodo de calibración del modelo Ci_E_1

Tabla C.52. Serie anual del balance hídrico del periodo de prueba del modelo Ci_E_1

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V infiltración (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1991	834.47	1912.70	645.62	1819.85	702.21	248.21	405.37	3357.58	769.92	2702.95	2597.72	471.08	17.08	1819.28
1992	917.13	1649.30	672.06	1819.90	723.32	21.11	428.72	3690.17	668.58	2970.70	2704.11	630.87	159.79	1819.67
1993	776.86	1847.30	613.80	1819.90	723.32	0.00	422.74	3125.78	791.97	2516.34	2469.69	587.05	-43.82	1819.56
1994	656.32	1795.70	557.07	1819.88	714.30	-9.02	406.62	2640.78	759.12	2125.90	2241.43	478.54	-108.50	1819.30
1995	865.91	1805.20	655.19	1819.78	674.01	-40.29	417.35	3484.08	734.02	2804.79	2636.23	547.80	69.26	1819.47
1996	617.96	1865.80	521.10	1819.02	360.87	-313.14	392.69	2486.43	778.69	2001.65	2096.70	394.87	-152.93	1819.10
1997	664.47	1779.60	549.94	1818.65	232.83	-128.04	383.37	2673.57	698.83	2152.30	2212.74	340.37	-54.50	1818.97
1998	882.22	2058.10	674.48	1819.74	657.90	425.06	389.92	3549.71	789.01	2857.62	2713.84	378.25	37.88	1819.06
1999	677.76	1915.20	563.27	1819.42	528.97	-128.92	370.10	2727.04	746.78	2195.35	2266.38	295.68	-82.57	1818.85
2000	627.02	1930.60	524.10	1819.08	386.27	-142.71	323.16	2522.88	714.52	2030.99	2108.77	200.53	-95.16	1818.53
2001	794.23	1817.70	619.56	1819.08	386.27	0.00	381.66	3195.67	587.42	2572.61	2492.87	332.21	131.69	1818.95
2002	920.32	1714.90	691.23	1818.78	271.97	-114.30	411.12	3703.01	654.51	2981.03	2781.24	505.59	173.37	1819.36
2003	869.64	1744.30	657.33	1819.76	665.95	393.99	423.29	3499.09	717.12	2816.87	2644.84	591.07	85.49	1819.57
2004	894.27	1479.30	664.09	1820.04	786.47	120.51	440.91	3598.19	626.18	2896.65	2672.04	767.32	176.25	1820.00
2005	639.52	1619.40	584.40	1819.37	508.83	-277.64	433.94	2573.18	714.00	2071.48	2351.40	681.99	-85.34	1819.80
2006	740.91	1900.60	595.59	1820.22	867.66	358.83	422.47	2981.13	824.75	2399.90	2396.42	585.07	-96.92	1819.56
2007	754.68	1694.50	607.25	1819.95	745.87	-121.78	422.46	3036.54	715.87	2444.50	2443.34	584.97	-0.10	1819.56

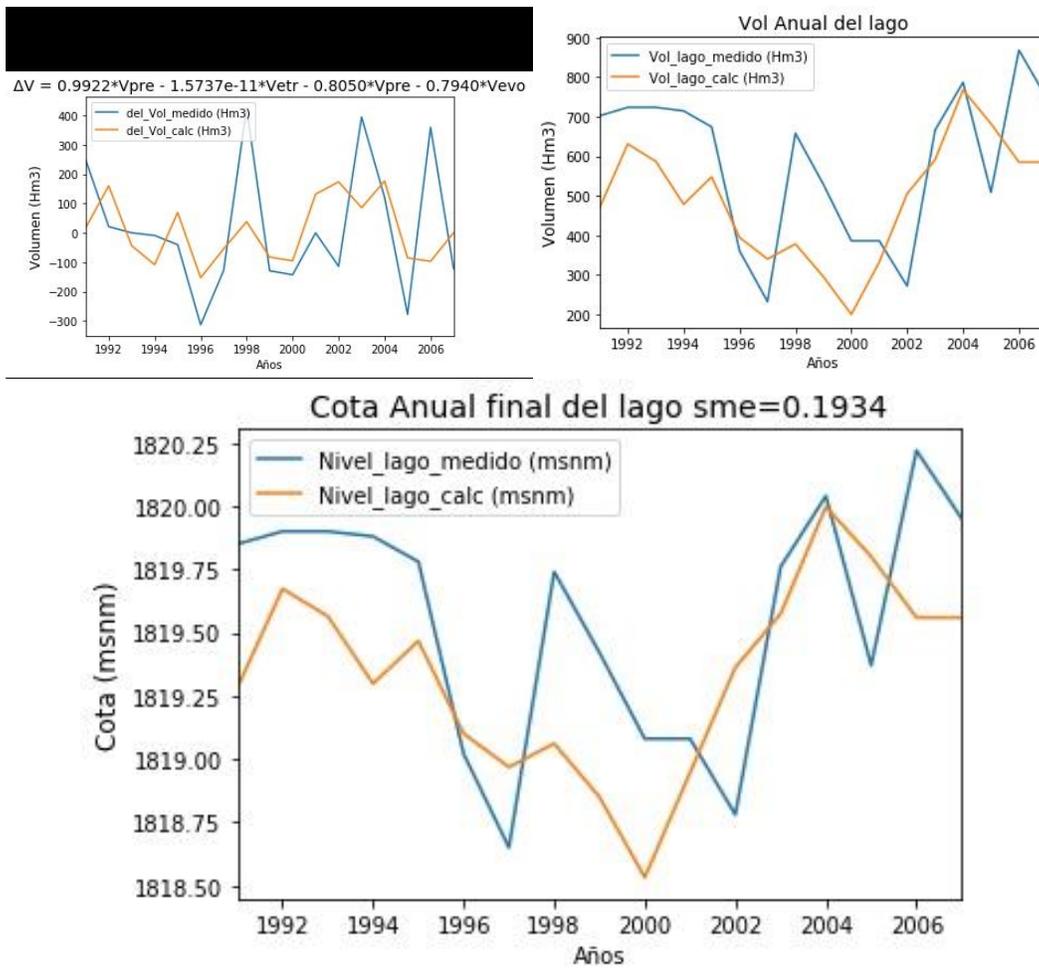


Figura C.0.4. ΔV , Volumen y cota del periodo de prueba del modelo Ci_E_1

- Ci_E_2

Tabla C.53. Serie anual del balance hídrico del periodo de calibración del modelo Ci_E_2

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V infiltración (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1965	861.36	1850.70	642.84	1819.18	428.60	174.69	385.80	3465.78	656.55	954.83	2586.54	353.46	99.55	1819.00
1966	902.52	1819.90	653.84	1819.24	454.00	25.40	409.37	3631.39	702.12	1000.45	2630.80	495.08	141.62	1819.34
1967	1104.20	1772.90	723.37	1820.11	818.04	364.04	445.35	4442.87	725.77	1224.02	2910.56	851.65	356.56	1820.18
1968	880.17	1725.00	636.91	1819.57	589.41	-228.64	451.90	3541.46	768.23	975.68	2562.68	974.25	122.60	1820.46
1969	679.60	1901.50	558.44	1819.22	445.53	-143.87	446.78	2734.45	859.29	753.35	2246.94	878.74	-95.50	1820.24
1970	654.29	2082.40	542.59	1818.85	296.03	-149.50	440.29	2632.61	930.37	725.29	2183.17	755.69	-123.05	1819.97
1971	834.65	1929.70	637.62	1819.51	565.23	269.20	441.50	3358.31	849.63	925.22	2565.53	778.66	22.96	1820.02
1972	776.05	1895.30	611.27	1819.39	516.89	-48.35	440.15	3122.52	836.78	860.26	2459.51	752.92	-25.74	1819.97
1973	842.21	1959.70	642.16	1819.70	641.78	124.89	441.44	3388.72	862.56	933.60	2583.80	777.54	24.62	1820.02
1974	609.15	1794.50	506.62	1819.46	545.09	-96.69	433.24	2450.98	792.17	675.25	2038.44	675.08	-102.46	1819.78
1975	771.64	1820.20	598.85	1819.28	470.93	-74.16	433.39	3104.78	788.58	855.37	2409.54	676.59	1.50	1819.79
1976	919.27	1756.80	664.61	1820.49	989.44	518.51	443.38	3698.78	761.38	1019.02	2674.13	814.20	137.61	1820.10
1977	724.71	1756.00	567.05	1819.80	682.07	-307.37	442.55	2915.95	778.57	803.35	2281.59	798.45	-15.74	1820.07
1978	895.16	1753.90	656.91	1819.87	710.27	28.20	448.19	3601.77	776.18	992.30	2643.15	905.52	107.07	1820.30
1979	590.02	1814.90	494.86	1819.17	424.37	-285.90	442.02	2374.01	813.42	654.04	1991.12	788.42	-117.10	1820.04
1980	796.73	1705.80	617.00	1818.96	337.37	-87.00	442.89	3205.73	754.00	883.19	2482.57	804.94	16.52	1820.08
1981	765.35	1778.30	598.26	1819.06	377.80	40.43	442.45	3079.47	787.59	848.40	2407.16	796.58	-8.37	1820.06
1982	467.33	2170.50	483.27	1818.75	264.36	-113.44	402.40	1880.35	960.33	518.04	1944.49	453.23	-343.35	1819.24
1983	725.56	2367.80	575.27	1818.78	271.97	7.61	391.34	2919.37	952.81	804.29	2314.66	386.73	-66.49	1819.08
1984	716.92	2152.30	572.98	1819.00	352.40	80.43	381.57	2884.61	842.27	794.71	2305.45	331.95	-54.78	1818.95
1985	767.23	2087.10	600.86	1818.82	284.76	-67.64	377.75	3087.03	796.38	850.48	2417.63	319.86	-12.09	1818.91
1986	671.28	1961.00	553.22	1818.80	277.99	-6.77	350.94	2700.97	740.77	744.12	2225.94	244.24	-75.62	1818.69
1987	588.85	2024.00	505.01	1818.20	109.17	-168.82	267.80	2369.30	710.30	652.75	2031.96	125.36	-118.88	1818.26
1988	764.61	2024.30	605.82	1818.95	333.61	224.45	286.62	3076.49	542.11	847.58	2437.58	150.29	24.93	1818.35
1989	591.08	2061.90	508.65	1818.55	205.29	-128.32	200.00	2378.28	590.99	655.22	2046.61	52.30	-97.98	1818.00
1990	907.81	2051.60	665.00	1819.24	454.00	248.71	348.95	3652.67	410.32	1006.32	2675.70	240.13	187.82	1818.67
1991	834.47	1912.70	645.62	1819.85	702.21	248.21	366.27	3357.58	667.45	925.02	2597.72	283.59	43.46	1818.82

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V infiltración (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1992	917.13	1649.30	672.06	1819.90	723.32	21.11	399.24	3690.17	604.10	1016.65	2704.11	434.23	150.64	1819.19
1993	776.86	1847.30	613.80	1819.90	723.32	0.00	397.71	3125.78	737.52	861.16	2469.69	425.02	-9.21	1819.17
1994	656.32	1795.70	557.07	1819.88	714.30	-9.02	377.84	2640.78	714.16	727.54	2241.43	320.15	-104.86	1818.91
1995	865.91	1805.20	655.19	1819.78	674.01	-40.29	393.12	3484.08	682.08	959.87	2636.23	397.48	77.33	1819.11
1996	617.96	1865.80	521.10	1819.02	360.87	-313.14	369.33	2486.43	733.49	685.02	2096.70	293.25	-104.23	1818.84
1997	664.47	1779.60	549.94	1818.65	232.83	-128.04	342.33	2673.57	657.26	736.57	2212.74	229.13	-64.12	1818.64
1998	882.22	2058.10	674.48	1819.74	657.90	425.06	368.87	3549.71	704.55	977.95	2713.84	291.78	62.65	1818.84
1999	677.76	1915.20	563.27	1819.42	528.97	-128.92	332.60	2727.04	706.45	751.31	2266.38	214.28	-77.50	1818.58
2000	627.02	1930.60	524.10	1819.08	386.27	-142.71	277.95	2522.88	642.11	695.06	2108.77	138.80	-75.48	1818.31
2001	794.23	1817.70	619.56	1819.08	386.27	0.00	320.29	3195.67	505.23	880.41	2492.87	196.33	57.52	1818.52
2002	920.32	1714.90	691.23	1818.78	271.97	-114.30	379.31	3703.01	549.26	1020.19	2781.24	324.78	128.45	1818.93
2003	869.64	1744.30	657.33	1819.76	665.95	393.99	394.98	3499.09	661.62	964.01	2644.84	408.60	83.82	1819.13
2004	894.27	1479.30	664.09	1820.04	786.47	120.51	416.08	3598.19	584.29	991.31	2672.04	538.55	129.95	1819.44
2005	639.52	1619.40	584.40	1819.37	508.83	-277.64	386.23	2573.18	673.79	708.92	2351.40	356.07	-182.48	1819.01
2006	740.91	1900.60	595.59	1820.22	867.66	358.83	377.87	2981.13	734.08	821.31	2396.42	320.24	-35.83	1818.91
2007	754.68	1694.50	607.25	1819.95	745.87	-121.78	372.87	3036.54	640.30	836.57	2443.34	304.44	-15.80	1818.87

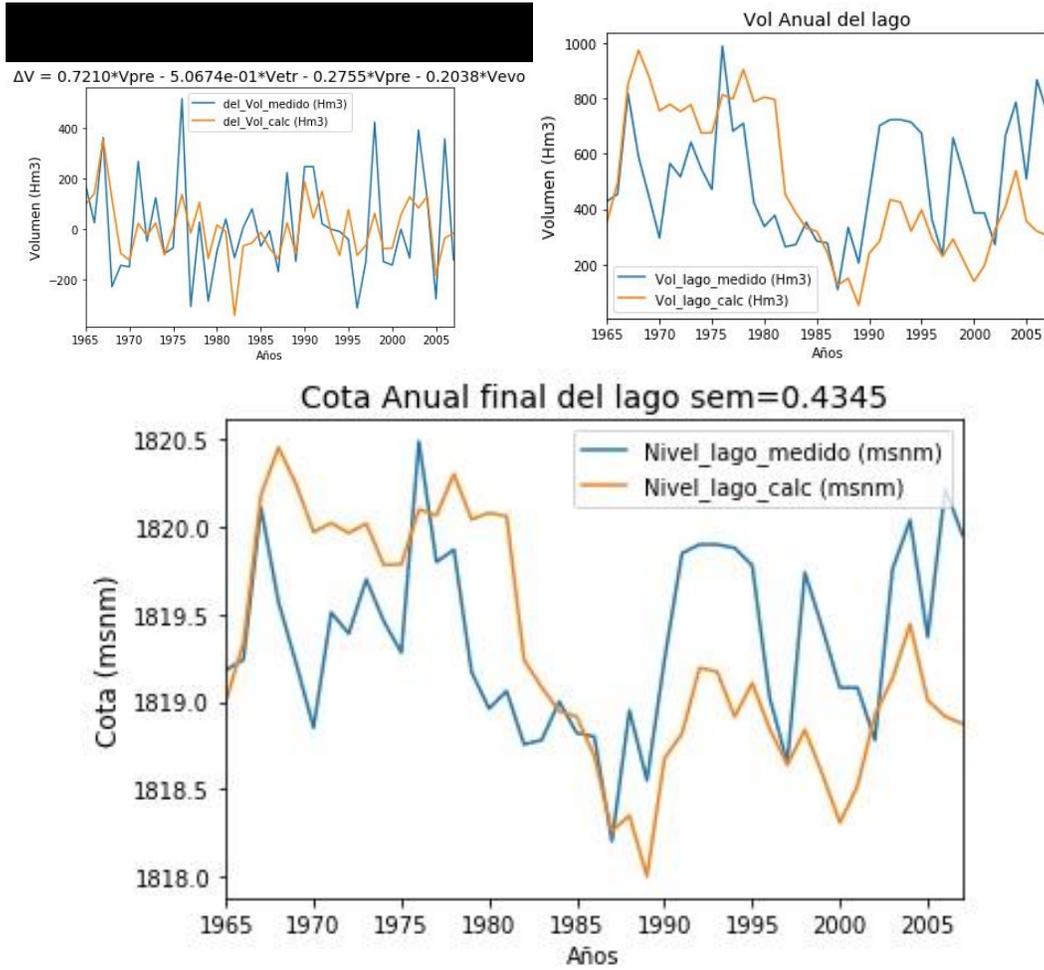


Figura C.0.5. ΔV , Volumen y cota del periodo de calibración del modelo Ci_E_2

Tabla C.54. Serie anual del balance hídrico del periodo de prueba del modelo Ci_E_2

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V infiltración (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1950	684.40	2074.00	556.08	1818.89	310.61	27.84	337.27	2753.76	759.12	758.67	2237.45	221.10	-61.67	1818.61
1951	647.14	2008.60	531.60	1818.32	142.68	-167.93	293.35	2603.84	677.44	717.36	2138.95	159.19	-61.90	1818.38
1952	824.95	2051.60	628.00	1818.78	271.97	129.29	345.80	3319.28	601.84	914.47	2526.83	234.89	75.69	1818.66
1953	641.13	1863.90	534.25	1818.29	134.30	-137.66	296.61	2579.66	644.54	710.70	2149.61	163.51	-71.37	1818.39
1954	751.20	1744.60	591.42	1818.47	184.13	49.83	321.97	3022.54	517.47	832.71	2379.64	198.78	35.27	1818.53
1955	753.74	1800.10	584.33	1819.36	504.80	320.67	349.12	3032.76	579.58	835.53	2351.12	240.40	41.62	1818.68
1956	751.79	1857.90	574.60	1819.15	415.90	-88.90	366.50	3024.91	648.63	833.37	2311.97	284.29	43.89	1818.82
1957	590.44	1938.40	497.79	1818.56	208.04	-207.86	311.12	2375.70	710.42	654.51	2002.91	182.96	-101.33	1818.47
1958	1252.40	1800.80	762.57	1819.94	741.36	533.32	440.47	5039.17	560.27	1388.30	3068.28	759.00	576.03	1819.98
1959	919.66	1777.00	663.39	1819.66	625.67	-115.70	447.66	3700.35	782.71	1019.45	2669.22	895.44	136.45	1820.28
1960	582.07	2025.00	494.15	1818.67	238.85	-386.81	439.81	2342.02	906.51	645.23	1988.27	746.56	-148.88	1819.95
1961	640.90	1944.40	533.12	1818.96	337.76	98.91	429.06	2578.73	855.17	710.45	2145.07	634.15	-112.41	1819.68
1962	751.90	2041.70	592.41	1818.51	194.71	-143.05	423.91	3025.35	876.00	833.49	2383.63	595.58	-38.57	1819.59
1963	854.80	1918.40	644.14	1818.88	307.31	112.59	430.55	3439.38	813.23	947.56	2591.77	648.79	53.21	1819.72
1964	832.89	1910.30	634.91	1818.72	253.91	-53.40	433.70	3351.22	822.48	923.27	2554.63	679.66	30.87	1819.79

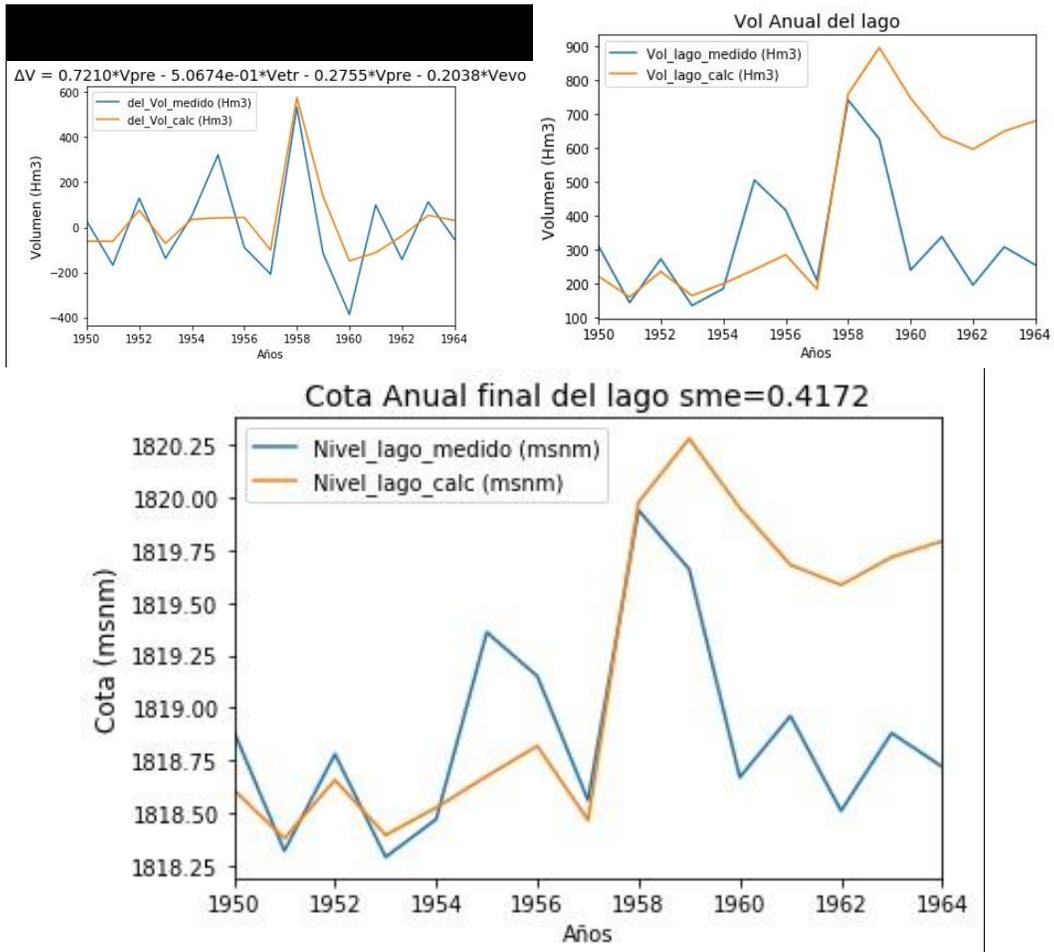


Figura C.0.6. ΔV, Volumen y cota del periodo de prueba del modelo Ci_E_2

D. Propuestas modeladas

- A360

Tabla C.55. Serie anual del balance hídrico de la propuesta A360

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1950	684.40	2074.00	556.08	320.21	2753.76	759.12	517.04	196.22	-86.55	1818.52	1950	684.40	2074.00
1951	647.14	2008.60	531.60	304.31	2603.84	643.18	488.89	173.70	-22.51	1818.43	1951	647.14	2008.60
1952	824.95	2051.60	628.00	360.00	3319.28	624.31	623.22	300.52	126.81	1818.84	1952	824.95	2051.60
1953	641.13	1863.90	534.25	352.23	2579.66	671.00	484.35	251.34	-49.18	1818.70	1953	641.13	1863.90
1954	751.20	1744.60	591.42	360.00	3022.54	614.50	567.50	330.23	78.90	1818.92	1954	751.20	1744.60
1955	753.74	1800.10	584.33	360.00	3032.76	648.04	569.42	384.39	54.15	1819.07	1955	753.74	1800.10
1956	751.79	1857.90	574.60	360.00	3024.91	668.84	567.95	420.53	36.14	1819.17	1956	751.79	1857.90
1957	590.44	1938.40	497.79	360.00	2375.70	697.82	446.06	311.73	-108.80	1818.87	1957	590.44	1938.40
1958	1252.40	1800.80	762.57	360.00	5039.17	648.29	946.14	742.40	430.67	1820.06	1958	1252.40	1800.80
1959	919.66	1777.00	663.39	443.83	3700.35	639.72	694.77	928.51	186.11	1820.26	1959	919.66	1777.00
1960	582.07	2025.00	494.15	360.00	2342.02	898.75	439.73	653.63	-274.88	1819.82	1960	582.07	2025.00
1961	640.90	1944.40	533.12	360.00	2578.73	699.98	484.18	581.23	-72.40	1819.62	1961	640.90	1944.40
1962	751.90	2041.70	592.41	360.00	3025.35	735.01	568.03	564.84	-16.39	1819.57	1962	751.90	2041.70
1963	854.80	1918.40	644.14	360.00	3439.38	690.62	645.77	661.48	96.64	1819.84	1963	854.80	1918.40
1964	832.89	1910.30	634.91	360.00	3351.22	687.71	629.22	743.89	82.41	1820.07	1964	832.89	1910.30
1965	861.36	1850.70	642.84	437.32	3465.78	666.25	650.73	864.86	120.97	1820.26	1965	861.36	1850.70
1966	902.52	1819.90	653.84	442.52	3631.39	795.87	681.82	913.87	49.01	1820.26	1966	902.52	1819.90
1967	1104.20	1772.90	723.37	459.52	4442.87	784.54	834.18	1124.24	210.37	1820.76	1967	1104.20	1772.90
1968	880.17	1725.00	636.91	461.17	3541.46	792.67	664.94	1158.91	34.67	1820.84	1968	880.17	1725.00
1969	679.60	1901.50	558.44	447.97	2734.45	876.91	513.41	975.07	-183.84	1820.29	1969	679.60	1901.50
1970	654.29	2082.40	542.59	360.00	2632.61	932.86	494.29	727.62	-247.45	1820.02	1970	654.29	2082.40
1971	834.65	1929.70	637.62	360.00	3358.31	694.69	630.55	805.81	78.18	1820.24	1971	834.65	1929.70
1972	776.05	1895.30	611.27	427.43	3122.52	682.31	586.28	849.57	43.76	1820.26	1972	776.05	1895.30
1973	842.21	1959.70	642.16	390.31	3388.72	837.64	636.26	819.80	-29.77	1820.26	1973	842.21	1959.70
1974	609.15	1794.50	506.62	360.00	2450.98	700.40	460.19	723.08	-96.72	1820.01	1974	609.15	1794.50
1975	771.64	1820.20	598.85	360.00	3104.78	655.27	582.95	785.01	61.92	1820.18	1975	771.64	1820.20
1976	919.27	1756.80	664.61	448.11	3698.78	632.45	694.47	976.61	191.60	1820.30	1976	919.27	1756.80
1977	724.71	1756.00	567.05	441.15	2915.95	786.88	547.49	898.43	-78.18	1820.26	1977	724.71	1756.00
1978	895.16	1753.90	656.91	446.59	3601.77	773.72	676.26	959.49	61.05	1820.26	1978	895.16	1753.90
1979	590.02	1814.90	494.86	360.00	2374.01	810.51	445.74	760.77	-198.71	1820.12	1979	590.02	1814.90
1980	796.73	1705.80	617.00	438.79	3205.73	614.09	601.90	874.40	113.62	1820.26	1980	796.73	1705.80
1981	765.35	1778.30	598.26	412.21	3079.47	780.29	578.19	832.16	-42.24	1820.26	1981	765.35	1778.30
1982	467.33	2170.50	483.27	360.00	1880.35	894.71	353.05	473.81	-358.35	1819.32	1982	467.33	2170.50
1983	725.56	2367.80	575.27	360.00	2919.37	852.41	548.13	344.17	-129.64	1818.96	1983	725.56	2367.80
1984	716.92	2152.30	572.98	358.48	2884.61	774.83	541.61	269.69	-74.48	1818.75	1984	716.92	2152.30

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1985	767.23	2087.10	600.86	353.28	3087.03	748.17	579.61	254.42	-15.28	1818.71	1985	767.23	2087.10
1986	671.28	1961.00	553.22	330.14	2700.97	692.78	507.13	210.70	-43.72	1818.57	1986	671.28	1961.00
1987	588.85	2024.00	505.01	266.96	2369.30	668.20	444.85	124.25	-86.45	1818.25	1987	588.85	2024.00
1988	764.61	2024.30	605.82	359.32	3076.49	540.41	577.63	272.19	147.94	1818.76	1988	764.61	2024.30
1989	591.08	2061.90	508.65	271.03	2378.28	740.89	446.54	129.63	-142.56	1818.27	1989	591.08	2061.90
1990	907.81	2051.60	665.00	360.00	3652.67	556.04	685.82	373.33	243.70	1819.04	1990	907.81	2051.60
1991	834.47	1912.70	645.62	360.00	3357.58	688.57	630.41	456.24	82.91	1819.27	1991	834.47	1912.70
1992	917.13	1649.30	672.06	360.00	3690.17	593.75	692.86	677.00	220.76	1819.88	1992	917.13	1649.30
1993	776.86	1847.30	613.80	360.00	3125.78	665.03	586.89	735.11	58.11	1820.04	1993	776.86	1847.30
1994	656.32	1795.70	557.07	360.00	2640.78	646.45	495.83	716.92	-18.18	1819.99	1994	656.32	1795.70
1995	865.91	1805.20	655.19	430.81	3484.08	649.87	654.16	854.36	137.44	1820.26	1995	865.91	1805.20
1996	617.96	1865.80	521.10	360.00	2486.43	803.80	466.85	682.08	-172.28	1819.90	1996	617.96	1865.80
1997	664.47	1779.60	549.94	360.00	2673.57	640.66	501.98	674.67	-7.42	1819.88	1997	664.47	1779.60
1998	882.22	2058.10	674.48	360.00	3549.71	740.92	666.48	752.03	77.37	1820.09	1998	882.22	2058.10
1999	677.76	1915.20	563.27	360.00	2727.04	689.47	512.02	715.84	-36.19	1819.99	1999	677.76	1915.20
2000	627.02	1930.60	524.10	360.00	2522.88	695.02	473.69	636.91	-78.93	1819.77	2000	627.02	1930.60
2001	794.23	1817.70	619.56	360.00	3195.67	654.37	600.01	716.61	79.71	1819.99	2001	794.23	1817.70
2002	920.32	1714.90	691.23	443.16	3703.01	617.36	695.27	921.00	204.39	1820.26	2002	920.32	1714.90
2003	869.64	1744.30	657.33	446.93	3499.09	773.00	656.98	963.35	42.35	1820.26	2003	869.64	1744.30
2004	894.27	1479.30	664.09	458.93	3598.19	661.14	675.59	1113.25	149.90	1820.74	2004	894.27	1479.30
2005	639.52	1619.40	584.40	450.71	2573.18	743.19	483.13	1005.46	-107.80	1820.41	2005	639.52	1619.40
2006	740.91	1900.60	595.59	439.86	2981.13	856.63	559.73	884.06	-121.39	1820.26	2006	740.91	1900.60
2007	754.68	1694.50	607.25	435.43	3036.54	745.35	570.13	861.55	-22.51	1820.26	2007	754.68	1694.50

- A370

Tabla C.56. Profundidad ponderada de la propuesta A370

Cota	Área(Mm2)	Profundidad	Δ A	Profundidad por cota	Δ A %	Δ A % * Profundidad
1817.5	25.00	2.22	25.00	2.22	0.07	0.15
1817.65	85.70	2.07	60.70	2.14	0.16	0.34
1817.9	170.20	1.82	84.50	2.04	0.23	0.42
1818	200.00	1.72	29.80	1.96	0.08	0.14
1818.23	261.90	1.49	61.90	1.86	0.17	0.25
1818.45	308.30	1.27	46.40	1.76	0.13	0.16
1818.68	350.00	1.04	41.70	1.66	0.11	0.12
1818.848224	370.00	0.87	20.00	1.56	0.05	0.05
suma						1.62

Tabla C.57. Serie anual del balance hídrico de la propuesta A370

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1950	684.40	2074.00	556.08	320.21	2753.76	759.12	517.04	196.22	-86.55	1818.52	684.40	2074.00	556.08
1951	647.14	2008.60	531.60	304.31	2603.84	643.18	488.89	173.70	-22.51	1818.43	647.14	2008.60	531.60
1952	824.95	2051.60	628.00	370.00	3319.28	624.31	623.22	300.52	126.81	1818.86	824.95	2051.60	628.00
1953	641.13	1863.90	534.25	346.78	2579.66	689.64	484.35	236.52	-64.00	1818.66	641.13	1863.90	534.25
1954	751.20	1744.60	591.42	370.00	3022.54	604.99	567.50	322.98	86.46	1818.92	751.20	1744.60	591.42
1955	753.74	1800.10	584.33	370.00	3032.76	666.04	569.42	362.82	39.84	1819.03	753.74	1800.10	584.33
1956	751.79	1857.90	574.60	370.00	3024.91	687.42	567.95	384.18	21.36	1819.09	751.79	1857.90	574.60
1957	590.44	1938.40	497.79	357.15	2375.70	717.21	446.06	259.97	-124.21	1818.74	590.44	1938.40	497.79
1958	1252.40	1800.80	762.57	370.00	5039.17	643.16	946.14	694.72	434.75	1819.93	1252.40	1800.80	762.57
1959	919.66	1777.00	663.39	416.84	3700.35	657.49	694.77	866.71	171.98	1820.35	919.66	1777.00	663.39
1960	582.07	2025.00	494.15	370.00	2342.02	844.09	439.73	635.28	-231.43	1819.77	582.07	2025.00	494.15
1961	640.90	1944.40	533.12	370.00	2578.73	719.43	484.18	547.42	-87.86	1819.53	640.90	1944.40	533.12
1962	751.90	2041.70	592.41	370.00	3025.35	755.43	568.03	514.80	-32.63	1819.44	751.90	2041.70	592.41
1963	854.80	1918.40	644.14	370.00	3439.38	709.81	645.77	596.18	81.39	1819.66	854.80	1918.40	644.14
1964	832.89	1910.30	634.91	370.00	3351.22	706.81	629.22	663.40	67.22	1819.84	832.89	1910.30	634.91
1965	861.36	1850.70	642.84	370.00	3465.78	684.76	650.73	769.66	106.26	1820.13	861.36	1850.70	642.84
1966	902.52	1819.90	653.84	440.52	3631.39	673.36	681.82	916.07	146.41	1820.35	902.52	1819.90	653.84
1967	1104.20	1772.90	723.37	458.64	4442.87	780.99	834.18	1129.27	213.20	1820.73	1104.20	1772.90	723.37
1968	880.17	1725.00	636.91	460.56	3541.46	791.16	664.94	1165.14	35.87	1820.80	880.17	1725.00	636.91
1969	679.60	1901.50	558.44	446.52	2734.45	875.75	513.41	982.22	-182.92	1820.35	679.60	1901.50	558.44
1970	654.29	2082.40	542.59	370.00	2632.61	929.84	494.29	737.17	-245.05	1820.04	654.29	2082.40	542.59
1971	834.65	1929.70	637.62	370.00	3358.31	713.99	630.55	800.01	62.84	1820.21	834.65	1929.70	637.62
1972	776.05	1895.30	611.27	370.00	3122.52	701.26	586.28	828.70	28.69	1820.29	776.05	1895.30	611.27
1973	842.21	1959.70	642.16	436.37	3388.72	725.09	636.26	888.42	59.72	1820.35	842.21	1959.70	642.16
1974	609.15	1794.50	506.62	370.00	2450.98	783.06	460.19	725.98	-162.44	1820.01	609.15	1794.50	506.62
1975	771.64	1820.20	598.85	370.00	3104.78	673.47	582.95	773.43	47.45	1820.14	771.64	1820.20	598.85
1976	919.27	1756.80	664.61	443.69	3698.78	650.02	694.47	951.06	177.63	1820.35	919.27	1756.80	664.61
1977	724.71	1756.00	567.05	429.24	2915.95	779.13	547.49	879.05	-72.01	1820.35	724.71	1756.00	567.05
1978	895.16	1753.90	656.91	444.21	3601.77	752.85	676.26	956.71	77.65	1820.35	895.16	1753.90	656.91
1979	590.02	1814.90	494.86	370.00	2374.01	806.19	445.74	761.42	-195.28	1820.11	590.02	1814.90	494.86
1980	796.73	1705.80	617.00	411.05	3205.73	631.15	601.90	861.48	100.06	1820.35	796.73	1705.80	617.00
1981	765.35	1778.30	598.26	403.59	3079.47	730.98	578.19	858.46	-3.02	1820.35	765.35	1778.30	598.26
1982	467.33	2170.50	483.27	370.00	1880.35	875.99	353.05	514.99	-343.47	1819.44	467.33	2170.50	483.27
1983	725.56	2367.80	575.27	370.00	2919.37	876.09	548.13	366.53	-148.46	1819.04	725.56	2367.80	575.27
1984	716.92	2152.30	572.98	363.06	2884.61	796.35	541.61	274.94	-91.59	1818.79	716.92	2152.30	572.98
1985	767.23	2087.10	600.86	354.02	3087.03	757.75	579.61	252.05	-22.89	1818.71	767.23	2087.10	600.86
1986	671.28	1961.00	553.22	327.72	2700.97	694.24	507.13	207.17	-44.88	1818.56	671.28	1961.00	553.22
1987	588.85	2024.00	505.01	267.24	2369.30	663.31	444.85	124.61	-82.56	1818.26	588.85	2024.00	505.01
1988	764.61	2024.30	605.82	361.95	3076.49	540.97	577.63	272.11	147.50	1818.78	764.61	2024.30	605.82

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1989	591.08	2061.90	508.65	267.72	2378.28	746.29	446.54	125.25	-146.86	1818.26	591.08	2061.90	508.65
1990	907.81	2051.60	665.00	370.00	3652.67	549.26	685.82	374.34	249.09	1819.06	907.81	2051.60	665.00
1991	834.47	1912.70	645.62	370.00	3357.58	707.70	630.41	442.05	67.70	1819.25	834.47	1912.70	645.62
1992	917.13	1649.30	672.06	370.00	3690.17	610.24	692.86	649.69	207.64	1819.81	917.13	1649.30	672.06
1993	776.86	1847.30	613.80	370.00	3125.78	683.50	586.89	693.11	43.42	1819.92	776.86	1847.30	613.80
1994	656.32	1795.70	557.07	370.00	2640.78	664.41	495.83	660.65	-32.46	1819.84	656.32	1795.70	557.07
1995	865.91	1805.20	655.19	370.00	3484.08	667.92	654.16	783.73	123.08	1820.17	865.91	1805.20	655.19
1996	617.96	1865.80	521.10	370.00	2486.43	690.35	466.85	701.67	-82.06	1819.95	617.96	1865.80	521.10
1997	664.47	1779.60	549.94	370.00	2673.57	658.45	501.98	680.10	-21.57	1819.89	664.47	1779.60	549.94
1998	882.22	2058.10	674.48	370.00	3549.71	761.50	666.48	741.10	61.00	1820.05	882.22	2058.10	674.48
1999	677.76	1915.20	563.27	370.00	2727.04	708.62	512.02	689.68	-51.42	1819.91	677.76	1915.20	563.27
2000	627.02	1930.60	524.10	370.00	2522.88	714.32	473.69	595.40	-94.28	1819.66	627.02	1930.60	524.10
2001	794.23	1817.70	619.56	370.00	3195.67	672.55	600.01	660.65	65.25	1819.84	794.23	1817.70	619.56
2002	920.32	1714.90	691.23	386.02	3703.01	634.51	695.27	851.40	190.75	1820.35	920.32	1714.90	691.23
2003	869.64	1744.30	657.33	445.69	3499.09	673.34	656.98	972.99	121.59	1820.35	869.64	1744.30	657.33
2004	894.27	1479.30	664.09	458.38	3598.19	659.30	675.59	1124.36	151.36	1820.72	894.27	1479.30	664.09
2005	639.52	1619.40	584.40	449.71	2573.18	742.30	483.13	1017.27	-107.09	1820.37	639.52	1619.40	584.40
2006	740.91	1900.60	595.59	438.47	2981.13	854.71	559.73	897.40	-119.87	1820.35	740.91	1900.60	595.59
2007	754.68	1694.50	607.25	427.12	3036.54	742.99	570.13	876.76	-20.64	1820.35	754.68	1694.50	607.25

- A380

Tabla C.58. Profundidad ponderada de la propuesta A380

Cota	Área(Mm2)	Profundidad	Δ A	Profundidad por cota	Δ A %	Δ A % * Profundidad
1817.5	25.00	25.00	2.16	2.16	0.14	0.07
1817.65	85.70	60.70	2.01	2.08	0.32	0.16
1817.9	170.20	84.50	1.76	1.97	0.39	0.22
1818	200.00	29.80	1.66	1.89	0.13	0.08
1818.23	261.90	61.90	1.43	1.80	0.23	0.16
1818.45	308.30	46.40	1.21	1.70	0.15	0.12
1818.68	350.00	41.70	0.98	1.60	0.11	0.11
1818.93	380.00	30.00	0.72	1.49	0.06	0.08
suma						1.53

Tabla C.59. Serie anual del balance hídrico de la propuesta A380

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1950	684.40	2074.00	556.08	320.21	2753.76	759.12	517.04	196.22	-86.55	1818.52	684.40	2074.00	556.08
1951	647.14	2008.60	531.60	304.31	2603.84	643.18	488.89	173.70	-22.51	1818.43	647.14	2008.60	531.60
1952	824.95	2051.60	628.00	371.68	3319.28	624.31	623.22	300.52	126.81	1818.86	824.95	2051.60	628.00
1953	641.13	1863.90	534.25	345.28	2579.66	692.78	484.35	234.02	-66.49	1818.65	641.13	1863.90	534.25
1954	751.20	1744.60	591.42	378.71	3022.54	602.37	567.50	322.57	88.54	1818.92	751.20	1744.60	591.42
1955	753.74	1800.10	584.33	380.00	3032.76	681.72	569.42	349.94	27.37	1818.99	753.74	1800.10	584.33
1956	751.79	1857.90	574.60	380.00	3024.91	706.00	567.95	356.53	6.59	1819.01	751.79	1857.90	574.60
1957	590.44	1938.40	497.79	334.39	2375.70	736.59	446.06	216.90	-139.63	1818.59	590.44	1938.40	497.79
1958	1252.40	1800.80	762.57	380.00	5039.17	602.17	946.14	684.24	467.34	1819.87	1252.40	1800.80	762.57
1959	919.66	1777.00	663.39	380.00	3700.35	675.26	694.77	842.10	157.85	1820.29	919.66	1777.00	663.39
1960	582.07	2025.00	494.15	380.00	2342.02	769.50	439.73	669.98	-172.11	1819.84	582.07	2025.00	494.15
1961	640.90	1944.40	533.12	380.00	2578.73	738.87	484.18	566.66	-103.32	1819.56	640.90	1944.40	533.12
1962	751.90	2041.70	592.41	380.00	3025.35	775.85	568.03	517.80	-48.86	1819.44	751.90	2041.70	592.41
1963	854.80	1918.40	644.14	380.00	3439.38	728.99	645.77	583.94	66.13	1819.61	854.80	1918.40	644.14
1964	832.89	1910.30	634.91	380.00	3351.22	725.91	629.22	635.96	52.03	1819.75	832.89	1910.30	634.91
1965	861.36	1850.70	642.84	380.00	3465.78	703.27	650.73	727.51	91.54	1819.99	861.36	1850.70	642.84
1966	902.52	1819.90	653.84	380.00	3631.39	691.56	681.82	859.45	131.94	1820.33	902.52	1819.90	653.84
1967	1104.20	1772.90	723.37	458.42	4442.87	673.70	834.18	1157.96	298.51	1820.72	1104.20	1772.90	723.37
1968	880.17	1725.00	636.91	460.35	3541.46	790.77	664.94	1194.14	36.18	1820.80	880.17	1725.00	636.91
1969	679.60	1901.50	558.44	446.00	2734.45	875.35	513.41	1011.53	-182.60	1820.43	679.60	1901.50	558.44
1970	654.29	2082.40	542.59	380.00	2632.61	928.75	494.29	767.36	-244.18	1820.09	654.29	2082.40	542.59
1971	834.65	1929.70	637.62	380.00	3358.31	733.29	630.55	814.85	47.49	1820.22	834.65	1929.70	637.62
1972	776.05	1895.30	611.27	380.00	3122.52	720.21	586.28	828.47	13.62	1820.25	776.05	1895.30	611.27
1973	842.21	1959.70	642.16	380.00	3388.72	744.69	636.26	872.61	44.14	1820.37	842.21	1959.70	642.16
1974	609.15	1794.50	506.62	380.00	2450.98	681.91	460.19	790.60	-82.01	1820.15	609.15	1794.50	506.62
1975	771.64	1820.20	598.85	380.00	3104.78	691.68	582.95	823.58	32.98	1820.24	771.64	1820.20	598.85
1976	919.27	1756.80	664.61	443.75	3698.78	667.58	694.47	987.24	163.66	1820.43	919.27	1756.80	664.61
1977	724.71	1756.00	567.05	426.21	2915.95	779.23	547.49	915.15	-72.09	1820.43	724.71	1756.00	567.05
1978	895.16	1753.90	656.91	444.66	3601.77	747.54	676.26	997.03	81.88	1820.43	895.16	1753.90	656.91
1979	590.02	1814.90	494.86	380.00	2374.01	807.01	445.74	801.10	-195.93	1820.18	590.02	1814.90	494.86
1980	796.73	1705.80	617.00	380.00	3205.73	648.20	601.90	887.60	86.50	1820.41	796.73	1705.80	617.00
1981	765.35	1778.30	598.26	437.59	3079.47	675.75	578.19	928.48	40.89	1820.43	765.35	1778.30	598.26
1982	467.33	2170.50	483.27	380.00	1880.35	949.79	353.05	526.33	-402.15	1819.46	467.33	2170.50	483.27
1983	725.56	2367.80	575.27	380.00	2919.37	899.76	548.13	359.05	-167.29	1819.02	725.56	2367.80	575.27
1984	716.92	2152.30	572.98	353.35	2884.61	817.87	541.61	250.34	-108.70	1818.71	716.92	2152.30	572.98
1985	767.23	2087.10	600.86	350.68	3087.03	737.47	579.61	243.57	-6.77	1818.69	767.23	2087.10	600.86
1986	671.28	1961.00	553.22	325.49	2700.97	687.68	507.13	203.92	-39.66	1818.54	671.28	1961.00	553.22
1987	588.85	2024.00	505.01	267.49	2369.30	658.79	444.85	124.95	-78.96	1818.26	588.85	2024.00	505.01
1988	764.61	2024.30	605.82	361.92	3076.49	541.49	577.63	272.04	147.09	1818.78	764.61	2024.30	605.82
1989	591.08	2061.90	508.65	267.70	2378.28	746.24	446.54	125.23	-146.81	1818.26	591.08	2061.90	508.65
1990	907.81	2051.60	665.00	380.00	3652.67	549.22	685.82	374.35	249.12	1819.06	907.81	2051.60	665.00

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1991	834.47	1912.70	645.62	380.00	3357.58	726.83	630.41	426.85	52.50	1819.20	834.47	1912.70	645.62
1992	917.13	1649.30	672.06	380.00	3690.17	626.73	692.86	621.37	194.53	1819.71	917.13	1649.30	672.06
1993	776.86	1847.30	613.80	380.00	3125.78	701.97	586.89	650.11	28.73	1819.78	776.86	1847.30	613.80
1994	656.32	1795.70	557.07	380.00	2640.78	682.37	495.83	603.37	-46.74	1819.66	656.32	1795.70	557.07
1995	865.91	1805.20	655.19	380.00	3484.08	685.98	654.16	712.10	108.73	1819.95	865.91	1805.20	655.19
1996	617.96	1865.80	521.10	380.00	2486.43	709.00	466.85	615.20	-96.90	1819.69	617.96	1865.80	521.10
1997	664.47	1779.60	549.94	380.00	2673.57	676.25	501.98	579.48	-35.72	1819.60	664.47	1779.60	549.94
1998	882.22	2058.10	674.48	380.00	3549.71	782.08	666.48	624.12	44.64	1819.72	882.22	2058.10	674.48
1999	677.76	1915.20	563.27	380.00	2727.04	727.78	512.02	557.47	-66.65	1819.54	677.76	1915.20	563.27
2000	627.02	1930.60	524.10	380.00	2522.88	733.63	473.69	447.83	-109.63	1819.25	627.02	1930.60	524.10
2001	794.23	1817.70	619.56	380.00	3195.67	690.73	600.01	498.63	50.80	1819.39	794.23	1817.70	619.56
2002	920.32	1714.90	691.23	380.00	3703.01	651.66	695.27	675.75	177.12	1819.85	920.32	1714.90	691.23
2003	869.64	1744.30	657.33	380.00	3499.09	662.83	656.98	805.70	129.95	1820.19	869.64	1744.30	657.33
2004	894.27	1479.30	664.09	448.11	3598.19	562.13	675.59	1034.32	228.62	1820.43	894.27	1479.30	664.09
2005	639.52	1619.40	584.40	439.42	2573.18	725.67	483.13	940.46	-93.86	1820.43	639.52	1619.40	584.40
2006	740.91	1900.60	595.59	380.00	2981.13	835.16	559.73	836.13	-104.33	1820.27	740.91	1900.60	595.59
2007	754.68	1694.50	607.25	380.00	3036.54	643.91	570.13	894.28	58.15	1820.43	754.68	1694.50	607.25

- A390

Tabla C.60. Profundidad ponderada de la propuesta A390

Cota	Área(Mm2)	Profundidad	Δ A	Profundidad por cota	Δ A %	Δ A % * Profundidad
1817.5	25.00	2.06	25.00	2.06	0.06	0.13
1817.65	85.70	1.91	60.70	1.98	0.16	0.30
1817.9	170.20	1.66	84.50	1.87	0.22	0.36
1818	200.00	1.56	29.80	1.79	0.08	0.12
1818.23	261.90	1.33	61.90	1.70	0.16	0.21
1818.45	308.30	1.11	46.40	1.60	0.12	0.13
1818.68	350.00	0.88	41.70	1.50	0.11	0.09
1818.95	382.10	0.61	32.10	1.39	0.08	0.05
1819.06	390.00	0.49	7.90	1.29	0.02	0.01
suma						1.40

Tabla C.61. Serie anual del balance hídrico de la propuesta A390

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1950	684.40	2074.00	556.08	320.21	2753.76	759.12	517.04	196.22	-86.55	1818.52	684.40	2074.00	556.08
1951	647.14	2008.60	531.60	304.31	2603.84	643.18	488.89	173.70	-22.51	1818.43	647.14	2008.60	531.60
1952	824.95	2051.60	628.00	371.63	3319.28	624.31	623.22	300.52	126.81	1818.86	824.95	2051.60	628.00
1953	641.13	1863.90	534.25	345.32	2579.66	692.68	484.35	234.10	-66.42	1818.65	641.13	1863.90	534.25
1954	751.20	1744.60	591.42	378.61	3022.54	602.45	567.50	322.58	88.48	1818.92	751.20	1744.60	591.42
1955	753.74	1800.10	584.33	385.19	3032.76	681.54	569.42	350.10	27.52	1818.99	753.74	1800.10	584.33
1956	751.79	1857.90	574.60	384.99	3024.91	715.65	567.95	349.02	-1.08	1818.99	751.79	1857.90	574.60
1957	590.44	1938.40	497.79	323.97	2375.70	746.26	446.06	201.71	-147.31	1818.54	590.44	1938.40	497.79
1958	1252.40	1800.80	762.57	390.00	5039.17	583.41	946.14	683.96	482.26	1819.85	1252.40	1800.80	762.57
1959	919.66	1777.00	663.39	390.00	3700.35	693.03	694.77	827.69	143.73	1820.22	919.66	1777.00	663.39
1960	582.07	2025.00	494.15	390.00	2342.02	789.75	439.73	639.47	-188.22	1819.74	582.07	2025.00	494.15
1961	640.90	1944.40	533.12	390.00	2578.73	758.32	484.18	520.70	-118.78	1819.43	640.90	1944.40	533.12
1962	751.90	2041.70	592.41	390.00	3025.35	796.26	568.03	455.60	-65.09	1819.26	751.90	2041.70	592.41
1963	854.80	1918.40	644.14	390.00	3439.38	748.18	645.77	506.48	50.88	1819.40	854.80	1918.40	644.14
1964	832.89	1910.30	634.91	390.00	3351.22	745.02	629.22	543.32	36.84	1819.49	832.89	1910.30	634.91
1965	861.36	1850.70	642.84	390.00	3465.78	721.77	650.73	620.14	76.83	1819.69	861.36	1850.70	642.84
1966	902.52	1819.90	653.84	390.00	3631.39	709.76	681.82	737.62	117.47	1819.99	902.52	1819.90	653.84
1967	1104.20	1772.90	723.37	441.86	4442.87	691.43	834.18	1022.03	284.41	1820.56	1104.20	1772.90	723.37
1968	880.17	1725.00	636.91	447.42	3541.46	762.20	664.94	1080.92	58.89	1820.56	880.17	1725.00	636.91
1969	679.60	1901.50	558.44	390.00	2734.45	850.76	513.41	917.87	-163.05	1820.45	679.60	1901.50	558.44
1970	654.29	2082.40	542.59	390.00	2632.61	812.14	494.29	766.42	-151.46	1820.06	654.29	2082.40	542.59
1971	834.65	1929.70	637.62	390.00	3358.31	752.58	630.55	798.57	32.15	1820.14	834.65	1929.70	637.62
1972	776.05	1895.30	611.27	390.00	3122.52	739.17	586.28	797.12	-1.45	1820.14	776.05	1895.30	611.27
1973	842.21	1959.70	642.16	390.00	3388.72	764.28	636.26	825.68	28.56	1820.21	842.21	1959.70	642.16
1974	609.15	1794.50	506.62	390.00	2450.98	699.86	460.19	729.40	-96.28	1819.97	609.15	1794.50	506.62
1975	771.64	1820.20	598.85	390.00	3104.78	709.88	582.95	747.90	18.51	1820.01	771.64	1820.20	598.85
1976	919.27	1756.80	664.61	390.00	3698.78	685.15	694.47	897.60	149.69	1820.40	919.27	1756.80	664.61
1977	724.71	1756.00	567.05	390.00	2915.95	684.84	547.49	900.56	2.96	1820.41	724.71	1756.00	567.05
1978	895.16	1753.90	656.91	442.89	3601.77	684.02	676.26	1032.94	132.38	1820.56	895.16	1753.90	656.91
1979	590.02	1814.90	494.86	390.00	2374.01	803.79	445.74	839.56	-193.38	1820.25	590.02	1814.90	494.86
1980	796.73	1705.80	617.00	390.00	3205.73	665.26	601.90	912.50	72.94	1820.44	796.73	1705.80	617.00
1981	765.35	1778.30	598.26	390.00	3079.47	693.54	578.19	939.24	26.75	1820.51	765.35	1778.30	598.26
1982	467.33	2170.50	483.27	390.00	1880.35	846.50	353.05	619.23	-320.02	1819.68	467.33	2170.50	483.27
1983	725.56	2367.80	575.27	390.00	2919.37	923.44	548.13	433.11	-186.12	1819.21	725.56	2367.80	575.27
1984	716.92	2152.30	572.98	373.77	2884.61	839.40	541.61	307.29	-125.82	1818.88	716.92	2152.30	572.98
1985	767.23	2087.10	600.86	359.78	3087.03	780.10	579.61	266.63	-40.66	1818.76	767.23	2087.10	600.86
1986	671.28	1961.00	553.22	331.56	2700.97	705.53	507.13	212.77	-53.85	1818.58	671.28	1961.00	553.22
1987	588.85	2024.00	505.01	266.80	2369.30	671.08	444.85	124.04	-88.74	1818.25	588.85	2024.00	505.01
1988	764.61	2024.30	605.82	361.99	3076.49	540.09	577.63	272.24	148.20	1818.78	764.61	2024.30	605.82
1989	591.08	2061.90	508.65	267.75	2378.28	746.40	446.54	125.30	-146.94	1818.26	591.08	2061.90	508.65
1990	907.81	2051.60	665.00	389.61	3652.67	549.33	685.82	374.33	249.04	1819.06	907.81	2051.60	665.00

	P_{re} (mm)	E_{vo} (mm)	ETR (mm)	Nivel lago medido (msnm)	V lago medido (Hm³)	ΔV medido (Hm³)	A (Millones m²)	V P_{re} (Hm³)	V E_{vo} (Hm³)	V ETR (Hm³)	V lago calculado (Hm³)	ΔV calculado (Hm³)	Nivel lago calculado (msnm)
1991	834.47	1912.70	645.62	390.00	3357.58	745.20	630.41	412.22	37.88	1819.15	834.47	1912.70	645.62
1992	917.13	1649.30	672.06	390.00	3690.17	643.23	692.86	593.63	181.41	1819.62	917.13	1649.30	672.06
1993	776.86	1847.30	613.80	390.00	3125.78	720.45	586.89	607.68	14.05	1819.65	776.86	1847.30	613.80
1994	656.32	1795.70	557.07	390.00	2640.78	700.32	495.83	546.66	-61.02	1819.50	656.32	1795.70	557.07
1995	865.91	1805.20	655.19	390.00	3484.08	704.03	654.16	641.03	94.37	1819.74	865.91	1805.20	655.19
1996	617.96	1865.80	521.10	390.00	2486.43	727.66	466.85	529.30	-111.73	1819.45	617.96	1865.80	521.10
1997	664.47	1779.60	549.94	390.00	2673.57	694.04	501.98	479.43	-49.87	1819.33	664.47	1779.60	549.94
1998	882.22	2058.10	674.48	390.00	3549.71	802.66	666.48	507.70	28.27	1819.40	882.22	2058.10	674.48
1999	677.76	1915.20	563.27	390.00	2727.04	746.93	512.02	425.83	-81.88	1819.19	677.76	1915.20	563.27
2000	627.02	1930.60	524.10	371.73	2522.88	752.93	473.69	300.84	-124.98	1818.86	627.02	1930.60	524.10
2001	794.23	1817.70	619.56	387.66	3195.67	675.70	600.01	363.59	62.75	1819.03	794.23	1817.70	619.56
2002	920.32	1714.90	691.23	390.00	3703.01	664.79	695.27	530.27	166.68	1819.46	920.32	1714.90	691.23
2003	869.64	1744.30	657.33	390.00	3499.09	680.28	656.98	646.35	116.08	1819.75	869.64	1744.30	657.33
2004	894.27	1479.30	664.09	390.00	3598.19	576.93	675.59	863.21	216.86	1820.31	894.27	1479.30	664.09
2005	639.52	1619.40	584.40	390.00	2573.18	631.57	483.13	844.17	-19.04	1820.26	639.52	1619.40	584.40
2006	740.91	1900.60	595.59	390.00	2981.13	741.23	559.73	814.53	-29.64	1820.19	740.91	1900.60	595.59
2007	754.68	1694.50	607.25	390.00	3036.54	660.86	570.13	859.20	44.67	1820.30	754.68	1694.50	607.25

E. Códigos

Nota: A todos los Scripts se les debe indicar la carpeta de trabajo y la carpeta donde se desean guardar los resultados

Nombre: 1Links_descarga.ipynb

Descripción:

Genera los links de descarga de una lista de estaciones

Entradas:

- URL de base de datos
- Lista de códigos de estaciones (.csv)
- Base de datos de la que se va a descargar:
 - CLICOM
 - BANDAS
 - Normales climatológicas de la CONAGUA

Salidas:

- Archivo con los links de descarga de las estaciones climatológicas, hidrométricas o normales climatológicas de la CONAGUA (.txt)

Observaciones:

- A un gestor de descarga se ingresa el archivo txt para descargar las series de las estaciones.

Nombre: 2_DF_Sdiaria_Sanual.ipynb

Descripción:

Organiza la información de los blocks de notas descargados de CLICOM en archivos csv separados por variable (Pre, Tma, Tmi, Evo), y genera las series anuales de cada variable.

Entradas:

- Dirección de la carpeta que contiene los archivos txt de las estaciones climatológicas descargadas.

Salidas:

- 1 Archivo csv por cada variable climatológica con las series diarias de las estaciones descargadas (Pre, Tma, Tmi, Evo).
- 1 Archivo csv por cada variable climatológica con las series anuales de las estaciones descargadas (Pre, Tma, Tmi, Evo).

Observaciones:

- Las series anuales solo muestran los años completos, si falta un solo día en el año este se queda en blanco.

Nombre: 2H_DF_Sdiaria_Sanual.ipynb

Descripción:

Organiza la información de los mdb descargados de BANDAS en archivos csv separados por variable (Qmd, Qma, Qmi), y genera las series anuales de cada variable.

Entradas:

- Dirección de la carpeta que contiene los archivos csv de las estaciones hidrométricas descargadas.
- Variable con la que se va a trabajar:
 - **Qmd:** Gastos medios diarios
 - **Qma:** Gastos máximos mensuales
 - **Qmi:** Gastos mínimos mensuales

Salidas:

- Archivo csv de la variable seleccionada con las series diarias de las estaciones descargadas
- Archivo csv de la variable seleccionada con las series anuales de las estaciones descargadas.

Observaciones:

- Las series anuales solo muestran los años completos, si falta un solo día en el año este se queda en blanco.
- Las estaciones se descargan en formato mbd por lo que se tienen que guardar en archivo csv; los gastos máximos y mínimos se guardan con terminación QmamiI.csv y los gastos medios diarios con terminación Qmd.csv.

Nombre: 3_Periodo comun.ipynb

Descripción:

Encuentra el número máximo de años de periodo común y la combinación de estaciones que da dicho periodo, se puede encontrar un periodo común máximo para diferentes tamaños de conjuntos de estaciones.

Entradas:

- Carpeta con los csv de las series diarias de las estaciones descargadas
- Carpeta con los csv de las series anuales de las estaciones descargadas
- Archivo con lista en archivo csv de las estaciones con las que se realizaran combinaciones
- Variable con la que se va a trabajar:
 - **Pre:** Precipitación diaria
 - **Tma:** Temperatura máxima diaria
 - **Tmi:** Temperatura mínima diaria
 - **Evo:** Evaporación diaria

Salidas:

- Series diarias de estaciones con mayor número de años en común (.csv)
- Series anuales de estaciones con mayor número de años en común (.csv)

Observaciones:

- Usar un número máximo de 20 estaciones para realizar las combinaciones.
- Indicar el número mínimo de estaciones que utilizara para realizar combinaciones, el número de combinaciones que se probaran es:

$$\text{No de combinaciones} = \frac{m!}{(m-n)!n!} \quad (E.1)$$

Donde:

n = Número total de estaciones

m = Número de estaciones a utilizar en la combinación

- Indicar el tamaño del conjunto de estaciones que se desean utilizar para crear el archivo csv con el periodo común diario y anual

Nombre: 4_anuales y mensuales.ipynb

Descripción:

Organiza la información diaria en datos anuales y mensuales acumulada, máxima o mínima, da información de entrada para regionalizar o si la serie ya está llena da información sobre el llenado

Entradas:

Si los datos no están llenos:

- Carpeta con las series diarias con periodo común de las estaciones

Si los datos si están llenos:

- Carpeta con las series de tiempo diarias llenas de la región homogénea
- Carpeta con las series diarias sin llenar de la región homogénea

Salidas:

- Graficas máximas, promedios y acumuladas, anuales y mensuales; si la variable es Pre, Evo o Vol; y Graficas máximas, mínimas promedios, anuales y mensuales; si la variable es Tma, Tmi, Qmd, Qma o Qmi
- Series máximas, promedios y acumuladas, anuales y mensuales (csv); si la variable es Pre, Evo o Vol; y Series máximas, mínimas promedios, anuales y mensuales (csv); si la variable es Tma, Tmi, Qmd, Qma o Qmi Tma, Tmi, Qmd Series máximas, acumuladas, anuales y mensuales (.csv).

- Si los datos de entrada no han sido rellenos:
 - Numero de eventos extremos, fuertes y medios(.csv).
 - Información histórica de cada mes (.csv).
- Si los datos de entrada ya están llenos:
 - Archivo csv con los días faltantes por año de cada estación
 - Estadísticos antes y después de llenado
 - Máximo periodo de años y año donde se encuentra el evento máximo
 - Día máximo histórico y fecha en que se presenta
 - Dataframe resumen mensual por cada estación

Observaciones:

- Indicar variable a utilizar
 - Pre
 - Evo
 - Qmd
 - Qma
 - Qmi
 - Tma
 - Tmi
 - Vol
- Indicar si la serie apenas se va a llenar o ya está llena.
- Indicar si la serie por mes va a ser máximos o acumulados.

Nombre: 5_Regiones de influencia.ipynb

Descripción:

Aplica todas las técnicas de regionalización, ya sea para estaciones climatológicas o hidrométricas y te da información para delimitar las regiones homogéneas

Entradas:

- Carpeta con las series diarias de periodo común de estaciones
- Coordenadas de estaciones ya sea climatológicas o hidrométricas (.csv)
- Numero de eventos (.csv)

- Folder con información histórica de cada mes

Si es Qmd o Vol:

- Archivo csv con las características de las cuencas de cada estación
- Atributos significativos de las cuencas de cada estación hidrométrica

Salidas:

- Estadísticos de la serie (.csv)
- Graficas de los límites de los métodos momento-L y parámetro β
- Cv de parámetros estandarizados (.csv)
- Resumen de regiones de homogeneidad (.csv)
- Series diarias de estaciones que pertenecen a la región homogénea
- Semivariograma anual o mensual de est de región homogénea

Si es Qmd o Vol:

- relación área vs Cv
- grafica de los límites del coeficiente de variación
- grafica de las curvas de Andrew
- tabla de los límites de Andrew (.csv)

Observaciones:

- Indicar variable a utilizar
 - Pre
 - Evo
 - Qmd
 - Qma
 - Qmi
 - Tma
 - Tmi
 - Vol
- Indicar si la regionalización va a ser anual o mensual y máxima, acumulada, media o mínima

Nombre: 6_Llenado (técnicas de interpolación). Ipynb

Descripción:

Llena los vacíos existentes en las series diarias de la región homogénea

Entradas:

- Series diarias de estaciones de región homogénea (.csv)
- Coordenadas de estaciones de región homogénea (.csv)
- Periodo común de precipitación máxima mensual (.csv)

Salidas:

- Serie de precipitación de región homogénea llena (.csv)

Observaciones:

- Si hay menos de 3 datos para interpolar deja el vacío
- Se utilizan las técnicas de interpolación descritas en el capítulo 4.3.1
- Se usan todas las técnicas de interpolación y al final se descarta la mayor y la menor y se promedian los valores interpolados.

Nombre: Llenado_regresion_matriz.ipynb

Descripción:

Llena los vacíos existentes en la matriz mensual, utilizando la ecuación que mejor ajuste y los meses con buena correlación.

Entradas:

- Matriz de datos mensuales (csv)

Salidas:

- Matriz de datos llena (.csv)
- Graficas Yreal vs Yestimada de cada posible llenado
- Gráfica y xlsx de matriz de correlación de cada mes

- Gráfica y ecuación de la línea de tendencia que mejor ajusta

Observaciones:

- Indicar el valor mínimo que se utilizara para llenar datos faltantes
- El método para llenar vacíos que se utiliza en el código se describe en el capítulo 4.3.2
- Si la correlación es menor a al valor indicado no se toma en cuenta esa estación
- El archivo xlsx de la matriz de correlación indica en verde los datos tomados en cuenta para llenar vacíos

Nombre: 6Pruebas de homogeneidad y tendencia.ipynb

Descripción:

Realiza las pruebas de homogeneidad tendencia e independencia a un conjunto de series de datos, indicando los resultados para cada serie.

Entradas:

- Serie anual llena (.csv)

Salidas:

- Parámetros de la serie (.csv)
- Archivo .csv con información de cada prueba
- Graficas de los límites de Anderson
- Resumen de pruebas (.csv)

Observaciones:

- Se realizan todas las pruebas de homogeneidad tendencia e independencia descritas en el capítulo 5
- Cargar las tablas de csv de las pruebas

Nombre: Evapotranspiracion Real.ipynb

Descripción:

Crea series de tiempo de la evapotranspiración real en cada estación

Entradas:

- Series de temperatura máxima diaria llena de las estaciones
- Series de temperatura mínima diaria llena de las estaciones
- Series de precipitación diaria llena de las estaciones

Salidas:

- Resumen del cálculo de Coutage para cada estación
- Resumen del cálculo de Turc para cada estación
- Evapotranspiración real acumulada anual promedio de cada estación

Observaciones:

- La evapotranspiración real es el promedio de los 2 métodos utilizados
- Los métodos se describen en el capítulo 6.1

Nombre: 1_V medias de la cuenca(interpolacion).py

Descripción:

Genera el valor medio de cualquier polígono a partir de interpolar los datos puntuales de las estaciones

Entradas:

- Nombre de la carpeta donde se guardarán los valores medios
- Nombre del MAPSET donde se está trabajando
- Resolución de los archivos raster de salida
- Nombre de la capa vectorial de la cuenca
- Nombre de la capa vectorial del lago
- Nombre de la capa vectorial de las estaciones climatológicas (Pre, Etr)
- Nombre de la capa vectorial de las estaciones climatológicas (Evo)
- Series de precipitación anual o mensual de las estaciones
- Series de evapotranspiración real anual o mensual de las estaciones

- Series de evaporación anual o mensual de las estaciones
-

Salidas:

- Estadísticos por año o mes y variable del área determinada (si es evaporación el área es del lago si no el área es la cuenca)

Observaciones:

- En el MAPSET de trabajo se crean mapas tipo raster con las interpolaciones espaciales (isoyetas) de cada variable y año o mes
- Si una estación no tiene información en determinado año o mes, se ignora y las isoyetas se generan con las estaciones restantes

Nombre: 2_Crear DF VMC.ipynb

Descripción:

Crea una matriz con los valores medios de la cuenca útiles para generar el balance hídrico

Entradas:

- Carpeta con los valores medios de la cuenca

Salidas:

- Matriz anual o mensual con los valores de precipitación evaporación y evapotranspiración medios de la cuenca

Observaciones:

- La carpeta de entrada debe incluir al final del nombre una “P” si se considera precipitación en el lago y escurrimiento por separado, y una “E” si se consideran en conjunto
- Indicar si la serie es anual o mensual
- Los valores de evaporación son los valores medios del lago, la precipitación puede ser la precipitación media del lago

Nombre: 1_Balance hidrico.ipynb

Descripción:

Crea series de tiempo de los volúmenes de entrada y salida y como afectan en el nivel del lago, además de encontrar los parámetros óptimos de la ecuación de balance hídrico

Entradas:

- Parámetros C_e y C_i iniciales
- Área de la cuenca en metros cuadrados
- Archivo csv con los datos de la curva elevación-área
- Archivo csv con los datos de la curva elevación-volumen
- Archivo csv con los registros mensuales de los niveles hipsométricos del lago
- Archivos csv con los datos medios de la cuenca de las entradas y salidas (Pre, Etr, Evo)
- Función con sus parámetros y variables que defina el ΔV
- Indicar la fecha en que inicia y termina el periodo de calibración y prueba

Salidas:

- Grafica de los niveles hipsométricos registrados en el lago
- Grafica de la curva elevación-capacidad del lago
- Grafica de la curva elevación-área del lago
- Archivo csv donde se describen los volúmenes de entrada y salida y su comportamiento en el lago del periodo de calibración
- Grafica del ΔV medido y el ΔV calculado de la serie de calibración
- Grafica del volumen medido y calculado de la serie de calibración
- Grafica de la cota medida y calculada de la serie de calibración
- Grafica de la cota medida y calculada de la serie de calibración con los parámetros iniciales
- Archivo csv donde se describen los volúmenes de entrada y salida y su comportamiento en el lago del periodo de prueba
- Grafica del ΔV medido y el ΔV calculado de la serie de prueba
- Grafica del volumen medido y calculado de la serie de prueba
- Grafica de la cota medida y calculada de la serie de prueba
- Valores medios del periodo de prueba y calibración

- Archivo csv con la ecuación, parámetros óptimos y el error medio cuadrado del periodo de calibración y el periodo de prueba

Observaciones:

- Definir si la serie es mensual o anual
- Definir el periodo de calibración y prueba
- Definir si se considera el escurrimiento con C_e o C_i y si el escurrimiento está en conjunto con la precipitación en el vaso o por separado
- Si la serie es anual, el nivel hipsométrico anual será igual al nivel hipsométrico de enero del siguiente año; si la serie es mensual el nivel hipsométrico será igual al nivel del siguiente mes
- Para calibrar se hace un proceso iterativo; con los parámetros iniciales definidos se calculan volúmenes y cotas las cuales se comparan con los medidos y se ajustan los parámetros, estos parámetros pasan a ser los parámetros iniciales y se repite el procedimiento hasta encontrar los parámetros óptimos.

Nombre: 2_Representar_bordo_curvas.ipynb

Descripción:

Genera curvas e-c-a que representen el comportamiento del lago si teóricamente existiera un bordo de determinada altura y que encierre cierta área del lago

Entradas:

- Etiqueta con que se nombraran los archivos de salida
- Archivo csv con los datos de la curva elevación-área original del lago
- Archivo csv con los datos de la curva elevación-volumen original del lago
- Área del lago en m² que encierra el bordo y altura en metros del bordo o cota inicial y final del bordo

Salidas:

- Curva elevación-área modificada de acuerdo a las características del bordo seleccionadas (csv)

- Curva elevación-volumen modificada de acuerdo a las características del bordo seleccionadas (csv)
- Grafica de la curva elevación-área modificada de acuerdo a las características del bordo seleccionadas (jpg)
- Grafica de la curva elevación-volumen modificada de acuerdo a las características del bordo seleccionadas (csv)

Observaciones:

- Indicar si las características del bordo se darán con área y altura del bordo o cota inicial y final.
- En la curva elevación-área se frena el incremento del área en el punto establecido (cota inicial o área) a partir de este punto aumenta el nivel mas no el área, hasta la cota final o altura del bordo (vertedores), después de este punto el área continúa creciendo a partir del punto donde se bloqueó, y a la cota se le suma la altura del bordo para graficarla
- En la curva elevación-capacidad se toma la curva original hasta el punto donde se truncó el área y a partir de ahí se utiliza la siguiente formula:

$$V_i = V_{i-1} + \frac{(A_i + A_{i-1})}{2} * (Cota_i - Cota_{i-1}) \quad (0.2)$$

Donde:

V_i = Volumen en el lago correspondiente a la Cota_i

V_{i-1} = Volumen en el lago correspondiente a la Cota_{i-1}

A_i = Área del lago correspondiente a la Cota_i

A_{i-1} = Área del lago correspondiente a la Cota_{i-1}

Cota_i = Cota del lago

Cota_{i-1} = Cota anterior del lago

Si la cota es menor a la cota final del bordo entonces a A_i y A_{i-1} se les resta el área dentro del bordo, si la cota es mayor a la cota final del bordo entonces se usará el área correspondiente a dicha cota.

De igual manera para graficar a las cotas mayores a la cota final del bordo se suma la altura del bordo.

- Realmente cuando el nivel del lago supera la altura del bordo, este no continúa subiendo como se muestra en las gráficas, esta es la forma de representar el desbordamiento del lago por el bordo cuando se rebasa su capacidad máxima, y así poder determinar el volumen y área del lago después del desbordamiento.

Nombre: 3_Modelo de Balance hidrico.ipynb

Descripción:

Genera el balance hídrico con un modelo ya calibrado, con el fin de ingresar datos de entrada (Series de datos proyectados o curvas e-c-a propuestas) y ver la respuesta que generan dichas propuestas

Entradas:

- Área de la cuenca en m²
- Lista de parámetros calibrados
- Año de inicio y fin del modelado
- Cota máxima y mínima recomendable del lago
- Curva elevación-área del lago original (csv)
- Curva elevación-capacidad del lago original (csv)
- Curva elevación-área del lago con propuesta de bordo (csv)
- Curva elevación-capacidad del lago con propuesta de bordo (csv)
- Archivo csv con los registros mensuales de los niveles hipsométricos del lago
- Archivos csv con los datos medios de la cuenca de las entradas y salidas (Pre, Etr, Evo)
- Función ΔV definida con sus parámetros y variables

Salidas:

- Grafica de los niveles del lago medidos por Conagua y los limites recomendables del lago (jpg)
- Grafica de curvas elevación-área original y con bordo propuesto (jpg)
- Grafica de curvas elevación-capacidad original y con bordo propuesto (jpg)
- Archivo csv donde se describen los volúmenes de entrada y salida y su comportamiento en el lago con la propuesta

- Valores medios anuales del balance hídrico con la propuesta
- Grafica de los niveles del lago medidos por Conagua, los niveles proyectados con el modelo utilizando las curvas e-c-a originales y las curvas considerando el bordo (jpg)
- Grafica con los niveles proyectados con el modelo y las curvas e-c-a considerando el bordo, los limites recomendables del lago y la cota del bordo (jpg)
- Grafica del área del lago por año (jpg)
- Archivo csv con las áreas y profundidades del lago respecto a la cota media calculada del lago
- Resumen con la cota profundidad promedio, ponderada, máxima y mínima del lago; y la frecuencia con la que se desborda el lago por los vertedores.

Observaciones:

- Etiqueta con el nombre de las curvas propuestas, el cual será el mismo para los archivos de salida
- Definir si la serie es mensual o anual
- Definir si se considera el escurrimiento con Ce o Ci
- Cuando se proyectan los niveles utilizando las curvas con el bordo, si la cota es mayor a la cota final del bordo la cota se considera igual a la cota final del bordo y si la cota es mayor a la cota final más la altura del bordo, a la cota se le resta la altura del bordo.