

# Evaluación de la disponibilidad conforme a la norma NOM-011- CNA-2000 para el abastecimiento de la ZCG



Julio 2015

1.	<b>ANTECEDENTES</b> .....	11
2.	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
3.	<b>OBJETIVOS</b> .....	14
1.1.	Objetivo general.....	14
1.2.	Objetivos específicos: .....	14
4.	<b>UBICACIÓN</b> .....	15
5.	<b>BALANCE HÍDRICO. ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD</b> .....	19
5.1	<b>Recopilación, validación y análisis de información climatológica e hidrológica</b> .....	19
5.1.1	Climatológica .....	19
5.1.2	Hidrometría.....	42
5.1.3	Variables hidrológicas implícitas en la determinación o cálculo de escurrimientos .....	51
5.2	<b>Clasificación y análisis del padrón de usuarios-volúmenes anuales asignados y concesionados en la cuenca</b> .....	65
5.2.1	Depuración de la base de datos REPDA .....	66
5.2.2	Obtención del volumen anual de usos de agua .....	72
5.2.3	Completado de series .....	74
5.3	<b>Integración de series de tiempo</b> .....	77
5.3.1	Cuenca Propia .....	77
5.3.2	Aguas Arriba.....	80
5.3.3	Usos de agua y Retornos.....	82
5.3.4	Importaciones y Exportaciones.....	88
5.3.5	Evaporación .....	90
5.3.6	Variación de Volumen (DV) .....	95
5.4	<b>Cálculo del escurrimiento disponible en la zona hidrológica del Río Verde</b> .....	97
5.4.1	Métodos para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural .....	99
5.4.2	Cálculo disponibilidad de agua superficial.....	101
5.5	<b>Revisión de la disponibilidad de agua superficial con respecto al cambio climático</b> ....	107
5.5.1	Análisis de registros históricos.....	107
5.5.2	Cambio Climático.....	126
5.5.3	Comparación de registros históricos contra lo proyectado de CC .....	134
5.5.4	Volumen por cuenca propia con escenarios de cambio climático y tendencias históricas .....	135
5.5.5	Escenarios de escurrimiento aguas abajo .....	136
5.6	<b>Propuesta de la optimización de los usos del agua por sector</b> .....	136
5.6.1	Optimización de los usos del agua por sector .....	140

<b>6.</b>	<b>SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....</b>	<b>141</b>
<b>6.1</b>	<b>Implementación del SIH.....</b>	<b>141</b>
6.1.1	Diseño y generación de la interfaz de la herramienta SIH .....	141
6.1.2	Uso de la interfaz de la herramienta SIH .....	154
<b>6.2</b>	<b>Generación de la base de datos actualizada .....</b>	<b>155</b>
6.2.1	Generalidades.....	155
6.2.2	Generación y estructura de la base de datos .....	155
6.2.3	Recopilación y procesamiento de información .....	157
6.2.4	Implementación de la base de datos geográfica con la estructura ArcHydro.....	157
6.2.5	Sistema de información geográfica del río Santiago .....	168
<b>6.3</b>	<b>Implementación del Sistema de Consulta .....</b>	<b>168</b>
6.3.1	Recopilación y análisis de requerimientos.....	169
6.3.2	Diseño de la base de datos.....	173
6.3.3	Diseño de la interfaz de consulta.....	175
6.3.4	Creación de la base de datos y carga de la información.....	176
6.3.5	Desarrollo de la interfaz de consulta.....	180
6.3.6	Desarrollo de la interfaz para actualizar en la base de datos geográfica con estructura ArcHydro .....	189
6.3.7	Elaboración de documentación.....	190
<b>6.4</b>	<b>Transferencia de la tecnología .....</b>	<b>190</b>
<b>7.</b>	<b>ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA ALMACENADO MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE.....</b>	<b>192</b>
<b>7.1</b>	<b>Recopilación de información y adquisición de imágenes de satélite .....</b>	<b>192</b>
<b>7.2</b>	<b>Procesamiento de imágenes y obtención de Inventario de espejos de agua.....</b>	<b>195</b>
7.2.1	Procedimiento para la obtención de las superficies de agua .....	195
<b>7.3</b>	<b>Recorrido de campo .....</b>	<b>197</b>
<b>7.4</b>	<b>Cálculo del volumen de los cuerpos de agua.....</b>	<b>198</b>
<b>7.5</b>	<b>Generación de mapas temáticos.....</b>	<b>199</b>
7.5.1	Distribución del volumen por zonas hidrológicas.....	199
<b>8.</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>202</b>
<b>9.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>203</b>
<b>10.</b>	<b>Glosario .....</b>	<b>212</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>214</b>
ANEXO 1.1	DOF (7 de abril de 1995).....	214
ANEXO 1.2	DOF modificado (17 de noviembre de 1997).....	214
ANEXO 2.1	DOF NOM-011-CNA-2000 .....	214

<b>ANEXO 5.1</b>	<b>Base de datos CLICOM 2013.....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.2</b>	<b>Precipitación .....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.3</b>	<b>Evaporación.....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.4</b>	<b>Temperatura .....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.5</b>	<b>Base de datos BANDAS 2013.....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.6</b>	<b>Hidrometría.....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.7</b>	<b>Variación de volumen .....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.8</b>	<b>Importaciones y exportaciones.....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.9</b>	<b>Cuenca propia .....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.10</b>	<b>Usos y retornos .....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.11</b>	<b>Aguas arriba y aguas abajo .....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.12</b>	<b>Disponibilidad .....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.13</b>	<b>Cambio climático.....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.14</b>	<b>Optimización de usos.....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 5.15</b>	<b>Shapes.....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 6.1</b>	<b>Base de datos ArcHydro.....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 6.2</b>	<b>Sistema de información de consulta (SIC) e interfaz de actualización de la información</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 6.3</b>	<b>Herramienta SIH .....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 7.1</b>	<b>Imágenes de satélite y mapas digitales.....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 7.2</b>	<b>Galería fotográfica .....</b>	<b>214</b>

## Índice de figuras

Figura 1.1. Cuencas que integran la zona hidrológica del Río Verde .....	12
Figura 4.1. Localización de la subregión hidrológica del Río Santiago .....	15
Figura 4.2. Localización de la subregión hidrológica del Río Santiago .....	16
Figura 4.3. Cuencas de la subregión hidrológica del río Santiago .....	18
Figura 5.1. Estaciones climatológicas .....	19
Figura 5.2. Datos en formato ArcHydro .....	20
Figura 5.3. Distribución de las estaciones climatológicas por estado .....	21
Figura 5.4. Histograma de información de precipitación en el periodo 1902-2013.....	21
Figura 5.5. Ejemplo de representación en “raster” .....	22
Figura 5.6. Datos climatológicos diarios .....	23
Figura 5.7. Operación de unión (JOIN) de datos diarios de precipitación con el archivo shapefile de estaciones climatológicas .....	23
Figura 5.8. Selección de estaciones con datos para una fecha .....	24
Figura 5.9. Uso de la herramienta IDW .....	25
Figura 5.10. “Raster” de precipitación diaria y extracción del área de estudio (mapa) .....	25
Figura 5.11. Polígonos de Thiessen .....	27
Figura 5.12. Gráfico de comparación, día 03/07/1980.....	27
Figura 5.13. Precipitación media diaria por cuenca .....	28
Figura 5.14. Precipitación mensual y anual por cuenca.....	28
Figura 5.15. Comparativo de valores de precipitación media anual por cuenca obtenidos en este estudio y el estudio de disponibilidad (IMTA, 2009) .....	29
Figura 5.16. Estaciones climatológicas, cuencas y cuerpos de agua.....	30
Figura 5.17. Campos agregados a cada cuerpo de agua.....	30
Figura 5.18. Intersección entre cuerpos de agua y cuencas hidrológicas.....	31
Figura 5.19. Información de evaporación. ....	31
Figura 5.20. Datos de evaporación en formato ArcHydro .....	32
Figura 5.21. Registros históricos de evaporación en presas.....	33
Figura 5.22. 82 estaciones climatológicas sin datos de evaporación .....	34
Figura 5.23. 468 estaciones climatológicas con datos de evaporación .....	34
Figura 5.24. Información con promedios anuales de la evaporación. ....	36
Figura 5.25. Volumen de evaporación por cuerpo de agua.....	37
Figura 5.26. Volumen de evaporación por cuerpo de agua de 1945 a 2013. ....	37
Figura 5.27. Volumen de evaporación por cuenca y por año.....	38
Figura 5.28. Estaciones climatológicas, CLICOM 2013 .....	39
Figura 5.29. Ejemplo de información contenida en el archivo CLICOM.....	39
Figura 5.30. Ejemplo de estaciones que cuentan con información del día 12 de agosto de 1966 ....	41
Figura 5.31. Uso de la herramienta de interpolación IDW para la generación del “raster” de temperatura diaria.....	41
Figura 5.32. Sitio web del sistema BANDAS.....	42
Figura 5.33. Estaciones hidrométricas ubicadas en el área de estudio.....	42
Figura 5.34. Datos de hidrometría.....	43
Figura 5.35. Ejemplo de la ubicación de una estación hidrométrica de acuerdo al boletín hidrológico .....	43

Figura 5.36 Ubicación de estaciones hidrométricas en la zona de estudio y puntos de control .....	45
Figura 5.37. Ejemplo de Estaciones Hidrométricas auxiliares para completar datos .....	50
Figura 5.38. Concentrado de información de cuencas .....	53
Figura 5.39. Variación de volumen (completado con promedio) .....	55
Figura 5.40. Variación de volumen .....	55
Figura 5.41. Esquema de conexión de la presa Potrerillos y Cincuenta Aniversario .....	56
Figura 5.42. Diagrama de ubicación de estaciones .....	57
Figura 5.43. Ejemplo de archivo para análisis .....	58
Figura 5.44. Mapa de usos de suelo .....	61
Figura 5.45. Información utilizada para el cálculo de la variable Cp por el método indirecto .....	61
Figura 5.46. Archivo con datos para el cálculo del escurrimiento por cuenca propia por el método del coeficiente de escurrimiento.....	63
Figura 5.47. Ejemplo de agrupación de cuencas .....	64
Figura 5.48. Información del REPDA visualizada en ArcGIS .....	67
Figura 5.49. Registros REPDA identificados en los municipios de la subregión hidrológica del Río Santiago.....	67
Figura 5.50. Localidades ubicadas dentro de la subregión hidrológica del Río Santiago.....	68
Figura 5.51. Identificación de cuencas .....	69
Figura 5.52. Identificación registros del REPDA en ArcGIS .....	69
Figura 5.53. Identificación registros del REPDA en Excel.....	70
Figura 5.54. Identificación de la cuenca de cada registro .....	70
Figura 5.55. Identificación de la cuenca utilizando el Afluente y la fuente del registro REPDA ....	71
Figura 5.56. Revisión de registros puntuales, en la cuenca 18.....	71
Figura 5.57. Tabla dinámica para la extracción del volumen por usos .....	72
Figura 5.58. Tabla dinámica para la extracción usos .....	73
Figura 5.59. Concentrado de usos de los distritos de riego.....	75
Figura 5.60. Concentrado de retornos de los distritos de riego.....	76
Figura 5.61. Completado de usos en el periodo 1945-2013.....	77
Figura 5.62. Interconexión de cuencas.....	80
Figura 5.63. Análisis de volúmenes de usos y retornos .....	82
Figura 5.64 Generación de polígonos de Thiessen .....	100
Figura 5.65. Diagrama de conexión integral de la cuenca del rio Santiago.....	103
Figura 5.66. Diagrama de conexión integral de la Cuenca del rio Verde .....	104
Figura 5.67. Esquema del sistema climático .....	107
Figura 5.68. Reporte de información anual por cuenca .....	108
Figura 5.69. Gráficas con información mensual y anual.....	108
Figura 5.70. Gráfica de temperatura anual, CH1 .....	109
Figura 5.71. Gráfica de temperaturas mensuales .....	111
Figura 5.72. Gráfica de temperaturas anuales .....	111
Figura 5.73. Pendientes mensuales y anuales de temperaturas por cuenca.....	112
Figura 5.74. Pendientes de temperatura máxima por mes del periodo 1945-2012 de la cuenca CH1 .....	113
Figura 5.75. Pendientes de temperatura máxima por mes del periodo 1945-2012 por cuenca.....	113
Figura 5.76. Pendientes de temperatura máxima por periodos decenales por cuenca .....	114

Figura 5.77. Pendientes de temperatura mínima por mes del periodo 1945-2012 de la cuenca CHI .....	114
Figura 5.78. Pendientes de temperatura mínima por mes del periodo 1945-2012 por cuenca .....	115
Figura 5.79. Pendientes de temperatura mínima por periodos decenales por cuenca .....	115
Figura 5.80. Comportamiento de las temperaturas anuales por cuenca (regresión lineal).....	116
Figura 5.81. Anomalía de temperatura máxima y mínima anual respecto al promedio en el periodo 1945-2012.....	116
Figura 5.82. Tendencias de las anomalías de temperatura máxima y mínima anual respecto al promedio en el periodo 1945-2012 .....	117
Figura 5.83. Tendencia de temperatura máxima al 2039 y 2099 .....	117
Figura 5.84. Tendencia de temperatura mínima al 2039 y 2099 .....	118
Figura 5.85. Precipitación media mensual (mm) 1945-2012 .....	118
Figura 5.86. Precipitación media anual (mm) 1945-2012.....	119
Figura 5.87. Pendiente de precipitación media mensual y anual 1945-2012 .....	119
Figura 5.88. Comportamiento de las temperaturas anuales por cuenca (regresión lineal).....	120
Figura 5.89. Precipitación por mes del periodo 1945-2012 para la cuenca CHI .....	120
Figura 5.90. Pendiente de precipitación por mes en el periodo 1945-2012 .....	121
Figura 5.91. Pendiente de precipitación media anual por periodos decenales y por cuenca.....	121
Figura 5.92. Tendencia de precipitación al 2039 y 2099 .....	122
Figura 5.93. Evapotranspiración real en el periodo 1945-2012, método de TURC.....	124
Figura 5.94. Tendencia de evapotranspiración al 2039 y 2099.....	124
Figura 5.95. Volumen por cuenca propia estimado con el método de TURC .....	125
Figura 5.96. Volumen de Cp obtenido por el método de TURC .....	125
Figura 5.97. Tendencias de temperatura, nivel del mar y cubierta de nieve, 4° reporte de Cambio Climático .....	126
Figura 5.98. Tendencias de temperatura, nivel del mar y cubierta de nieve, 5° Reporte de Cambio Climático .....	127
Figura 5.99. Datos del periodo 1961-2000 para obtención de pendientes de temperatura .....	128
Figura 5.100. Pendientes de temperatura media, periodos 1961-2000 y 1945-2012 .....	128
Figura 5.101. Selección de la malla para la extracción de la información.....	130
Figura 5.102. Ejemplo de “raster” de precipitación .....	130
Figura 5.103. Selección de puntos con influencia en la zona .....	131
Figura 5.104. Interpolación por el método IDW .....	131
Figura 5.105. Precipitación por cuenca, mes ENERO .....	132
Figura 5.106. Comparación entre registros observados y los obtenidos con los modelos CRU y REA .....	132
Figura 5.107. Cambio en porcentaje de la precipitación para los diferentes escenarios de cambio climático .....	133
Figura 5.108. Cambio de la temperatura mínima por cuenca para los dos escenarios, futuro cercano y futuro lejano. Por ejemplo, 45FC significa escenario 4.5 W/m <sup>2</sup> futuro cercano.....	134
Figura 5.109. Cambio de la temperatura máxima por cuenca para los dos escenarios, futuro cercano y futuro lejano. Por ejemplo 45FC significa escenario 4.5 W/m <sup>2</sup> futuro cercano.....	134
Figura 5.110. Comparación entre escenarios de precipitación y registros históricos .....	134
Figura 5.111. Comparación entre escenarios de temperatura máxima, registros históricos y tendencias .....	135

Figura 5.112. Comparación entre escenarios de temperatura mínima, registros históricos y tendencias .....	135
Figura 5.113. Volumen por cuenca propia con escenarios de cambio climático y tendencias históricas.....	135
Figura 5.114. Volumen de aguas abajo (escenarios de cambio climático e históricas) .....	136
Figura 5.115. Gráfica del comportamiento futuro de la demanda con referencia ESCURRIMIENTO POR CUENCA PROPIA PROMEDIO.....	139
Figura 6.1. Módulos del SIH.....	141
Figura 6.2. Características del ArcGIS.....	142
Figura 6.3. Proyecto ArcGIS.....	142
Figura 6.4. Módulo que componen la herramienta SIH implementada en ArcGIS .....	143
Figura 6.5. Ventana de actualización de un solo dato .....	143
Figura 6.6. Ventana de captura de datos .....	144
Figura 6.7. Ventana de actualización de una variable.....	144
Figura 6.8. Ventana de actualización de todas las variables en todas las cuencas para un año .....	144
Figura 6.9. Ventana de consulta de datos por variable.....	145
Figura 6.10. Interfaz para el cálculo de la disponibilidad .....	145
Figura 6.11. Diseño de la caja de herramientas que contiene los módulos de consulta y actualización del SIH.....	145
Figura 6.12. Tablas generadas dentro de la base de datos.....	148
Figura 6.13. Diagrama de flujo correspondiente al cálculo de la variable Ab .....	150
Figura 6.14. Diagrama de flujo correspondiente al cálculo de reservas .....	151
Figura 6.15. IDE PySriptor.....	152
Figura 6.16. Generación de la caja de herramientas .....	153
Figura 6.17. Agregado de los módulos de actualización, consulta y cálculo a la caja de herramientas. ....	153
Figura 6.18. Ventana de configuración de variables del script .....	154
Figura 6.19. Contenido de la carpeta de SIH .....	154
Figura 6.20. Estructura de la base de datos geográfica .....	158
Figura 6.21. Información contenida dentro del Feature Dataset Drainage .....	158
Figura 6.22. Información contenida dentro del Feature Dataset Hydrography.....	159
Figura 6.23. Información contenida dentro del Feature Dataset Network .....	159
Figura 6.24. Información contenida dentro del Feature Dataset Contexto .....	160
Figura 6.25. Información contenida dentro del Feature Dataset Medio Ambiente.....	160
Figura 6.26. Información contenida dentro del Feature Dataset Usos .....	161
Figura 6.27. Información contenida dentro del Feature Modelo Digital de Elevación.....	161
Figura 6.28. Proyecto elaborado con la aplicación ArcMap para la Región Hidrológica No. 12 Río Santiago.....	162
Figura 6.29. Dimensiones y atributos del cubo de datos usado para almacenar las series de tiempo en el modelo ArcHydro .....	164
Figura 6.30. Procesamiento de los datos que serán almacenados en la tabla TimeSeries .....	166
Figura 6.31. Modelo conceptual del SIC.....	172
Figura 6.32. Almacenamiento de series de tiempo usando un modelo dimensional de datos .....	174
Figura 6.33. Ventana principal del sistema de información de consulta (SIC).....	175
Figura 6.34. Tablas y campos de la base de datos creada para el SIC en SQL Server 2012 .....	176



Figura 6.35. Datos almacenados de precipitación.....	177
Figura 6.36. Características de la variable precipitación, almacenada en la tabla TSType .....	177
Figura 6.37. Datos de disponibilidad media de agua superficial, publicados en el DOF y almacenados en la tabla TimeSeries.....	177
Figura 6.38. Variables de los resultados de disponibilidad media de agua superficial, almacenadas en la tabla TSType.....	178
Figura 6.39. Datos de volúmenes por uso y por cuenca, almacenados en la tabla TimeSeries. ....	178
Figura 6.40. Características de las variables asociadas con usos del agua, almacenadas en la tabla TSType.....	179
Figura 6.41. Datos almacenados de disponibilidad de agua superficial históricos.....	179
Figura 6.42. Variables de disponibilidad media de agua superficial utilizadas para indicar valores históricos. ....	180
Figura 6.43. Ventana de diálogo principal del visor geográfico. ....	181
Figura 6.44. Herramientas básicas de navegación en el visor geográfico.....	181
Figura 6.45. Menú de reportes. ....	182
Figura 6.46. Capas geográficas disponibles en el sistema SIC .....	182
Figura 6.47. Gráfica de variables de disponibilidad media anual de agua superficial .....	183
Figura 6.48. Reporte de las variables de disponibilidad de agua superficial publicados en el DOF. ....	184
Figura 6.49. Gráfica de precipitación promedio anual por cuenca, para los periodos definidos por el usuario .....	185
Figura 6.50. Gráfica de usos del agua por cuenca.....	186
Figura 6.51. Gráfica de volúmenes de agua por uso para una subcuenca de interés. ....	187
Figura 6.52. Valores, por año, de las variables de la ecuación de disponibilidad de agua superficial, para el periodo 1945-2013.....	188
Figura 6.53. Ejemplo de tabla resumen de resultados de disponibilidad media anual de agua superficial obtenidos con datos del periodo 1945-2013.....	189
Figura 7.1. Distribución de las imágenes Spot MS en Cuenca del Río Verde.....	193
Figura 7.2. Distribución de las imágenes LANDSAT en la cuenca del Río Santiago. ....	194
Figura 7.3. Diagrama de evaluación de los cuerpos de agua .....	195
Figura 7.4. Segmentación de la imagen para extraer los espejos de agua.....	196
Figura 7.5. Perímetro final de los espejos de agua.....	196
Figura 7.6. Distribución de los espejos de agua caracterizados en campo.....	197
Figura 7.7. Modelo tridimensional y curva área-capacidad-elevación. ....	198
Figura 7.8. Mapa con la distribución del inventario de cuerpos de agua en la Zona Hidrológica del Río Santiago. ....	200

## Índice de tablas

Tabla 4.1. Superficies de las cuencas de los principales Ríos de la subregión hidrológica Santiago	16
Tabla 5.1. Precipitación media diaria por cuenca, ejemplo para el día 03/07/1980.....	26
Tabla 5.2. Presas.....	32
Tabla 5.3. Registros de evaporación de presas.....	35
Tabla 5.4. Datos de evaporación diaria en formato ArcHydro .....	40
Tabla 5.5. Cuencas hidrológicas con estación hidrométrica a la salida .....	44

Tabla 5.6. Estaciones hidrométricas.....	49
Tabla 5.7. Volúmenes de escurrimiento anual de la cuenca 2 Presa Calles.....	51
Tabla 5.8. Presas identificadas con registros de volumen.....	52
Tabla 5.9. 062CTA Presa Cincuenta Aniversario.....	54
Tabla 5.10. Valor de k para diferentes usos del suelo.....	62
Tabla 5.11. Proporción en la que cada cuenca contribuye con escurrimiento al grupo de cuencas. Volumen estimado con el método del coeficiente de escurrimiento.....	64
Tabla 5.12. Cálculo del volumen de la variable Cp para el conjunto de cuencas agrupadas.....	65
Tabla 5.13. Resultados de la variable Cp.....	65
Tabla 5.14. Clasificación de usos de agua REPDA.....	66
Tabla 5.15. Distribución del volumen de agua para la porción de la zona hidrológica del Río Verde (hm <sup>3</sup> ).....	73
Tabla 5.16. Volumen anual de usos REPDA (hm <sup>3</sup> ).....	74
Tabla 5.17. Porcentajes recomendados de retornos con relación al rango de diferentes usos.....	75
Tabla 5.18. Retornos históricos correspondientes a los usos registrados en el REPDA (hm <sup>3</sup> ).....	76
Tabla 5.19. Volumen de cuenca propia para la porción de la zona hidrológica del Río Verde (hm <sup>3</sup> ).....	78
Tabla 5.20. Volumen de aguas arriba para la porción de la zona hidrológica del Río Verde (hm <sup>3</sup> ).....	80
Tabla 5.21. Volumen anual de usos en la porción de la zona hidrológica del Río Verde (hm <sup>3</sup> ).....	83
Tabla 5.22. Volumen anual de retornos en la porción de la zona hidrológica del Río Verde (hm <sup>3</sup> ).....	85
Tabla 5.23. Volumen anual de importaciones (hm <sup>3</sup> ).....	88
Tabla 5.24. Volumen anual de evaporación en presas (hm <sup>3</sup> ).....	90
Tabla 5.25. Volumen anual de evaporación en presas (hm <sup>3</sup> ).....	92
Tabla 5.26. Volumen de variación de volumen (hm <sup>3</sup> ).....	95
Tabla 5.27. Disponibilidad media anual de agua superficial en la Cuenca Río Verde.....	105
Tabla 5.28. Temperaturas anuales de la CH1.....	109
Tabla 5.29. Dotación media (L/hab/día), en la porción de la Cuenca de Río Verde.....	137
Tabla 5.30. Superficie de riego.....	138
Tabla 5.31. Existencia de animales (unidades).....	138
Tabla 5.32. Productividad del agua (precios de 2005).....	138
Tabla 6.1. Estructura y contenido de la tabla “cuenca”.....	146
Tabla 6.2. Topología de la cuenca 1, 2 y 3.....	149
Tabla 6.3. Capas consideradas y fuentes de datos usadas en la implementación del modelo ArchHydro de aguas superficiales.....	157
Tabla 6.4. Componentes e identificadores únicos dentro de la Geodatabase.....	162
Tabla 6.5. Identificadores únicos para la capa MonitoringPoint dentro de la Geodatabase.....	164
Tabla 6.6. Sección de la tabla TsType donde se almacena información de las variables de la tabla TimeSeries.....	166
Tabla 6.7. Contenido de la tabla TSGroup donde se almacenan las fuentes de donde proviene la información.....	168
Tabla 7.1. Relación de imágenes Spot MS que cubren la zona hidrológica del Río Verde.....	192
Tabla 7.2. Relación de imágenes LANDSAT que cubre la Cuenca Santiago.....	194
Tabla 7.3. Distribución del volumen de agua en la zona del Río Verde.....	199
Tabla 7.4. Distribución del volumen de agua en la zona del Río Juchipila.....	200
Tabla 7.5. Distribución del volumen de agua en la zona del Río Santiago.....	201
Tabla 7.6. Volumen de agua en la Zona Hidrológica del Río Santiago.....	201

## 1. ANTECEDENTES

La subregión hidrológica del río Santiago inicia en el Lago de Chapala, Jalisco, y termina en la desembocadura al Océano Pacífico en Nayarit, abarca un área de 75,750.67 km<sup>2</sup>. En esta subregión se encuentran 123 municipios. Sus principales afluentes son los ríos Verde, Juchipila, Bolaños y Huaynamota.

Esta subregión está comprendida por 33 cuencas hidrológicas: Río San Pedro, Presa Calles, Presa El Niágara, Presa El Cuarenta, Río de Lagos, Presa Ajojuar, Río Grande, Río Encarnación, Río Aguascalientes, Río San Miguel, Río del Valle, Río Verde 1, Río Verde 2, Río Palomas, Presa El Chique, Río Juchipila 1, Río Juchipila 2, Río Santiago 1, Río Santiago 2, Presa Santa Rosa, Río Santiago 3, Río Tepetongo, Río Tlaltenango, Arroyo Lobatos, Río Bolaños 1, Río Bolaños 2, Río San Juan, Río Atengo, Río Jesús María, Río Huaynamota, Río Santiago 4, Río Santiago 5 y Río Santiago 6.

Al conjunto de las trece primeras cuencas se les conoce como “Cuenca del Río Verde”, que reviste esencial importancia por contar con un “Decreto de Reserva de Aguas Superficiales para Uso Público Urbano”, publicado el 7 de abril de 1995 (Anexo 1.1), que a la letra dice:

*"ARTÍCULO 2o.- “Con base en los resultados de los estudios efectuados por el Gobierno Federal por conducto de la Comisión Nacional del Agua, en coordinación con los gobiernos de los estados de Guanajuato y Jalisco, el volumen anual máximo que se reserva será de **504'576,000** metros cúbicos de agua. Para el Estado de Guanajuato se reservará un volumen anual máximo de **119'837,000** metros cúbicos de agua y para el Estado de Jalisco un volumen anual máximo de **384'739,000** metros cúbicos de agua...”*

El 17 noviembre de 1997 fue modificado el decreto anterior porque la Comisión Nacional del Agua (Anexo 1.2) concluyó que es factible reducir a los **384'739,000** metros cúbicos de agua que tiene reservado el Estado de Jalisco, la cantidad de **12'600,000** metros cúbicos de agua, a fin que esta última pueda ser utilizada para actividades pecuarias; que a la letra dice:

*"ARTÍCULO 2o.- Con base en los resultados de los estudios efectuados por el Gobierno Federal por conducto de la Comisión Nacional del Agua, en coordinación con los gobiernos de los estados de Guanajuato y Jalisco, el volumen anual máximo que se reserva será de **491'976,000** metros cúbicos de agua. Para el Estado de Guanajuato se reservará un volumen anual máximo de **119'837,000** metros cúbicos de agua y para el Estado de Jalisco un volumen anual máximo de **372'139,000** metros cúbicos de agua.*

La zona hidrológica del Río Verde se convierte en la fuente potencial de abasto para la zona conocida como Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) y también Zona Conurbada de Guadalajara (ZCG), por lo cual el gobierno del Estado de Jalisco en coordinación con la Federación ha iniciado el proyecto denominado “Presa el Purgatorio” que consiste en una presa derivadora, planta de bombeo y un tanque de regulación, con el objeto de cubrir el déficit actual de abastecimiento a la ZCG y optimizar la preservación del Lago de Chapala y los mantos acuíferos de Toluquilla y Atemajac que se encuentran en situación de sobreexplotación. Aunado a lo anterior se tiene en proceso la construcción de la presa Zapotillo, que se ubica entre las cabeceras municipales de Yahualica de González Gallo y Cañadas de Obregón, del estado de Jalisco, de la que se prevé dotar de agua a la Ciudad de León Guanajuato, diversas localidades de Los Altos de Jalisco y a la AMG.

El cauce del Río Verde cruza porciones territoriales de tres estados del occidente de México, nace en el estado de Zacatecas, cruza el de Aguascalientes y recorre una parte del estado de Jalisco hasta su confluencia con el Río Santiago en las inmediaciones de la llamada Barranca de Oblatos la cual delimita a la AMG en su parte nororiental, punto donde registra una longitud de más de 200 km. La cuenca del Río Verde está localizada dentro de la subregión hidrológica del río Santiago con una superficie de 20,705.48 km<sup>2</sup>.

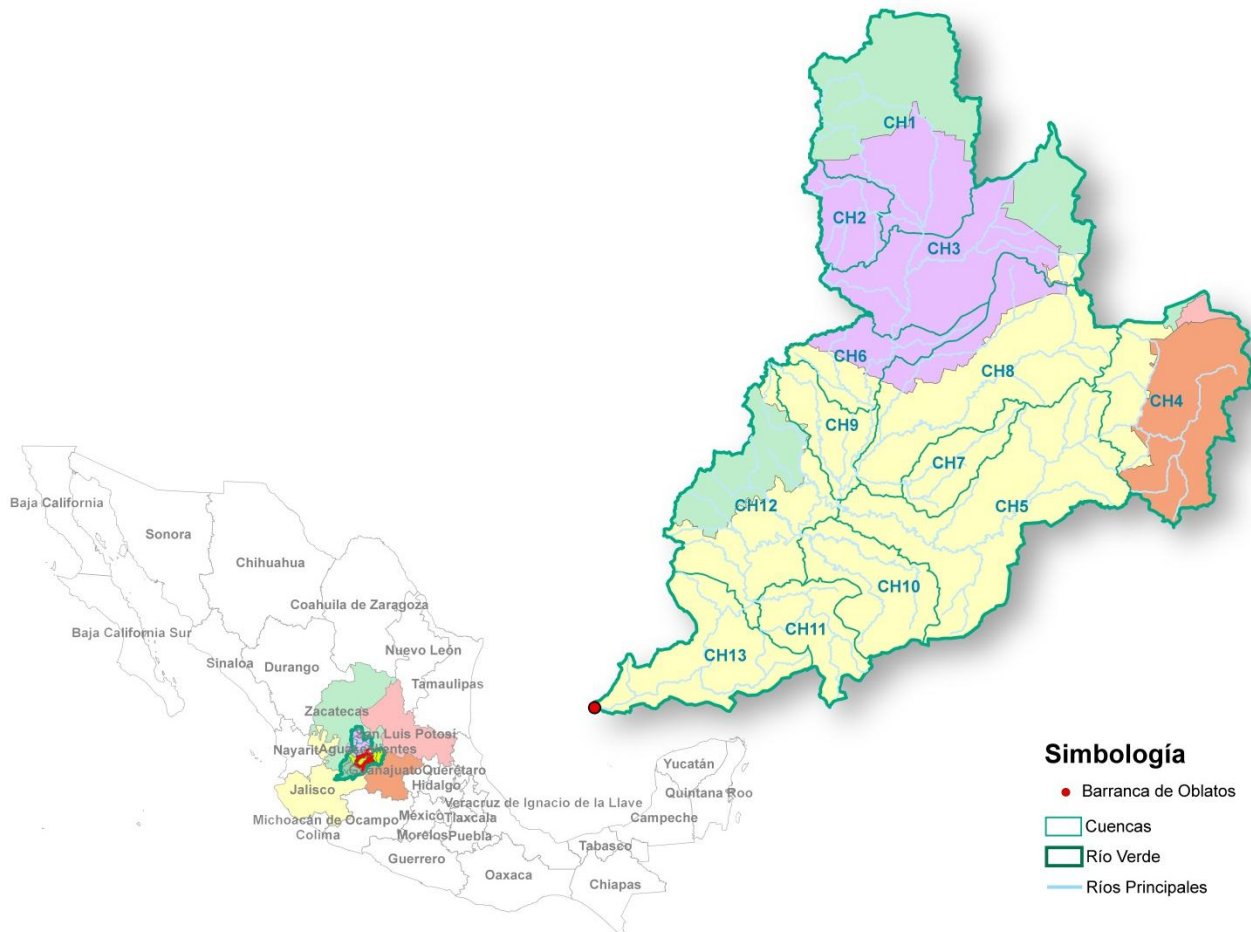


Figura 1.1. Cuencas que integran la zona hidrológica del Río Verde

## 2. INTRODUCCIÓN

México se compone de 37 regiones hidrológicas que a su vez se dividen en 731 cuencas. La disponibilidad del agua superficial se calcula con base en la ecuación de continuidad, que a su vez requiere de extensas series históricas que son complejas para almacenar, organizar y manejar la información dentro de una estructura lógica y flexible.

El componente hidrológico que determina el potencial del escurrimiento generado en la cuenca es el volumen de escurrimiento natural por cuenca propia, se ha obtenido utilizando los dos métodos indicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, actualizada en 2015 conforme a publicación en el DOF de fecha 27 de marzo de 2015, NOM-011-CONAGUA-2015 (Anexo 2.1); uno se denomina “método directo” y está basado en el volumen aforado tanto aguas abajo como aguas arriba. El segundo método se denomina “método indirecto”, que es el más usado. Éste se basa en la relación lluvia-escurrimiento específicamente utilizando el coeficiente de escurrimiento.

En este sentido, resulta relevante para el gobierno del estado de Jalisco la determinación del escurrimiento en la zona hidrológica del Río Verde ya que se tienen en proceso las obras referidas anteriormente y se prevé lograr el aprovechamiento del agua que se tiene reservada con la construcción de más almacenamientos.

Por tal motivo es esencial determinar conforme a la NOM-011-CONAGUA-2015, la disponibilidad de agua superficial en la zona hidrológica del Río Verde, considerando el periodo de 1945- 2013, mismo que será fundamental para definir la infraestructura necesaria para lograr el aprovechamiento del total del agua reservada para Jalisco y las reglas de operación para la distribución del agua superficial de esta cuenca.

Por otro lado, se previó el desarrollo del Sistema de Información Hidrológica (SIH) como la solución que se propone para almacenar, consultar y actualizar información espacial y numérica en una base de datos referentes al recurso hídrico de un área de interés y sirve como herramienta para proporcionar información a modelos de gestión y análisis hidrológico. El SIH usa como plataforma un sistema de información geográfica, que constituye una herramienta adecuada porque permite integrar en una base de datos geográfica los datos asociados con el recurso hídrico de una región. El SIH contiene una base de datos geográfica monousuario así como módulos de consulta y actualización de la información almacenada, y una salida que posibilita la estimación del cálculo de la disponibilidad (con los datos actuales, o bien, con los que se carguen a posteriori). Este sistema lo desarrolló el IMTA para el presente proyecto, utilizando la plataforma ArcGIS en nivel ArcINFO y la versión 10.41.

Actualmente no existe un sistema de información hidrológica en la Región Hidrológica No. 12 Río Santiago con las características descritas anteriormente, por lo que resulta necesaria la revisión y actualización del escurrimiento por cuenca propia (Cp), la realización de un balance hídrico y la implementación de una base de datos geográfica utilizando una estructura estándar, como la propuesta por el modelo de datos ArcHydro, donde se concentre y organice información geográfica y numérica usada para el estudio de disponibilidad y se obtengan parámetros hidrológicos, como áreas de aportación a ciertos puntos de interés.

### 3. OBJETIVOS

#### 1.1. Objetivo general

Evaluar la disponibilidad de agua superficial de la zona hidrológica del Río Verde conforme a la norma NOM-011-CONAGUA-2015, como base para el funcionamiento de infraestructura de almacenamiento y para la definición de la infraestructura necesaria para lograr el aprovechamiento del total del agua reservada para Jalisco y las reglas de operación para la distribución del agua superficial de esta cuenca (considerando el periodo 1945-2013).

#### 1.2. Objetivos específicos:

- Recopilación, validación y análisis de información climatológica e hidrológica para realizar el balance hídrico de la Región Hidrológica No. 12 Río Santiago, particularizado para la cuenca Río Verde, para evaluar y actualizar la disponibilidad de las aguas superficiales, conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 “Conservación del recurso agua”
- Proponer la optimización de los usos de agua y revisar la disponibilidad del agua superficial con respecto al cambio climático.
- Desarrollar un sistema de información geográfica y de consulta que incluya una base de datos geográfica para almacenar y actualizar datos espaciales y series de tiempo asociados con el recurso hídrico superficial de la Región Hidrológica No. 12 Río Santiago, que en el futuro, faciliten la estimación de la disponibilidad.
- Estimar el volumen de agua almacenado con infraestructura menor (como bordos, presones, etc.), localizada al interior de la zona hidrológica del Río Verde mediante el procesamiento de imágenes de satélite de alta resolución tomadas recientemente.

#### 4. UBICACIÓN

La zona hidrológica del Río Verde con 20,705.48 km<sup>2</sup> de superficie se localiza en el estado de Aguascalientes y en parte de los estados de Zacatecas, Jalisco, San Luis Potosí y Guanajuato. En esta zona se localizan las cuencas hidrológicas Río San Pedro, Presa Calles, Presa El Niágara, Presa El Cuarenta, Río de Lagos, Presa Ajojuar, Río Grande, Río Encarnación, Río Aguascalientes, Río San Miguel, Río del Valle, Río Verde 1 y Río Verde 2.



Figura 4.1. Localización de la subregión hidrológica del Río Santiago

La zona hidrológica del Río Verde pertenece a la subregión hidrológica del río Santiago que se ubica en la parte central de la República Mexicana, y abarca además de los estados antes mencionados, una porción de Durango y Nayarit. Esta región colinda al Norte con la RH36 Nazas-Aguanaval, al Sur con la subregión de las cuencas cerradas de Sayula y la subregión del Lago de Chapala, al Este con la RH26 Pánuco, al Noreste con la RH37 Salado, al Sureste con la RH12 Lerma-Chapala, al Noroeste con la RH11 Presidio San Pedro, y al Suroeste con las regiones RH13 Huicicila, RH14 Ameca y RH 16 Armería-Coahuylana y en el Sur con la RH 18 Balsas.

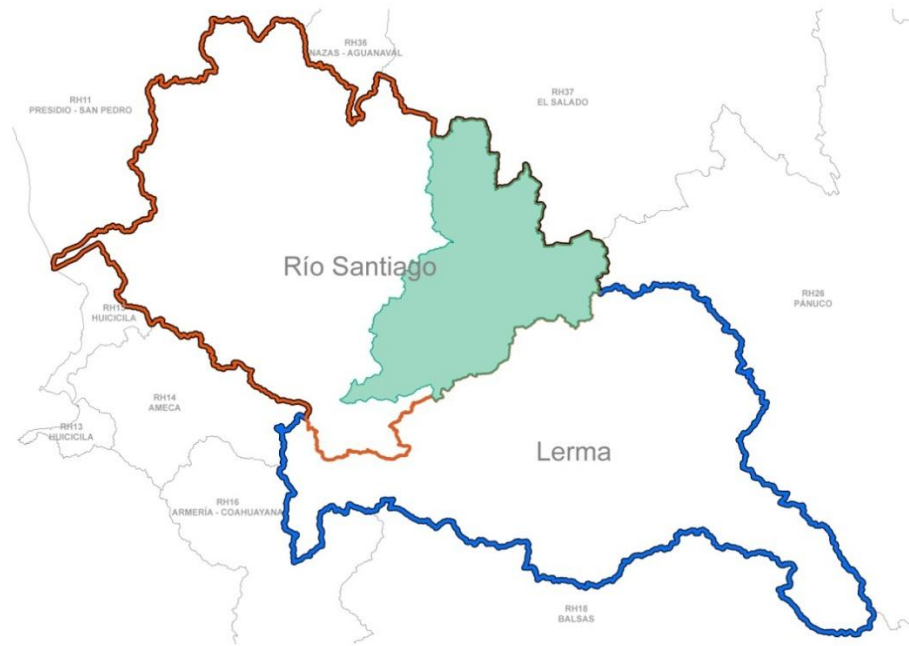


Figura 4.2. Localización de la subregión hidrológica del Río Santiago

La subregión hidrológica del río de Santiago se compone de 33 cuencas que en promedio rebasan los 2,000 km<sup>2</sup>, siendo la No. 28 Río Atengo, la de mayor área de aportación con 6,146.73 km<sup>2</sup> y la No. 14 Río Palomas la de menor superficie con 343.73 km<sup>2</sup>.

Las zonas hidrológicas de los principales ríos de la zona en estudio son: Río Verde, Río Juchipila, Río Santiago, Río Bolaños y Río Huaynamota. Cada una de ellas agrupa varias cuencas como se muestra en las tablas siguientes:

Tabla 4.1. Superficies de las cuencas de los principales Ríos de la subregión hidrológica Santiago

Zona hidrológica Río Verde		
No.	Nombre de la Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )
1	Río San Pedro	2,669.42
2	Presa Calles	592.29
3	Presa El Niágara	2,322.86
4	Presa El Cuarenta	2,267.43
5	Río de Lagos	2,794.75
6	Presa Ajojuar	794.44
7	Río Grande	577.26
8	Río Encarnación	2,644.73
9	Río Aguascalientes	660.79
10	Río San Miguel	1,108.92
11	Río del Valle	765.77
12	Río Verde 1	2,128.68
13	Río Verde 2	1,378.15
<b>Total</b>		<b>20,705.48</b>



Zona hidrológica Río Juchipila		
No.	Nombre de la Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )
14	Río Palomas	343.73
15	Presa El Chique	2,378.71
16	Río Juchipila 1	3,113.03
17	Río Juchipila 2	2,563.91
<b>Total</b>		<b>8,399.38</b>
Zona hidrológica Río Santiago		
No.	Nombre de la Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )
18	Río Santiago 1	2,958.64
19	Río Santiago 2	1,451.04
20	Presa Santa Rosa	1,936.71
21	Río Santiago 3	1,851.79
31	Río Santiago 4	2,241.78
32	Río Santiago 5	2,559.17
33	Río Santiago 6	1,961.33
<b>Total</b>		<b>14,960.46</b>
Zona hidrológica Río Bolaños		
No.	Nombre de la Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )
22	Río Tepetongo	3,071.79
23	Río Tlaltenango	2,550.23
24	Arroyo Lobatos	1,773.72
25	Río Bolaños 1	4,434.21
26	Río Bolaños 2	2,939.32
<b>Total</b>		<b>14,769.27</b>
Zona hidrológica Río Huaynamota		
No.	Nombre de la Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )
27	Río San Juan	5,636.77
28	Río Atengo	6,146.72
29	Río Jesús María	3,083.38
30	Río Huaynamota	2,049.21
<b>Total</b>		<b>16,916.08</b>

La superficie total de la Subregión Hidrológica del Río Santiago es de 75,750.67 km<sup>2</sup>

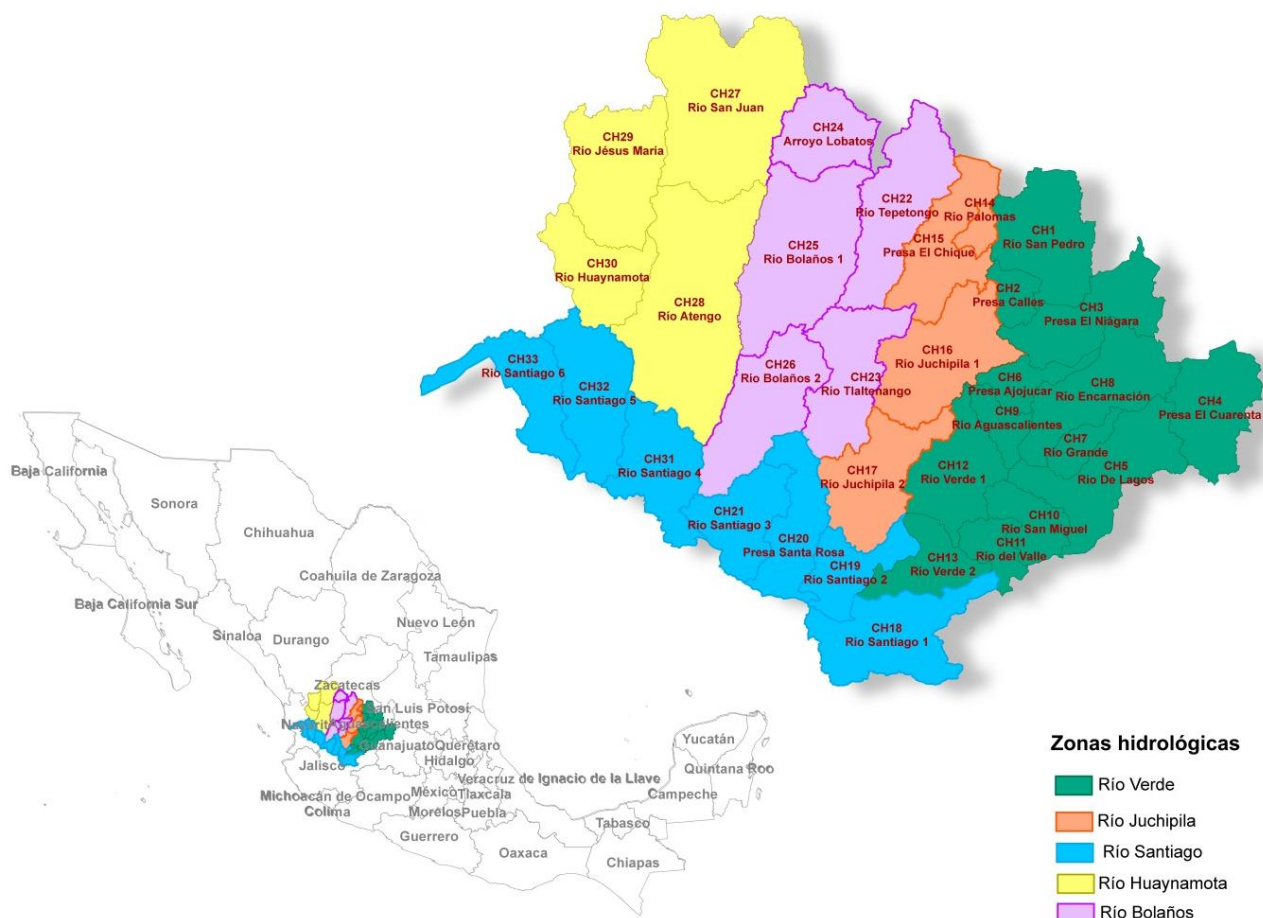


Figura 4.3. Cuencas de la subregión hidrológica del río Santiago

## 5. BALANCE HÍDRICO. ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD

La zona hidrológica del Río Verde forma parte de la subregión hidrológica del Río Santiago, por lo que el balance hídrico y el cálculo de disponibilidad para dicha zona, es el resultado de recopilar, estudiar, analizar la información correspondiente a la subregión hidrológica del Río de Santiago, por esta razón fue necesario tomar la información de las 33 cuencas que pertenecen a dicha subregión.

### 5.1 Recopilación, validación y análisis de información climatológica e hidrológica

Esta actividad se realizó en el siguiente orden:

- Recopilación de información
- Identificación del periodo de análisis y validación de la información
- Análisis de la porosidad de la información
- Completado de series

#### 5.1.1 Climatológica

Los datos climatológicos correspondientes a las variables de precipitación, evaporación y temperatura se obtuvieron de la base de datos del sistema CLImate COMputing Project (CLICOM-, 2013) que es una base de datos de estaciones climáticas superficiales de México administrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), este es un sistema de software de manejo de datos climatológicos desarrollado por las Naciones Unidas. Para este proyecto se tomaron los datos registrados de 1945 a 2013.

Del CLICOM (Anexo 5.1), se identificaron las estaciones dentro y cerca de la subregión hidrológica del río Santiago, tomando un área de influencia (búfer) de 30 km a partir de la línea del partearguas de esa Región. En esta zona de estudio se localizaron 550 estaciones climatológicas.

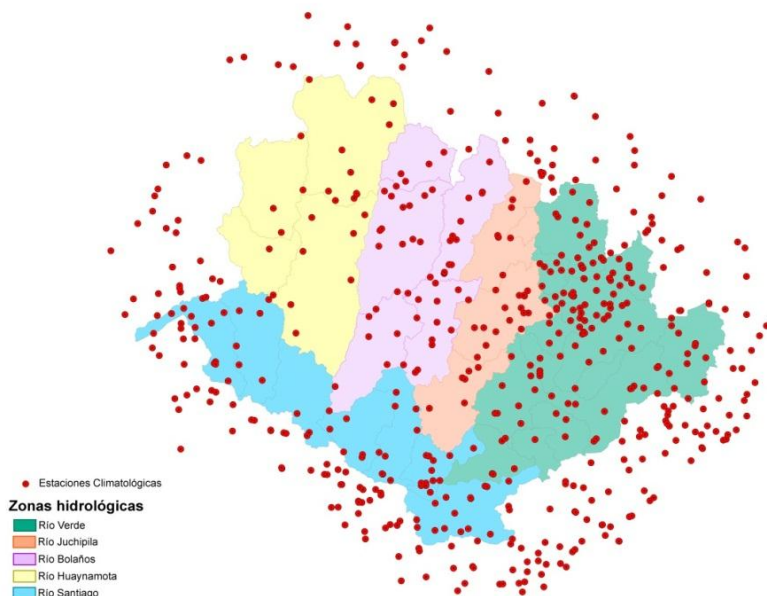


Figura 5.1. Estaciones climatológicas

### 5.1.1.1 Precipitación

#### a. Recopilación de información

La información que se obtuvo del CLICOM está dividida por estados, en archivos de texto separados por coma (de extensión CSV), la cual se procesó para colocarla en la estructura de la base de datos ArcHydro con el objeto de que cada registro corresponda a un dato diario (Anexo 5.2). La figura siguiente muestra la estructura usada por el modelo ArcHydro.

FeatureID	TSTypeID	TSDatTime	TSValue	GroupID	Clave
1001	5	01/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	02/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	03/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	04/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	05/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	06/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	07/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	08/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	09/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	10/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	11/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	12/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	13/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	14/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	15/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	16/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	17/01/1961	0.5	CLICOM	1001
1001	5	18/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	19/01/1961	9.4	CLICOM	1001
1001	5	20/01/1961	15.2	CLICOM	1001
1001	5	21/01/1961	12	CLICOM	1001
1001	5	22/01/1961	33	CLICOM	1001
1001	5	23/01/1961	2.5	CLICOM	1001
1001	5	24/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	25/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	26/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	27/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	28/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	29/01/1961	0	CLICOM	1001
1001	5	30/01/1961	0	CLICOM	1001

Figura 5.2. Datos en formato ArcHydro

#### b. Identificación del periodo de análisis y validación de la información

Para la identificación del periodo de análisis y validación de la información, se usó el de 1945 al 2013. Con esta información se realizó un análisis de los datos diarios con el objeto de considerar periodos de abundancia y escasez y con ello, hechos históricos como lo sucedido en los periodos 1945 – 1955 y 1998 - 2003 de escasez extrema que llevó al Lago de Chapala a su peor nivel de los últimos cien años, o de abundancia como ocurrió en el periodo 1972 -1978.

Como primer paso se clasificaron las estaciones de acuerdo con el marco geo-estadístico estatal. Como resultado de ello se obtuvo que la mayoría se localiza en los estados de Jalisco, Zacatecas y Aguascalientes. Posteriormente, se identificaron los periodos de registro para cada estación climatológica.

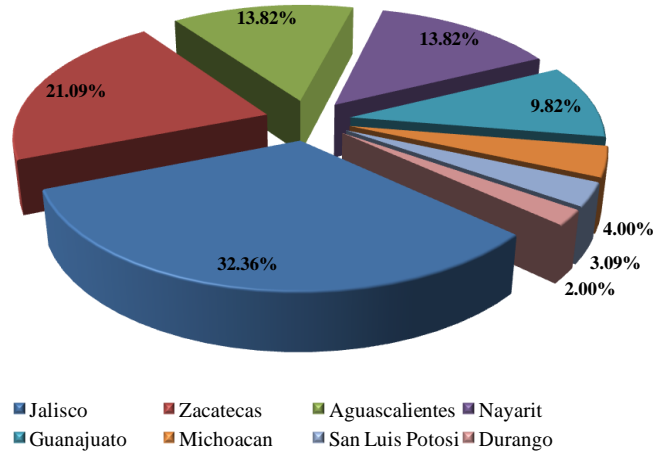


Figura 5.3. Distribución de las estaciones climatológicas por estado

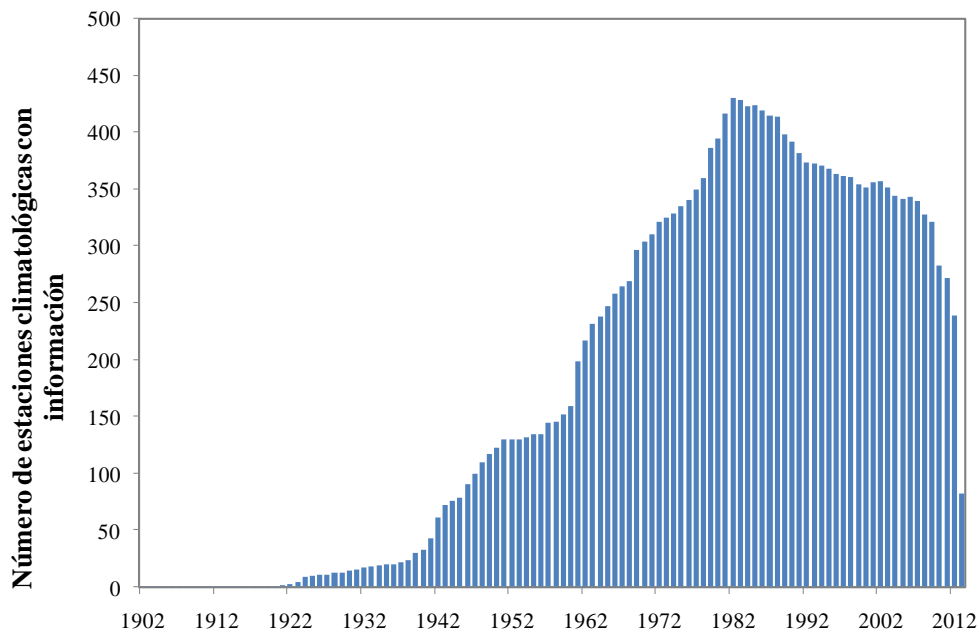


Figura 5.4. Histograma de información de precipitación en el periodo 1902-2013

Este estudio busca establecer el análisis de lluvia para tiempos de abundancia y escasez como lo demuestra la historia en el contexto de lo sucedido en los periodos 1945 – 1955 de escasez extrema que llevó al lago de Chapala a su peor nivel de los últimos cien años, y definir una metodología para la obtención de la información media en ese periodo.

Dado que el objetivo de este estudio es disponer de la base estadística de escurrimiento en el periodo 1945 – 2013, se utilizó toda la información registrada en las 550 estaciones climatológicas ubicadas dentro de la zona de estudio, a efecto de asociar, correlacionar y determinar una base confiable para conocer la lluvia diaria en ese periodo en las estaciones existentes para la subregión hidrológica del río Santiago y en consecuencia para la zona hidrológica del Río Verde.

### c. Análisis de la porosidad de la información

El análisis de la porosidad de la información se realizó considerando las 550 estaciones climatológicas de la zona que sirvió para determinar la cantidad de datos disponibles para el estudio (Anexo 5.2).

### d. Completado de series

Cómo se mencionó en el apartado “b. Identificación del periodo de análisis” al disponer de algunas series de datos incompletas desde el año de 1945, se generaron los “raster” de precipitación diaria utilizando las herramientas del software ArcGis (versión 10.1) usando las 550 estaciones localizadas en la zona de estudio.

En su forma más simple, un archivo “raster” consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (como cuadrícula) en la que cada celda representa una porción de la superficie terrestre y contiene el valor promedio de una variable para esa porción del terreno, como la temperatura o la lluvia.

En un archivo “raster” se almacenan datos generados mediante fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados. Los datos almacenados en formato “raster” representan fenómenos del mundo real.

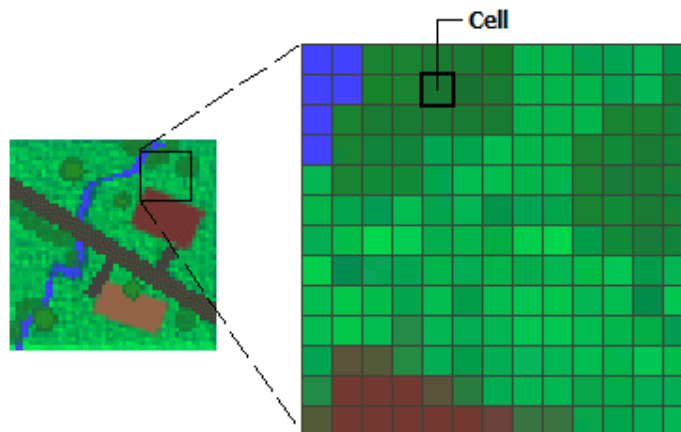


Figura 5.5. Ejemplo de representación en “raster”

Los “rasters” de precipitación para este estudio se generaron utilizando la herramienta del IDW (Inverse Distance Weighted) del ArcGis. Para ello, los datos diarios se integraron en archivos de Excel y se realizó una intersección (JOIN) con el archivo shapefile de las estaciones climatológicas, con el objeto de integrar la información del archivo de Excel en el archivo shapefile de las estaciones, posteriormente se utilizaron filtros por fecha para obtener las estaciones con datos para cada fecha analizada (Anexo 5.2).

Figura 5.6. Datos climatológicos diarios

Se realizaron aproximadamente 14 millones de procesos dando como resultado más de 25 mil mapas de lluvia diaria (de las figuras 5.7 a la 5.10 y la tabla 5.1).

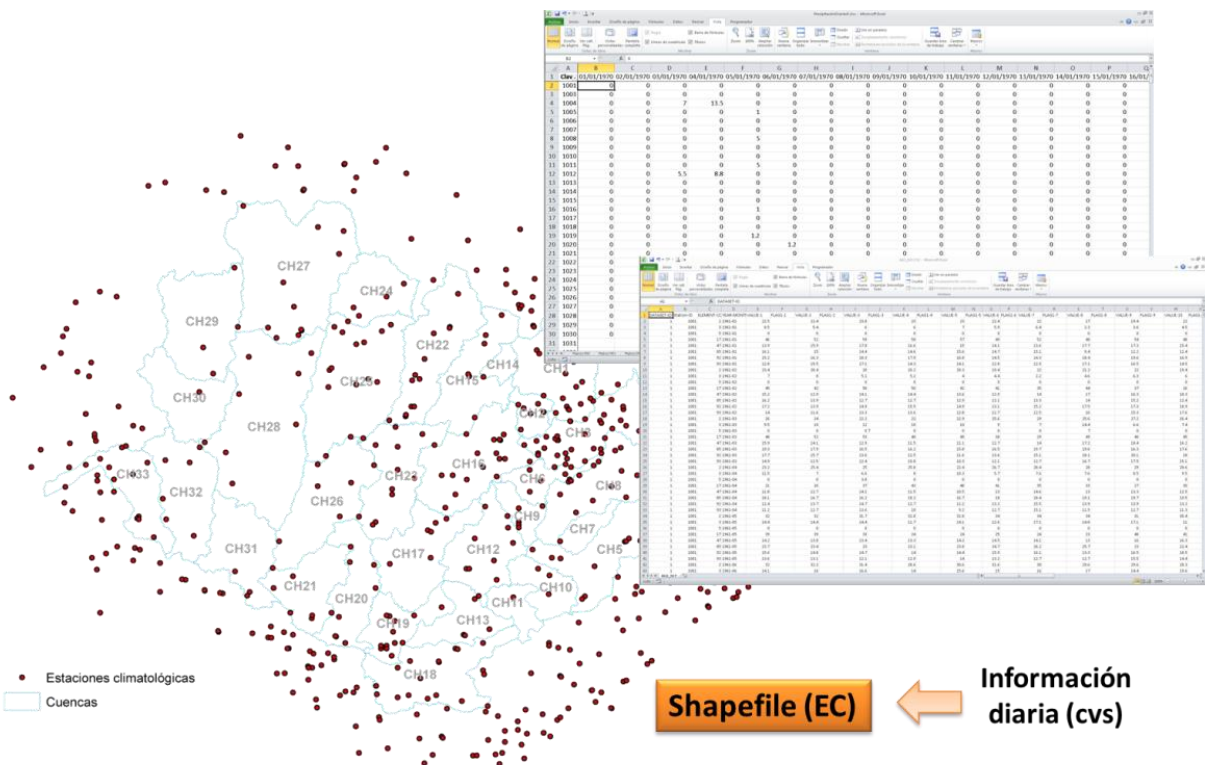


Figura 5.7. Operación de unión (JOIN) de datos diarios de precipitación con el archivo shapefile de estaciones climatológicas

Con el método de la interpolación IDW (Inverse Distance Weighted) se asegura que el valor de salida para una celda se limite al rango de valores utilizados para la interpolación, es decir, no es mayor que la entrada máxima o menor que la entrada mínima y como resultado se obtiene el promedio de la distancia ponderada.

La fórmula general es:

$$\hat{z}_j = \sum_{i=1}^n k_{ij} z_i \quad (1)$$

Donde  $\hat{z}_j$  es el valor estimado para el punto  $j$ ;  $n$  es el número de puntos usados en la interpolación;  $z_i$  el valor en el punto  $i$ -ésimo y  $k_{ij}$  el peso asociado al dato  $i$  en el cálculo del nodo  $j$ . Los pesos  $k$  varían entre 0 y 1 para cada dato y la suma total de ellos es la unidad.

A continuación se describen los pasos para la obtención de los “rasters” de la precipitación diaria:

*Selección de estaciones con registros para una fecha.* A través de una sentencia SQL y la aplicación ArcMap del ArcGIS 10.1, se seleccionó del archivo shapefile conteniendo, aquellas estaciones climatológicas con valores de precipitación para cada fecha de interés.

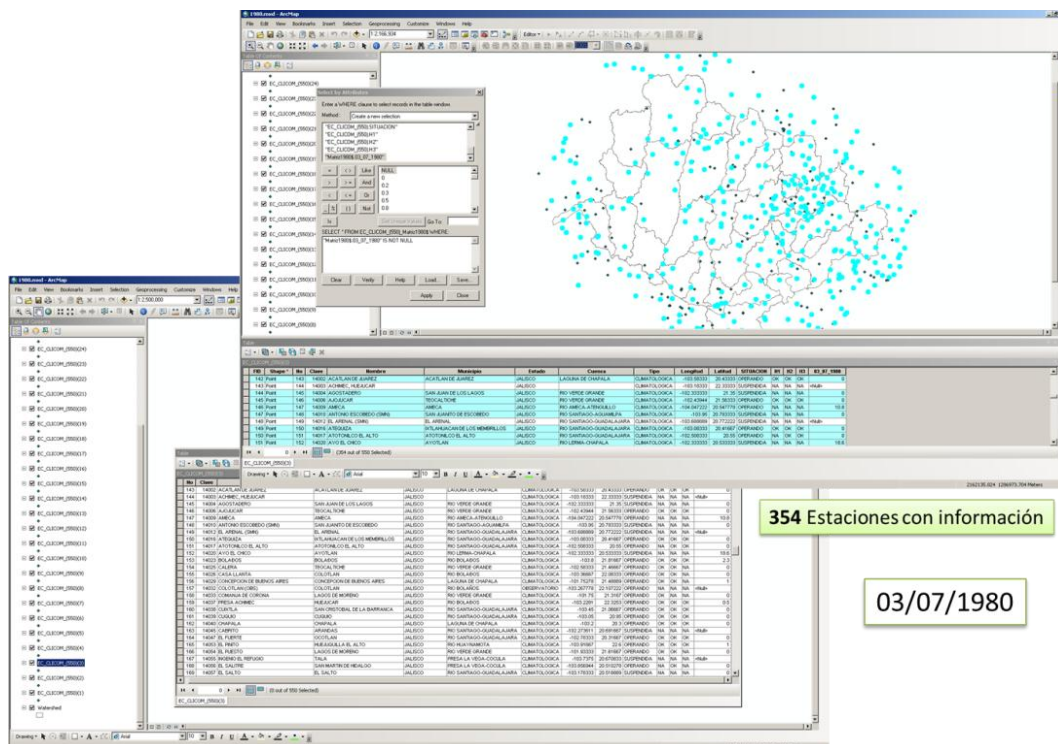


Figura 5.8. Selección de estaciones con datos para una fecha

- “Raster” de precipitación diaria. Para obtener el “raster” de precipitación diaria se utilizó la herramienta de interpolación IDW (localizada en la caja de herramientas Interpolation en Spatial Analyst Tools), en donde se especificó como dato de entrada el archivo shapefile de estaciones seleccionadas con el procedimiento indicado en el paso anterior y se obtuvo el “raster” de precipitación.



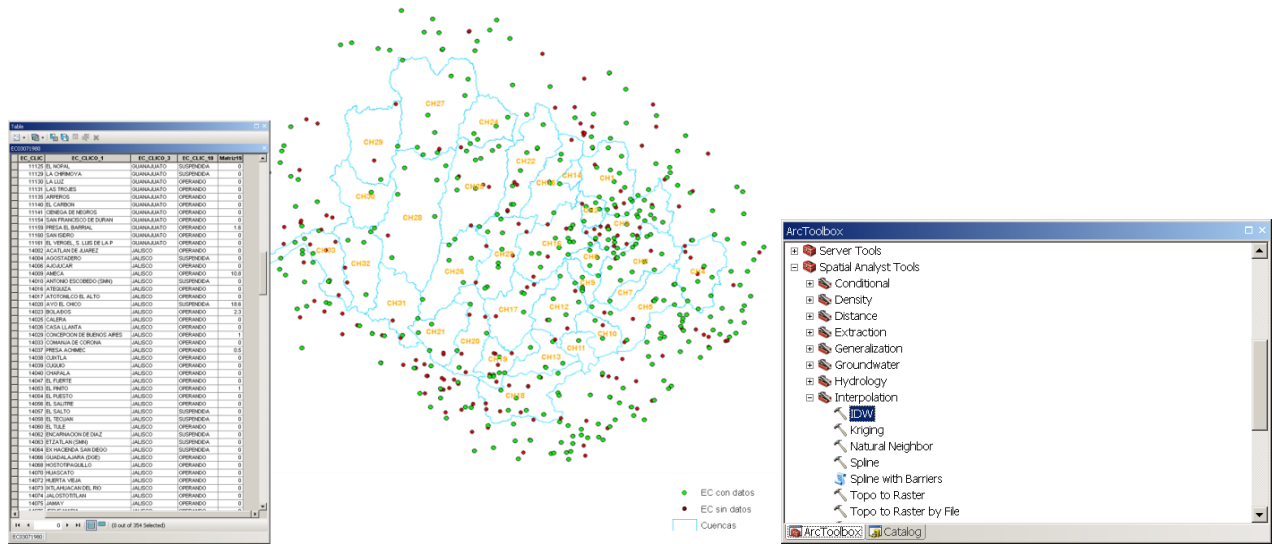


Figura 5.9. Uso de la herramienta IDW

Con la herramienta *Clip del ArcToolbox* se extrajo del archivo “raster” la porción correspondiente al área de estudio. La figura a continuación muestra este proceso.

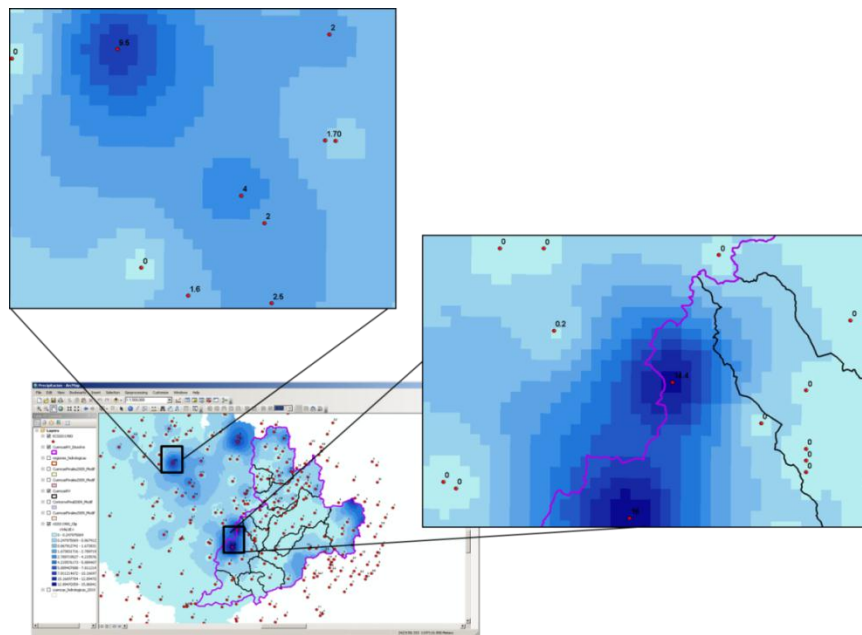


Figura 5.10. “Raster” de precipitación diaria y extracción del área de estudio (mapa)

- *Precipitación media por cuenca.* Con la herramienta *Zonal* que utiliza el “raster” de precipitación y la configuración de la cuenca, se obtuvo el promedio de precipitación para cada una de las cuencas, utilizando cada uno de los pixeles (1.5 km x 1.5 km) dentro del límite de las cuencas, almacenando los resultados en una tabla.

Tabla 5.1. Precipitación media diaria por cuenca, ejemplo para el día 03/07/1980

No.	Nombre de la cuenca	Precipitación media diaria (mm)
1	Río San Pedro	0.50
2	Presa Calles	0.01
3	Presa El Niágara	0.00
4	Presa El Cuarenta	0.04
5	Río de Lagos	0.20
6	Presa Ajojucar	0.00
7	Río Grande	0.01
8	Río Encarnación	0.01
9	Río Aguascalientes	0.00
10	Río San Miguel	0.12
11	Río del Valle	0.20
12	Río Verde 1	0.00
13	Río Verde 2	0.00
14	Río Palomas	0.55
15	Presa El Chique	0.24
16	Río Juchipila 1	0.02
17	Río Juchipila 2	0.00
18	Río Santiago 1	0.02
19	Río Santiago 2	0.00
20	Presa Santa Rosa	0.42
21	Río Santiago 3	3.21
22	Río Tepetongo	0.29
23	Río Tlaltenango	0.97
24	Arroyo Lobatos	0.19
25	Río Bolaños 1	2.23
26	Río Bolaños 2	6.22
27	Río San Juan	1.43
28	Río Atengo	10.53
29	Río Jesús María	3.32
30	Río Huaynamota	3.22
31	Río Santiago 4	10.28
32	Río Santiago 5	3.86
33	Río Santiago 6	2.54

- *Comparación de datos con el método de polígonos de Thiessen.* Los resultados obtenidos con el método del IDW se compararon con el método de polígonos de Thiessen. Estos polígonos se generaron con la herramienta Create Thiessen Polygons (disponible en la caja de herramientas Proximity de Análisis Tools). El ejercicio de comparación se hizo usando los datos del día 3 de julio de 1980,

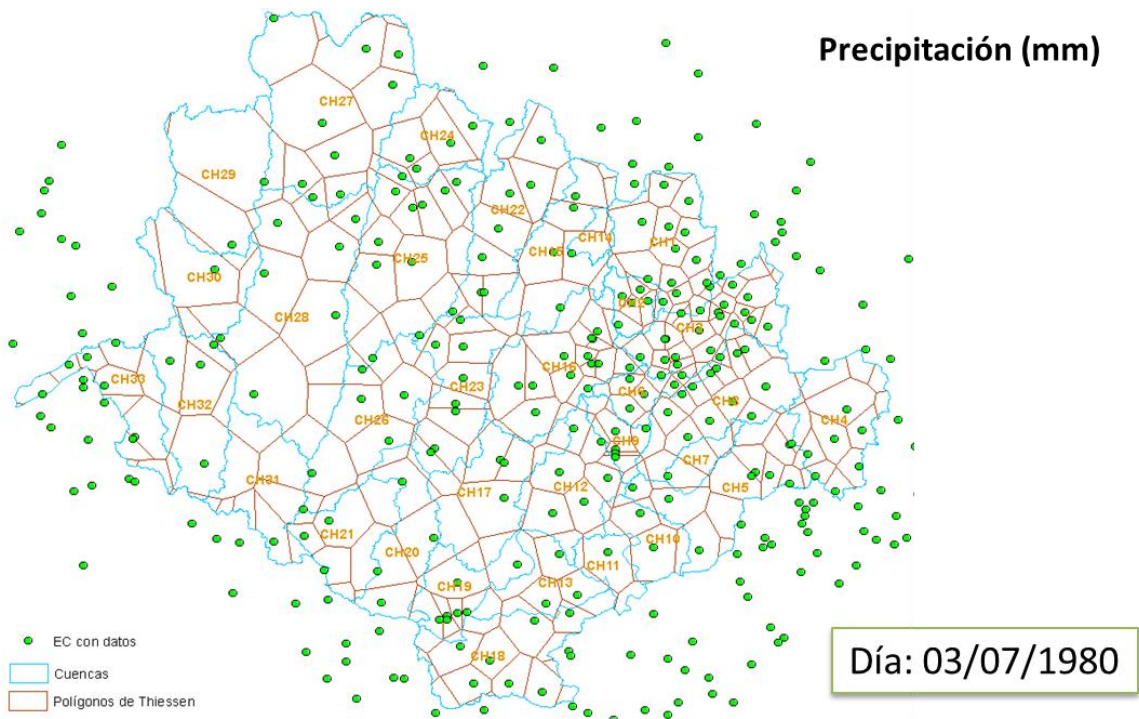


Figura 5.11. Polígonos de Thiessen

En la figura se muestra la comparación de resultados para este ejemplo y se observa lo siguiente:

- ✓ La precipitación media diaria obtenida con los “rasters” está por abajo, en general, con respecto a los valores de precipitación obtenida por los polígonos de Thiessen.
- ✓ El método empleado para obtener los “rasters” de precipitación diaria hasta la cuenca CH 20 es muy parecida por tener valores bajos. De la cuenca CH 21 en adelante las variaciones son más evidentes, siendo más altos los resultados de los Polígonos de Thiessen.

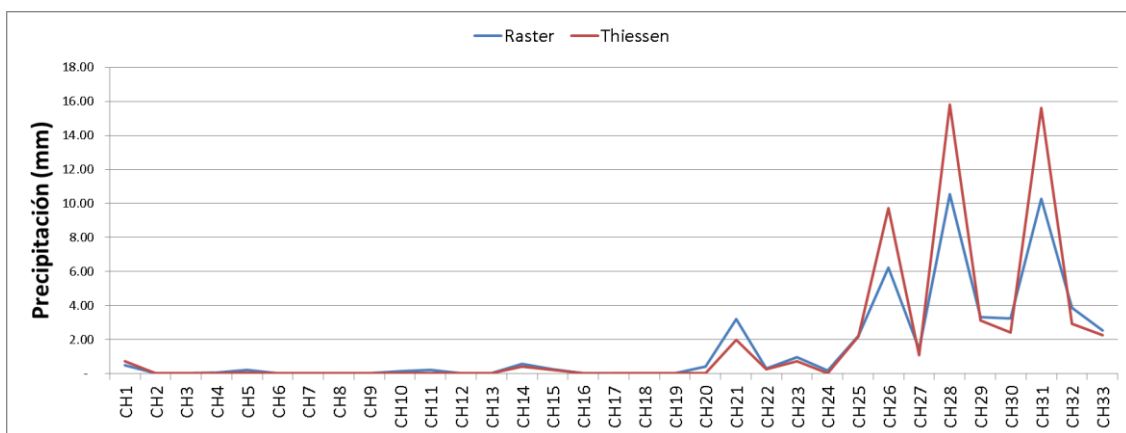


Figura 5.12. Gráfico de comparación, día 03/07/1980

- Integración de datos diarios. Una vez obtenidas las tablas con la precipitación media diaria, se realizó la integración de la información e un archivo de Excel por cuenca.

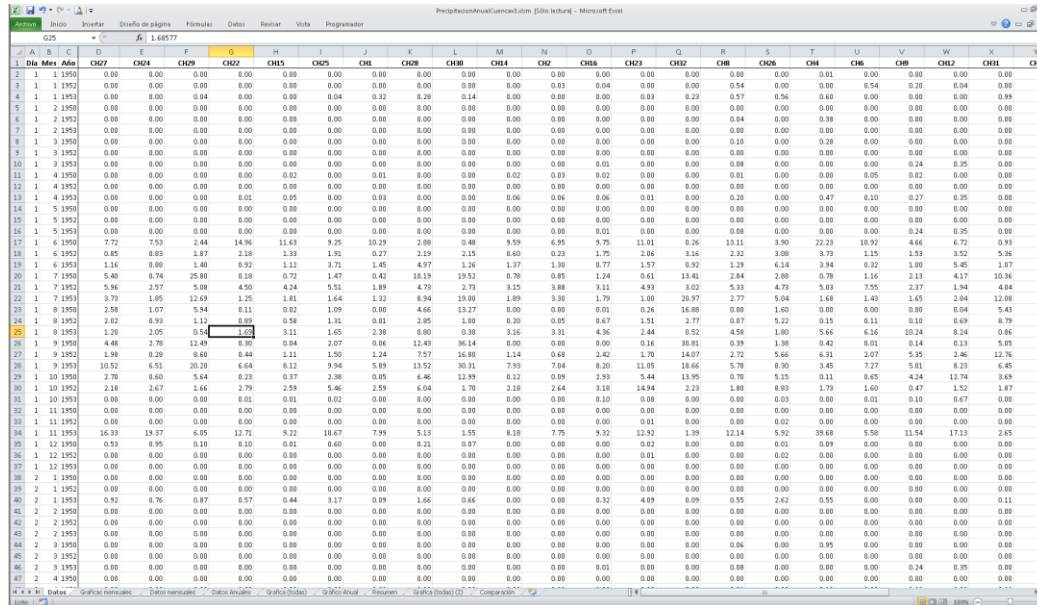


Figura 5.13. Precipitación media diaria por cuenca

Esta integración permitió tener los datos mensuales y anuales (Anexo 5.2). La figura mostrada a continuación permite visualizar un ejemplo de estos datos.

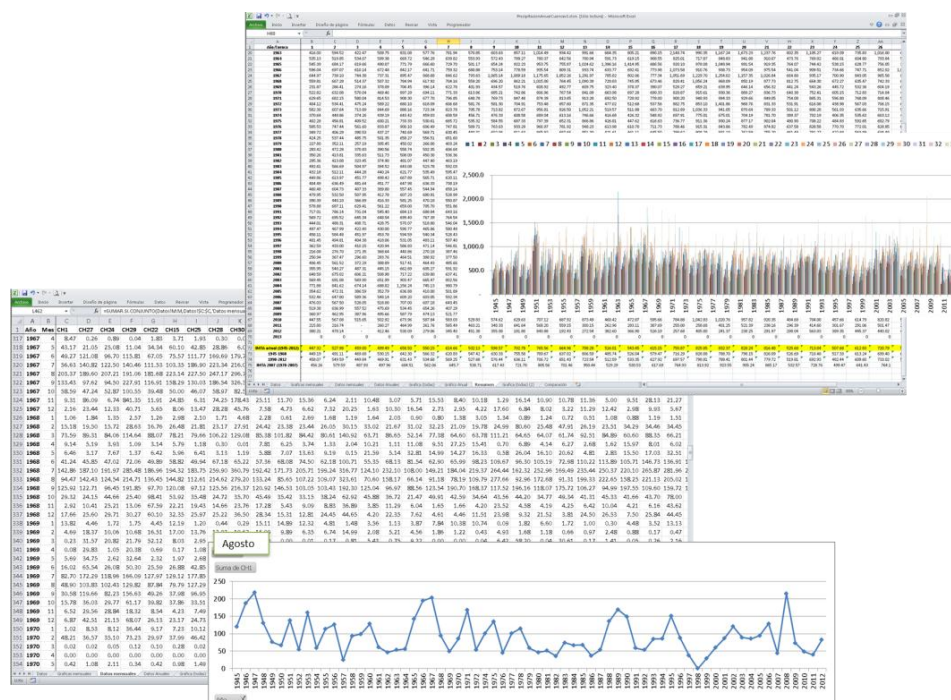


Figura 5.14. Precipitación mensual y anual por cuenca

Finalmente se obtuvo el valor medio anual de precipitación para cada una de las cuencas, al comparar los valores obtenidos con los reportados en estudios anteriores, se observó que el comportamiento es parecido, con diferencias mínimas. La figura mostrada abajo ilustra esta comparación.

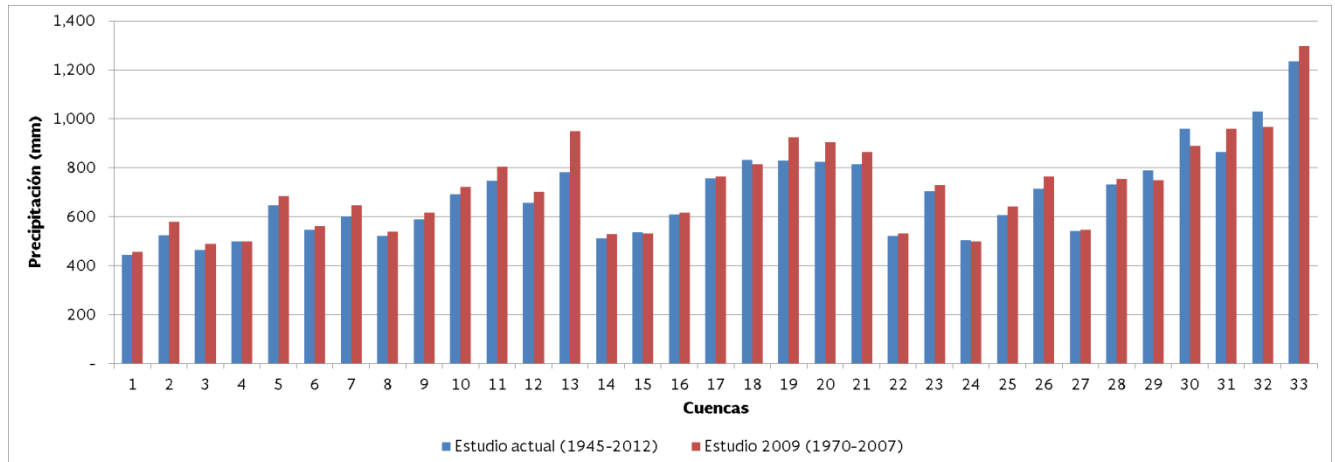


Figura 5.15. Comparativo de valores de precipitación media anual por cuenca obtenidos en este estudio y el estudio de disponibilidad (IMTA, 2009)

### 5.1.1.2 Evaporación

La evaporación para cada cuenca se obtuvo de:

- La base de datos de presas del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales de Conagua (BANDAS).
- Cuerpos de agua perennes y con nombre (IMTA, 2014).
- Cuerpos de agua del estudio de disponibilidad (IMTA, 2009).

El total de la evaporación de cada cuenca se obtuvo con la suma promedio de la evaporación de los cuerpos de agua y los registros de evaporación de las presas operadas por Conagua (BANDAS) y CFE.

La evaporación de los cuerpos de agua se obtuvo con la lámina de evaporación (estación climatológica más cercana), la superficie del cuerpo de agua y el coeficiente de evaporación  $C_{ev}=0.70$ .

#### a. Recopilación de información

##### Evaporación de cuerpos de agua

Para obtener información de datos de evaporación, se recopiló:

- Cuencas hidrológicas y estaciones climatológicas del estudio de disponibilidad (IMTA, 2009).
- Cuerpos de agua de la subregión hidrológica del río Santiago obtenidos del análisis de imágenes de satélite realizado por el IMTA en 2014 (Anexo 7).

El procedimiento fue el siguiente:

En un proyecto de ArcGIS se colocaron las capas de información de estaciones climatológicas, cuencas hidrológicas y cuerpos de agua.

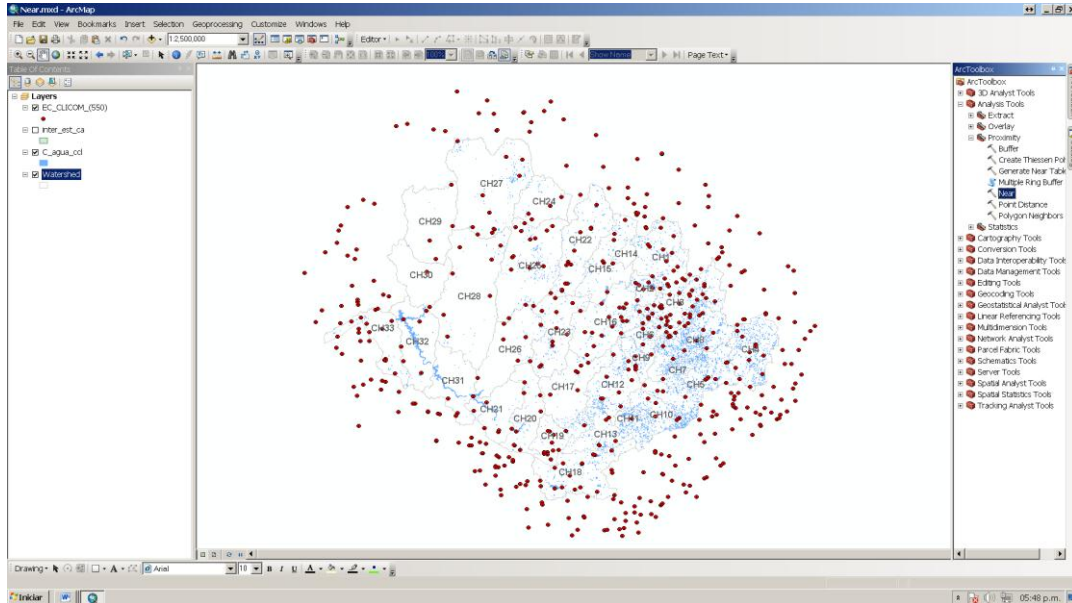


Figura 5.16. Estaciones climatológicas, cuencas y cuerpos de agua.

Posteriormente con la herramienta *NEAR* y utilizando como datos de entrada la capa de cuerpos de agua (polígonos) y de estaciones climatológicas (puntos), se realizó una búsqueda para identificar a las estaciones más cercanas a cada cuerpo de agua, de acuerdo con la distancia (*NEAR\_DIST*). Como resultado se obtuvo para cada cuerpo de agua un identificador (*NEAR\_FID*).

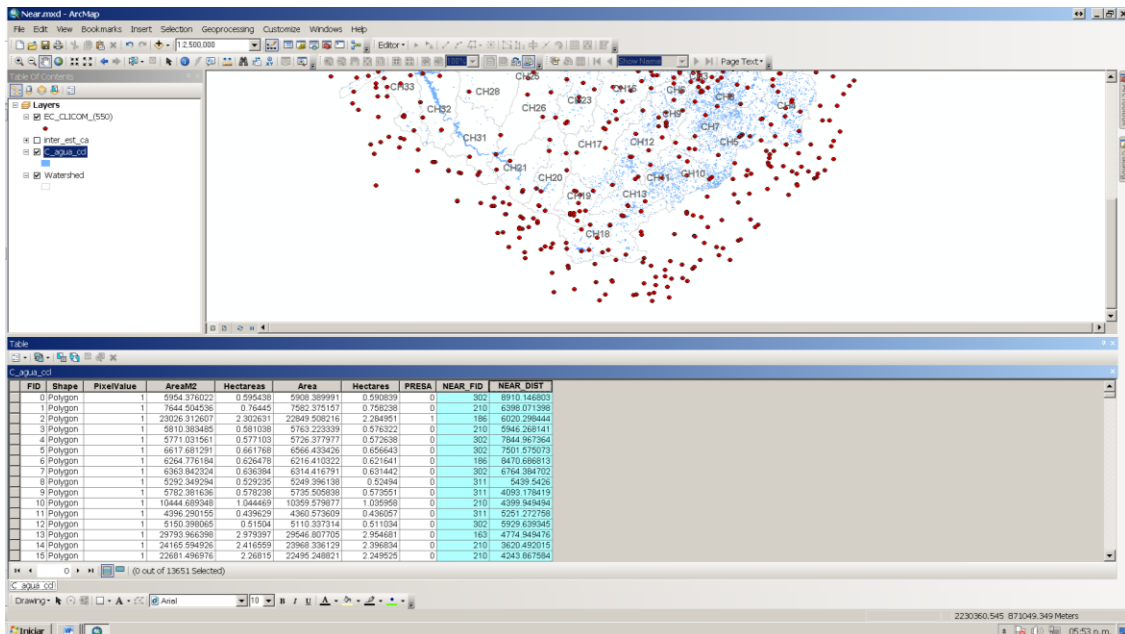


Figura 5.17. Campos agregados a cada cuerpo de agua



Estos datos de evaporación obtenidos por estado (formato CSV) se cambiaron a la estructura de datos ArcHydro para que a cada registro le correspondiera un dato diarios (Anexo 5.3).

FeatureID	TSTypeID	TSDatetime	TSValue	GroupID	Clave
1001	18	01/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	02/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	03/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	04/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	05/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	06/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	07/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	08/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	09/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	10/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	11/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	12/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	13/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	14/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	15/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	16/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	17/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	18/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	19/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	20/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	21/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	22/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	23/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	24/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	25/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	26/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	27/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	28/01/1945		CLICOM	1001
1001	18	29/01/1945		CLICOM	1001

Figura 5.20. Datos de evaporación en formato ArcHydro

### Evaporación de presas

Por otro lado, se extrajeron los datos de evaporación de 23 presas de la base de datos BANDAS que integra la red hidrométrica nacional. En esta red se registra además el nivel de agua (escalas) y la cantidad de agua que pasa cada hora (aforos) en los principales ríos de la República Mexicana.

Adicionalmente, se obtuvo información de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco y del estudio de disponibilidad (IMTA, 2009), de donde se extrajeron los valores correspondientes a las Presas Aguamilpa, La Yesca y El Cajón de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), dando un total de 26 presas utilizadas para obtener el volumen de evaporación.

Tabla 5.2. Presas

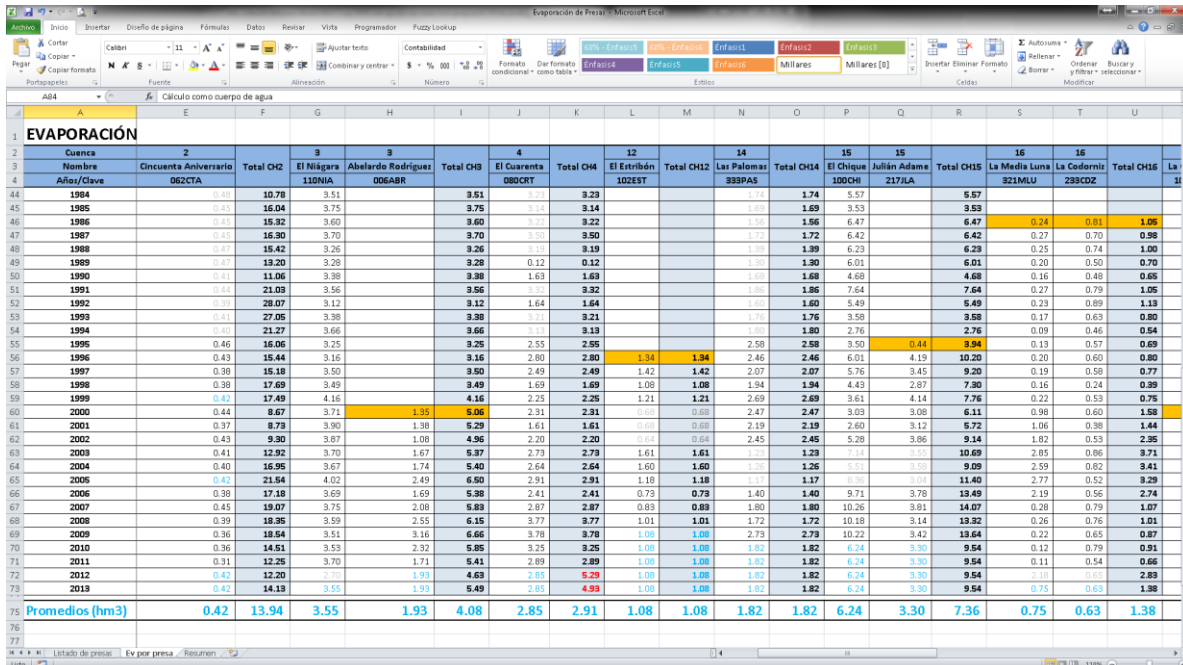
No.	Clave	Nombre de la presa	CH
1	006ABR	Abelardo Rodríguez	3
2	015ACH	Achimec	22
3	108CAJ	Cajititlán	18
4	103CHI	Chila	18
5	062CTA	Cincuenta Aniversario	2
6	100CHI	El Chique	15
7	080CRT	El Cuarenta	4
8	102EST	El Estribón	12
9	552JCO	El Jocoqui	1
10	110NIA	El Niágara	3
11	055CLL	Elías Calles	2



No.	Clave	Nombre de la presa	CH
12	114EGC	Elías González Chávez	18
13	217JLA	Julián Adame	15
14	233CDZ	La Codorniz	16
15	106COL	La Colonia	18
16	321MLU	La Media Luna	16
17	109RED	La Red	18
18	333PAS	Las Palomas	14
19	360MAF	Manuel Felgueres	24
20	350PAL	Miguel Alemán	23
21	357RLV	Ramón López Velarde	22
22	400SRO	Santa Rosa	20
23	425TEN	Tenaxco	22
24		Aguamilpa	32
25		El Cajón	31
26		La Yesca	21

Con el uso de SIG y en coordinación con la Conagua, se identificaron las presas correspondientes a cada una de las cuencas de la región.

La información recopilada está reagrupada por cuenca (en Excel Anexo 5.3), La figura siguiente muestra un ejemplo de los registros de evaporación recopilados.



EVAPORACIÓN																		
1	2	3	3	4	12	14	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16		
3	Nombre	Cincuenta Aniversario	Total CH2	El Niágara	Abelardo Rodríguez	Total CH3	El Cuarenta	Total CH4	El Estribón	Total CH12	Las Palomas	Total CH14	El Chique	Julián Adame	Total CH15	La Media Luna	La Codorniz	Total CH16
4	Años/Clave	D62CTA		110NIA	006ABR		080CRT		102EST		333PAS		100CHE	217JLA		321MLU	233CDZ	
44	1984	0.40	10.78	3.51		9.51	3.21	3.29			1.74	1.74	5.57		6.57			
45	1985	0.41	15.04	3.75		9.75	3.14	3.14			1.69	1.69	3.53		3.53			
46	1986	0.43	15.32	3.60		3.60	3.22	3.22			1.56	1.56	6.47		6.47	0.24	0.81	1.05
47	1987	0.45	16.30	3.70		3.70	3.50	3.50			1.72	1.72	6.42		6.42	0.27	0.70	0.98
48	1988	0.47	15.42	3.26		3.26	3.15	3.19			1.39	1.39	6.23		6.23	0.20	0.74	1.00
49	1989	0.47	19.20	3.28		3.28	0.12	0.12			1.39	1.39	6.01		6.01	0.20	0.50	0.70
50	1990	0.41	11.06	3.38		3.38	1.63	1.63			1.68	1.68	4.68		4.68	0.16	0.48	0.65
51	1991	0.44	21.09	3.56		3.56	2.27	3.32			1.85	1.85	7.64		7.64	0.27	0.79	1.05
52	1992	0.39	28.07	3.12		3.12	1.64	1.64			1.83	1.83	5.49		5.49	0.23	0.89	1.13
53	1993	0.41	27.05	3.38		3.38	3.11	3.21			1.76	1.76	3.58		3.58	0.17	0.63	0.80
54	1994	0.40	21.27	3.66		3.66	3.13	3.13			1.80	1.80	2.76		2.76	0.09	0.46	0.54
55	1995	0.46	16.06	3.25		3.25	2.55	2.55			2.58	2.58	3.50	0.44	3.94	0.13	0.57	0.69
56	1996	0.43	15.44	3.16		3.16	2.80	2.80	1.34	1.34	2.46	2.46	6.01	4.19	10.20	0.20	0.60	0.80
57	1997	0.38	15.18	3.50		3.50	2.49	2.49	1.42	1.42	2.07	2.07	5.76	3.45	9.20	0.19	0.58	0.77
58	1998	0.38	17.69	3.49		3.49	1.69	1.69	1.08	1.08	1.94	1.94	4.43	2.87	7.30	0.16	0.24	0.39
59	1999	0.42	17.49	4.16		4.16	2.25	2.25	1.21	1.21	2.69	2.69	3.61	4.14	7.76	0.22	0.53	0.75
60	2000	0.44	8.67	3.71	1.35	5.06	2.91	2.31	0.68	0.68	2.47	2.47	3.03	3.08	6.11	0.98	0.60	1.58
61	2001	0.37	8.79	3.90	1.38	6.29	1.61	1.61	0.68	0.68	2.19	2.19	2.60	3.12	6.72	1.06	0.38	1.44
62	2002	0.43	9.30	3.87	1.08	4.96	2.20	2.20	0.64	0.64	2.45	2.45	5.28	3.86	9.14	1.82	0.53	2.35
63	2003	0.41	12.92	3.70	1.67	5.37	2.73	2.73	1.61	1.61	1.25	1.23	7.14	3.15	10.69	2.85	0.86	3.71
64	2004	0.40	16.95	3.67	1.74	5.40	2.64	2.64	1.60	1.60	1.25	1.26	5.51	3.58	9.09	2.59	0.82	3.41
65	2005	0.42	21.54	4.02	2.49	4.50	2.91	2.91	1.18	1.18	1.73	1.17	8.36	3.04	11.40	2.77	0.52	3.29
66	2006	0.38	17.18	3.69	1.69	5.38	2.41	2.41	0.73	0.73	1.40	1.40	9.71	3.78	13.49	2.19	0.56	2.74
67	2007	0.45	19.07	3.75	2.08	5.83	2.87	2.87	0.83	0.83	1.80	1.80	10.26	3.81	14.07	0.28	0.79	1.07
68	2008	0.39	18.95	3.59	2.55	6.15	3.77	3.77	1.01	1.01	1.72	1.72	10.18	3.14	13.32	0.26	0.79	1.01
69	2009	0.36	18.54	3.51	3.16	6.66	3.78	3.78	1.08	1.08	2.73	2.73	10.22	3.42	13.64	0.22	0.65	0.87
70	2010	0.36	14.51	3.53	2.32	5.85	3.25	3.25	1.08	1.08	1.62	1.82	6.24	3.30	9.54	0.12	0.79	0.91
71	2011	0.31	12.25	3.70	1.71	5.41	2.89	2.89	1.08	1.08	1.82	1.82	6.24	3.30	9.54	0.11	0.54	0.65
72	2012	0.42	12.20	3.93	1.93	4.63	2.95	2.29	1.08	1.08	1.82	1.82	6.24	3.30	9.54	0.11	0.54	0.65
73	2013	0.42	14.18	3.55	1.93	5.49	2.85	4.93	1.08	1.08	1.82	1.82	6.24	3.30	9.54	0.75	0.63	1.38
75	Promedios (hm3)	0.42	13.94	3.55	1.93	4.08	2.85	2.91	1.08	1.08	1.82	1.82	6.24	3.30	7.36	0.75	0.63	1.38

Figura 5.21. Registros históricos de evaporación en presas.

## b. Identificación del periodo de análisis y validación de la información

### Evaporación de cuerpos de agua

De las 550 estaciones climatológicas ubicadas en la zona de estudio se revisaron e identificaron las estaciones con información dentro de la zona de estudio, que para esta variable fueron 468 estaciones con información.

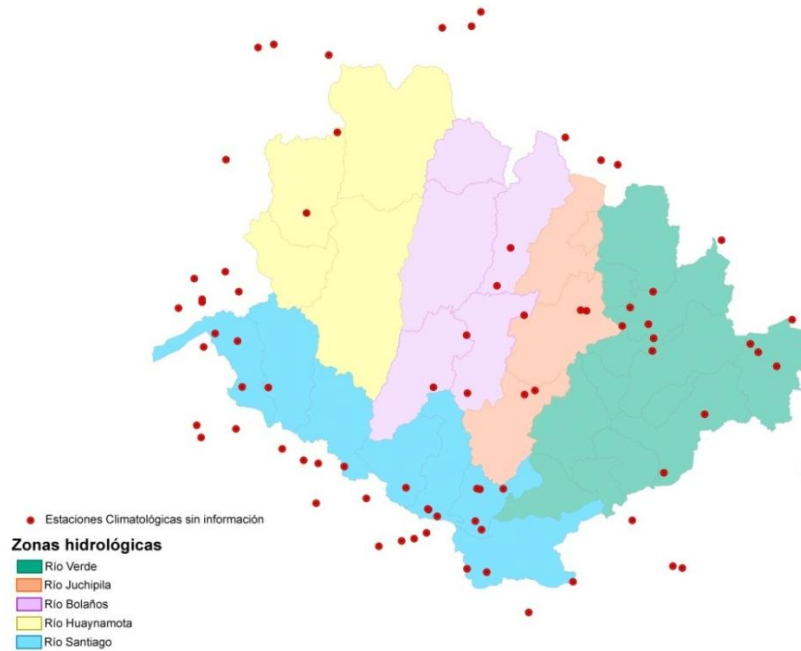


Figura 5.22. 82 estaciones climatológicas sin datos de evaporación

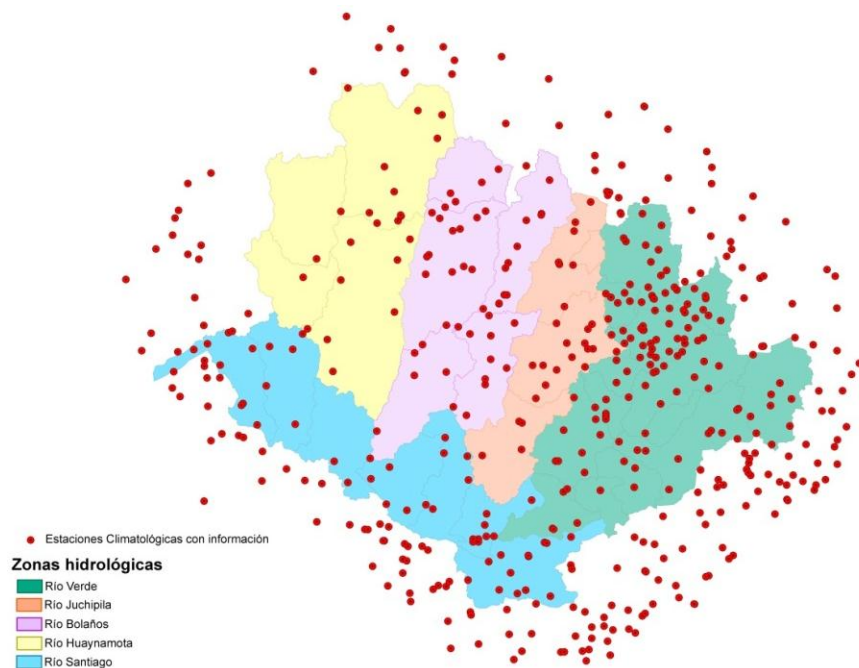


Figura 5.23. 468 estaciones climatológicas con datos de evaporación

### Evaporación de presas

Para las presas, se tomaron los registros de evaporación comprendidos desde su inicio de operación hasta 2013, completando los datos faltantes con las estaciones climatológicas cercanas a la presa.

#### c. Análisis de la porosidad de la información

##### Evaporación de cuerpos de agua

El análisis de la información se realizó considerando las 550 estaciones climatológicas de la zona, este análisis sirvió para determinar la cantidad de datos disponibles para el estudio. La información puede consultarse en el Anexo 5.3.

##### Evaporación de presas

En la siguiente tabla se muestran el resumen de los años con información de registros de evaporación con los que se cuentan en las presas. Para completar la información faltante se hizo de dos formas: en la primera se usaron datos de estaciones climatológicas y se obtuvo el registro en proporción al área del vaso y el coeficiente de evaporación, y la segunda con promedios de la serie de datos.

Tabla 5.3. Registros de evaporación de presas

CH	Clave	Nombre de la presa	Año inicial	Año final (estudio)	Años en el periodo	Años con información	%
1	552JCO	El Jocoqui	1995	2013	19	16	84
2	055CLL	Elías Calles	1932	2013	82	71	87
2	062CTA	Cincuenta Aniversario	1976	2013	38	19	50
3	110NIA	El Niágara	1963	2013	51	49	96
3	006ABR	Abelardo Rodríguez	2000	2013	14	12	86
4	080CRT	El Cuarenta	1949	2013	65	51	78
12	102EST	El Estribón	1996	2013	18	10	56
14	333PAS	Las Palomas	1970	2013	44	22	50
15	100CHI	El Chique	1958	2013	56	49	88
15	217JLA	Julián Adame	1995	2013	19	12	63
16	321MLU	La Media Luna	1986	2013	28	26	93
16	233CDZ	La Codorniz	1986	2013	28	26	93
18	106COL	La Colonia	2000	2013	14	10	71
18	108CAJ	Cajititlán	2000	2013	14	6	43
18	103CHI	Chila	2000	2013	14	10	71
18	114EGC	Elías González Chávez	2003	2013	11	7	64
18	109RED	La Red	2003	2013	11	1	9
20	400SRO	Santa Rosa	1963	2013	51	17	33
22	425TEN	Tenaxco	1960	2013	54	32	59
22	015ACH	Achimec	1969	2013	45	23	51
22	357RLV	Ramón López Velarde	1976	2013	38	27	71
23	350PAL	Miguel Alemán	1949	2013	65	48	74
24	360MAF	Manuel Felgueres	2000	2013	14	6	43
32		Aguamilpa	2006	2013	8	4	50
31		El Cajón	2007	2013	7	5	71
21		La Yesca	2012	2013	2	1	50

Fuente: Conagua. Base de datos BANDAS, 2013, Estudio de disponibilidad (IMTA, 2009)

#### d. Completado de series

##### Evaporación de cuerpos de agua

El completado de las series de tiempo de los cuerpos de agua se hizo utilizando los datos registrados en las estaciones climatológicas cercanas al cuerpo de agua. El proceso consistió en sacar el promedio anual de evaporación por año, tomando como base los datos diarios, los datos son leídos de la hoja de “Datos-Evap” (Anexo 5.3).

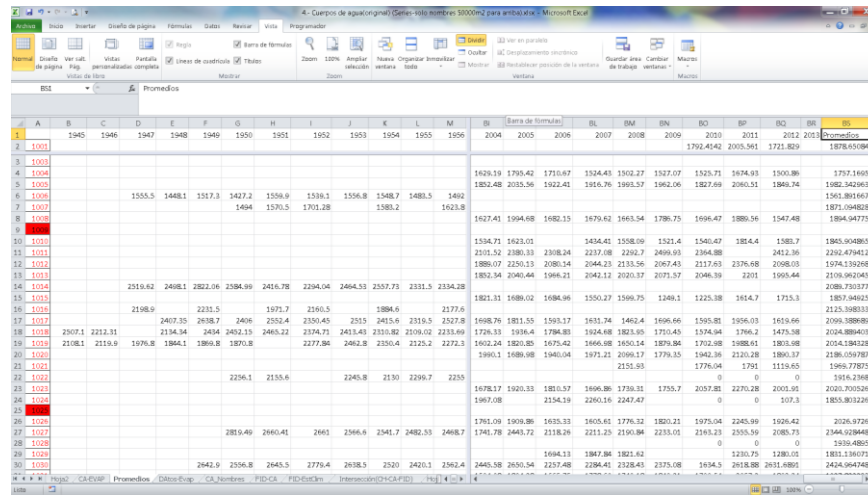


Figura 5.24. Información con promedios anuales de la evaporación.

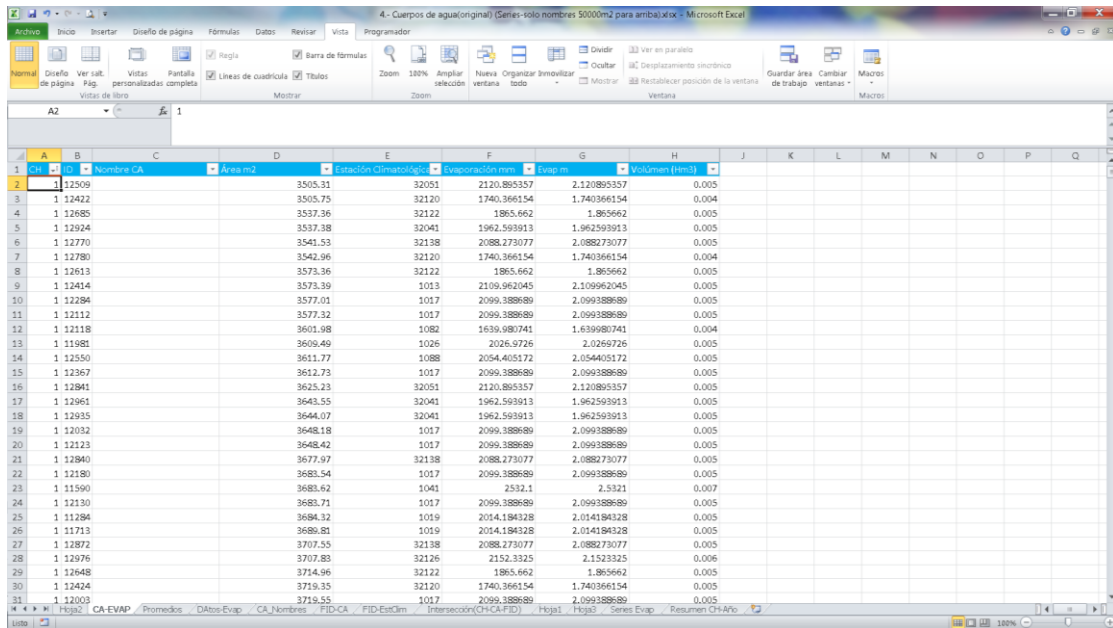
En una tabla se colocó la información anterior y los encabezados “CH”, “ID”, “Nombre CA”, “Área m<sup>2</sup>”, “Estación Climatológica mediante FID”, “Evaporación mm”, “Evaporación m”, “Volumen (hm<sup>3</sup>)” del cuerpo de agua.

La estación asociada a cada cuerpo de agua se obtuvo mediante el identificador FID mencionado anteriormente, el dato de evaporación (mm) se obtuvo buscando la estación en la pestaña de promedios.

La evaporación del cuerpo de agua se calculó con la fórmula:

$$Ev_{Cp} = A Ev Ce \quad (2)$$

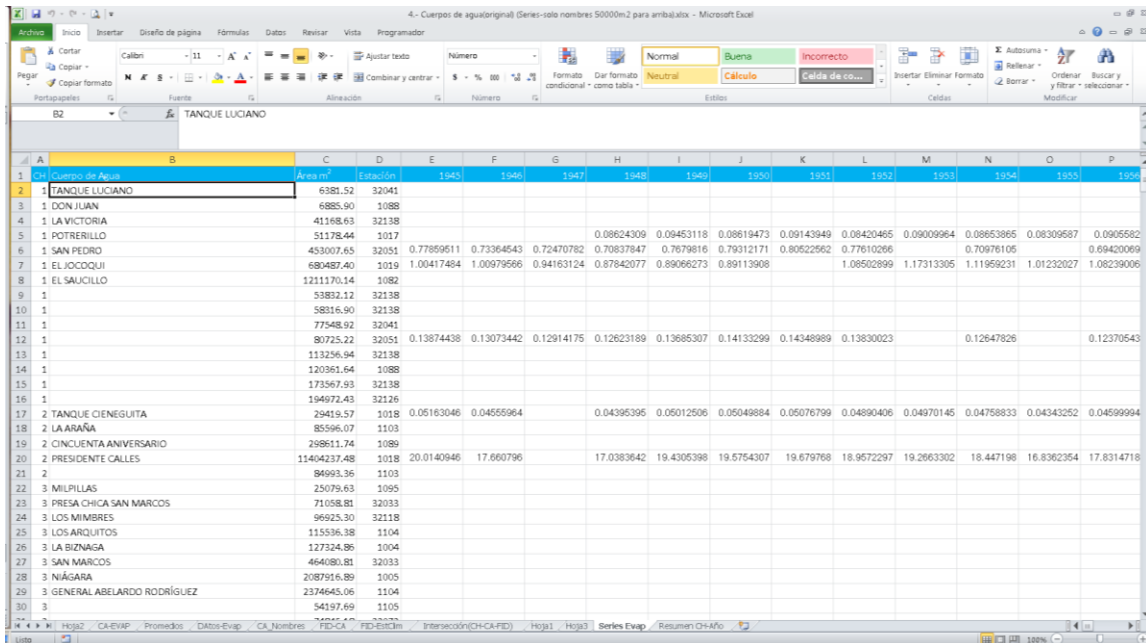
donde:  $Ev_{Cp}$  es la evaporación del cuerpo de agua  
 $A$  es el área del cuerpo de agua en m<sup>2</sup>  
 $Ev$  es la evaporación medida en la estación climatológica en mm  
 $Ce$  es el coeficiente de evaporación que para este caso se consideró de 0.7



CA	ID	Nombre CA	Área m <sup>2</sup>	Estación Climatológica	Evaporación mm	Evap m	Volumen (Hm <sup>3</sup> )
1	12509		3505.31	32051	2120.895357	2.120895357	0.005
1	12422		3505.75	32120	1740.366154	1.740366154	0.004
1	12685		3537.36	32122	1.865662	1.865662	0.005
1	12924		3537.38	32041	1962.593913	1.962593913	0.005
1	12770		3541.53	32138	2088.273077	2.088273077	0.005
1	12780		3542.96	32120	1740.366154	1.740366154	0.004
1	12613		3573.36	32122	1.865662	1.865662	0.005
1	12414		3573.39	1013	2109.962045	2.109962045	0.005
1	12284		3577.01	1017	2099.389889	2.099389889	0.005
1	12112		3577.32	1017	2099.389889	2.099389889	0.005
1	12118		3601.98	1082	1639.980741	1.639980741	0.004
1	11981		3609.49	1026	2026.9726	2.0269726	0.005
1	12550		3611.77	1088	2054.405172	2.054405172	0.005
1	12367		3612.73	1017	2099.389889	2.099389889	0.005
1	12841		3625.23	32051	2120.895357	2.120895357	0.005
1	12961		3643.55	32041	1962.593913	1.962593913	0.005
1	12935		3644.07	32041	1962.593913	1.962593913	0.005
1	12032		3648.18	1017	2099.389889	2.099389889	0.005
1	12123		3648.42	1017	2099.389889	2.099389889	0.005
1	12840		3677.97	32138	2088.273077	2.088273077	0.005
1	12180		3683.54	1017	2099.389889	2.099389889	0.005
1	11590		3683.62	1041	2532.1	2.5321	0.007
1	12130		3683.71	1017	2099.389889	2.099389889	0.005
1	11284		3684.32	1019	2014.194328	2.014194328	0.005
1	11713		3689.81	1019	2014.194328	2.014194328	0.005
1	12872		3707.55	32138	2088.273077	2.088273077	0.005
1	12976		3707.83	32136	2152.3325	2.1523325	0.006
1	12648		3714.96	32122	1.865662	1.865662	0.005
1	12424		3719.35	32120	1740.366154	1.740366154	0.005
1	12003		3719.55	1017	2099.389889	2.099389889	0.005

Figura 5.25. Volumen de evaporación por cuerpo de agua.

El volumen de evaporación se presenta por cuenca hidrológica en la siguiente figura.



CA	Cuenpa de Agua	Área m <sup>2</sup>	Estación	1945	1946	1947	1948	1949	1951	1952	1953	1954	1955	1956	
1	TANQUE LUCIANO	6381.52	32041												
1	DON JUAN	6885.90	1088												
1	LA VICTORIA	41168.63	32138												
1	POTRERILLO	51178.44	1017												
1	SAN PEDRO	453007.65	32051	0.77859611	0.73364543	0.72470782	0.70837847	0.7679816	0.79312171	0.80622562	0.77610266	0.88653865	0.08309587	0.0905582	
1	EL JOCOQUI	680487.40	1019	1.00417484	1.00979566	0.94163124	0.87420277	0.89066273	0.89113908						
1	EL SAUCILLO	1211170.14	1082												
1		53832.12	32138												
1		58016.90	32138												
1		77548.92	32041												
1		80725.22	32051	0.13874438	0.13073442	0.12914175	0.12623189	0.13685307	0.14133299	0.14348989	0.13830023	0.12647826		0.12370543	
1		113256.94	32138												
1		120361.64	1088												
1		173567.93	32138												
1		194972.43	32126												
2	TANQUE CIENEGUITA	29419.57	1018	0.05163046	0.04559964		0.04395395	0.05012506	0.05049884	0.05076799	0.04890406	0.04970145	0.04758833	0.04343252	0.04599994
2	LA ARAÑA	85596.07	1103												
2	CINCUENTA ANIVERSARIO	298611.74	1089												
2	PRESIDENTE CALLES	11404237.48	1018	20.0140946	17.660796		17.0383642	19.4305398	19.5754307	19.679768	18.9572297	19.2663302	18.447198	16.8362354	17.8314718
2		94993.36	1103												
2	MILPILLAS	25079.63	1095												
2	PRESA CHICA SAN MARCOS	71058.81	32033												
2	LOS MIMBRES	96925.30	32118												
2	LOS ARQUITOS	115536.38	1104												
2	LA BIZNAGA	127324.86	1004												
2	SAN MARCOS	464080.81	32033												
2	NIÁGARA	2087916.89	1005												
2	GENERAL ABELARDO RODRÍGUEZ	2374645.06	1104												
2		54197.69	1105												

Figura 5.26. Volumen de evaporación por cuerpo de agua de 1945 a 2013.

El volumen de evaporación por cuenca y por año, se obtuvo con la suma de todos los volúmenes de los cuerpos de agua de cada cuenca y en los años faltantes se aplicaron los promedios con el propósito de completar la serie histórica (Anexo 5.3). La figura mostrada a continuación presenta la imagen de los volúmenes por cuenca y por año que aparece en el anexo antes mencionado.

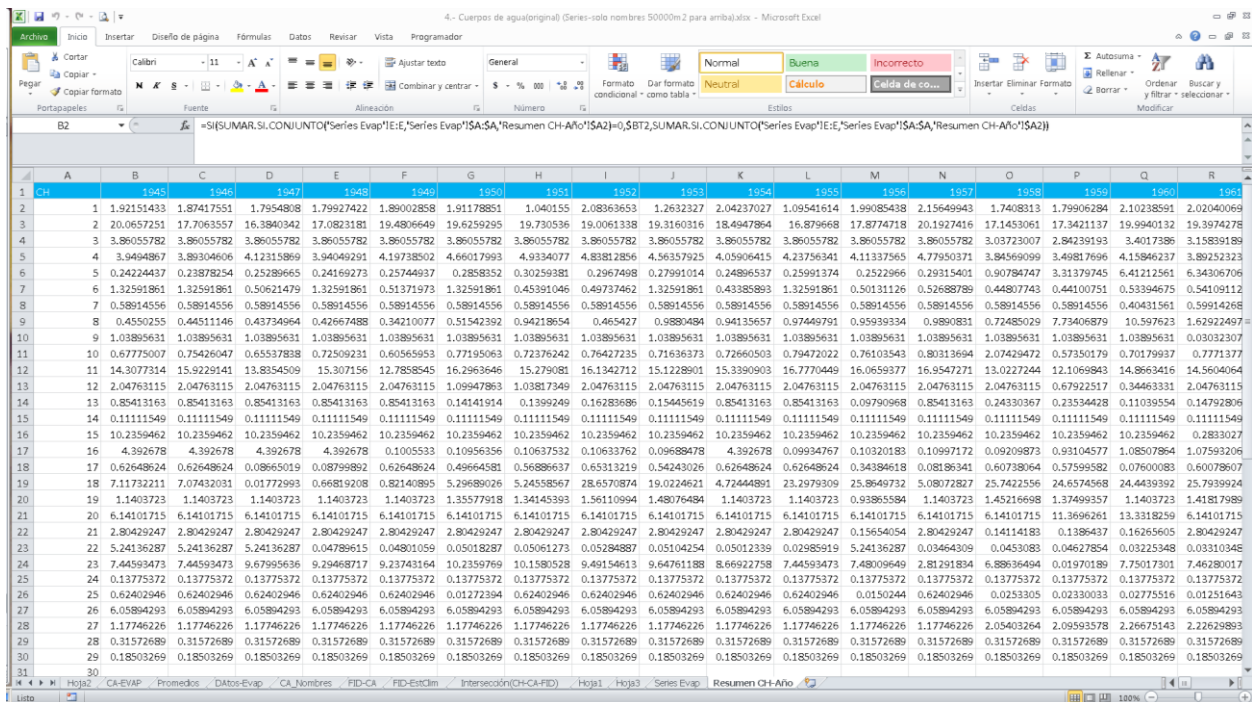


Figura 5.27. Volumen de evaporación por cuenca y por año

### Evaporación de presas

Como se observó en el apartado anterior dentro del periodo de operación de las presas existía carencia de información, por lo que se complementó la misma de tres formas:

- En primera instancia se utilizaron los datos proporcionados por la CEA de Jalisco y los del estudio de disponibilidad (IMTA, 2009).
- Agotado el recurso anterior, se calculó la evaporación igual que en los cuencos de agua, utilizando el valor de la estación climatológica más cercana y aplicándole la fórmula (2).
- Para el resto de los datos faltantes se aplicaron los promedios.

En el Anexo 5.3 está la información de evaporación de presas.

### 5.1.1.3 Temperatura

#### a. Recopilación de la información histórica

Para la obtención de la información histórica correspondiente a la temperatura mínima, máxima y ambiente, se utilizó la base de datos CLICOM 2013 (Anexo 5.1), en la que se identificaron 550 estaciones ubicadas en la zona y en un buffer de 30km.

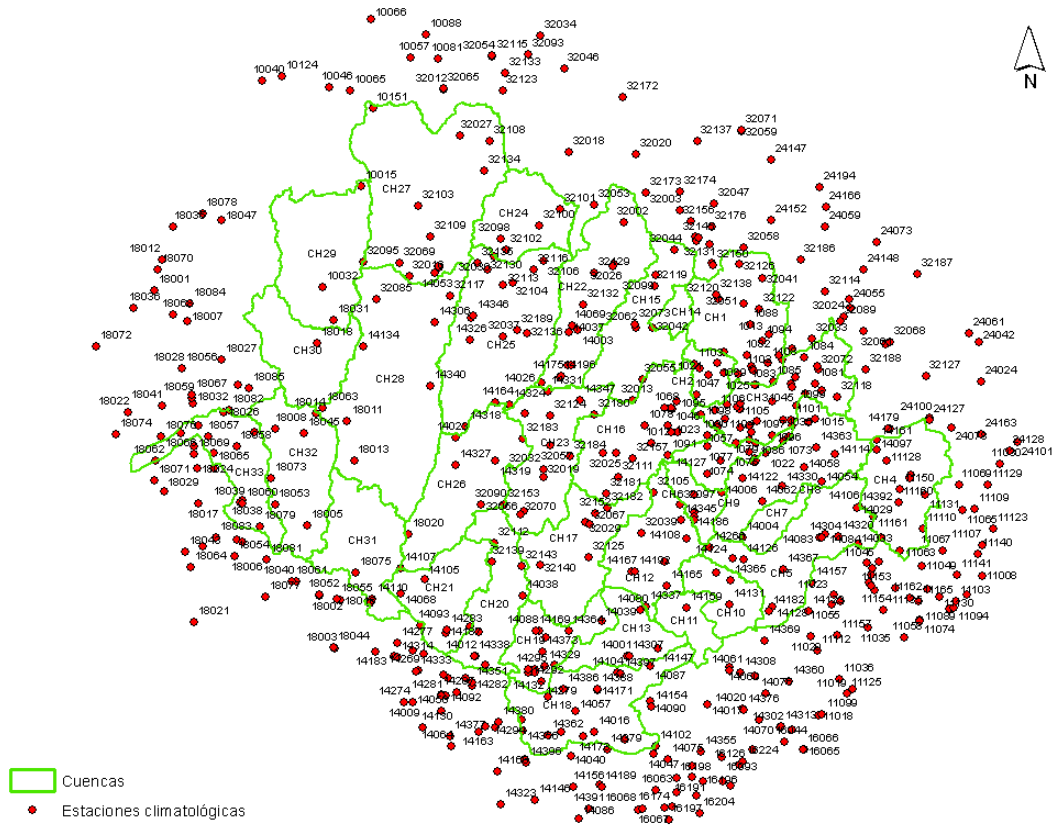


Figura 5.28. Estaciones climatológicas, CLICOM 2013

Screenshot of a Microsoft Excel spreadsheet showing the CLICOM data structure. The spreadsheet has columns for DATASET-ID, Station-ID, ELEMENT-CD, YEAR-MON, and various VALUE and FLAG columns.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	DATASET-ID	Station-ID	ELEMENT-CD	YEAR-MON	VALUE-1	FLAG1-1	VALUE-2	FLAG1-2	VALUE-3	FLAG1-3	VALUE-4	FLAG1-4	VALUE-5	FLAG1-5	VALUE-6	FLAG1-6	VALUE-7	FLAG1-7
2	1	1001	2	1961-01	22.5		22.4		23.8		23		23		22.4		22	
3	1	1001	3	1961-01	8.5		5.4		6		6		7		5.9		6.4	
10	1	1001	2	1961-02	23.4		20.4		20		20.2		20.3		19.4		22	
11	1	1001	3	1961-02	7		8		5.1		5.1		4		4.4		2.2	
18	1	1001	2	1961-03	26		24		22.2		22		22.9		25.6		29	
19	1	1001	3	1961-03	9.5		10		12		10		10		9		7	
26	1	1001	2	1961-04	23.2		25.4		25		25.8		22.4		26.7		28.4	
27	1	1001	3	1961-04	11.5		7		6.6		8		10.3		5.7		7.6	
34	1	1001	2	1961-05	32		32		31.7		32.8		32.8		34		34	
35	1	1001	3	1961-05	14.4		14.4		14.4		11.7		14.1		12.6		17.1	
42	1	1001	2	1961-06	32		32.2		31.4		28.6		30.6		31.6		30	
43	1	1001	3	1961-06	14.1		16		16.6		14		15.6		15		16	
50	1	1001	2	1961-07	23		25.4		26		25.4		24		23.8		24.5	
51	1	1001	3	1961-07	14.1		14		14.4		15.6		15		13		14	
58	1	1001	2	1961-08	22.7		23.6		26.8		27.7		29		30		25.1	
59	1	1001	3	1961-08	13		14		14.5		12.5		12.1		14		15.4	
66	1	1001	2	1961-09	30.4		31.4		25.8		27		26		28.4		28	
67	1	1001	3	1961-09	15.1		16		15.1		14		12.3		12		12.6	
74	1	1001	2	1961-10	29		27.9		25		24.2		25		25.4		29	
75	1	1001	3	1961-10	13.4		14.2		10.8		10.1		13.5		12.2		13.3	
82	1	1001	2	1961-11	17.9		17.4		18.3		27		26.4		21.4		20	
83	1	1001	3	1961-11	10		11		7.4		9		10.4		11.2		11	
90	1	1001	2	1961-12	24.2		24		23		23		23.7		23		2.3	
91	1	1001	3	1961-12	3.5		4.9		3.9		2.5		3.6		4.3		4.2	
98	1	1001	2	1962-01	22		22		22.9		22.3		23		22		23	
99	1	1001	3	1962-01	3.4		1.4		2.5		7.4		5.4		-1.4		0	
106	1	1001	2	1962-02	12		20		21		23.4		24.6		25.4		25.4	
107	1	1001	3	1962-02	8		8.6		7.8		6.1		7		7		7.7	
114	1	1001	2	1962-03	26		28		28.6		27.4		27.6		28.5		28	
115	1	1001	3	1962-03	8		6.1		8		9.5		8.5		6.4		10	
122	1	1001	2	1962-04	30		29.9		30.1		29		29.3		27.4		25	
123	1	1001	3	1962-04	0.4		-1.1		-1.1		-1.1		-1.1		-1.8		-1.1	

Figura 5.29. Ejemplo de información contenida en el archivo CLICOM

Se procesaron los datos para cambiarlos del formato original al formato de la base de datos ArcHydro, como se muestra en la siguiente figura (Anexos 5.4).

Tabla 5.4. Datos de evaporación diaria en formato ArcHydro

FeatureID	TSTypeID	TSDatetime	TSValue	GroupID	Clave
1001	2	01/01/1945		CLICOM	1001
1001	2	02/01/1945		CLICOM	1001
1001	2	03/01/1945		CLICOM	1001
1001	2	04/01/1945		CLICOM	1001
1001	2	05/01/1945		CLICOM	1001
1001	2	06/01/1945		CLICOM	1001
1001	2	07/01/1945		CLICOM	1001
1001	2	08/01/1945		CLICOM	1001
1001	2	09/01/1945		CLICOM	1001
1001	3	01/01/1945		CLICOM	1001
1001	3	02/01/1945		CLICOM	1001
1001	3	03/01/1945		CLICOM	1001
1001	3	04/01/1945		CLICOM	1001
1001	3	05/01/1945		CLICOM	1001
1001	3	06/01/1945		CLICOM	1001
1001	3	07/01/1945		CLICOM	1001
1001	3	08/01/1945		CLICOM	1001
1001	3	09/01/1945		CLICOM	1001

Adicionalmente se le realizó un análisis de porosidad para conocer la cantidad de datos de evaporación. (Anexos 5.4).

### b. Análisis de la porosidad de la información

Se realizó el análisis de la porosidad de la información para las 550 estaciones climatológicas de la zona, este análisis permitió determinar la cantidad de datos disponibles para el estudio. En la figura siguiente se muestran los años para los cuales existen datos en cada estación. Los detalles del análisis se pueden consultar en el Anexo 5.4.

### c. Procesamiento de la información

Debido a la falta de datos de temperatura fue necesario realizar interpolaciones por día, Para ello se utilizaron diferentes herramientas del software ArcGIS para la obtención de archivos “raster” de temperatura diaria usando el método IDW, que interpola y genera un archivo “raster” a partir de puntos utilizando una técnica de distancia inversa ponderada (IDW), con este método se evita crear crestas o valles cuando los extremos no se han muestreado.

Para esta zona se realizó la interpolación utilizando como mínimo la información de dos estaciones y una distancia máxima de 20 kilómetros.

Para cada día se seleccionaron las estaciones con información registrada.



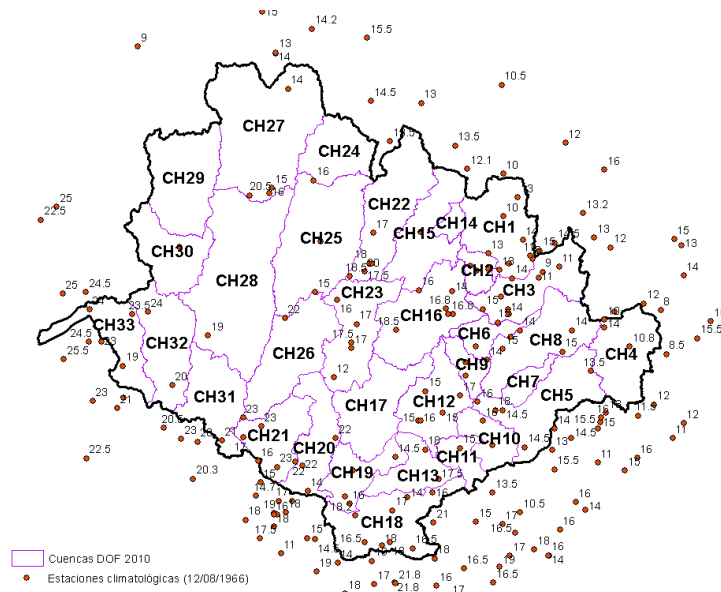


Figura 5.30. Ejemplo de estaciones que cuentan con información del día 12 de agosto de 1966

Utilizando la herramienta IDW de ArcGIS se generó el “raster” correspondiente de temperatura diaria. Finalmente, tomando el promedio de las celdas ubicadas dentro de cada cuenca se obtuvo el valor de la variable correspondiente para cada una de ellas (Anexo 5.4).

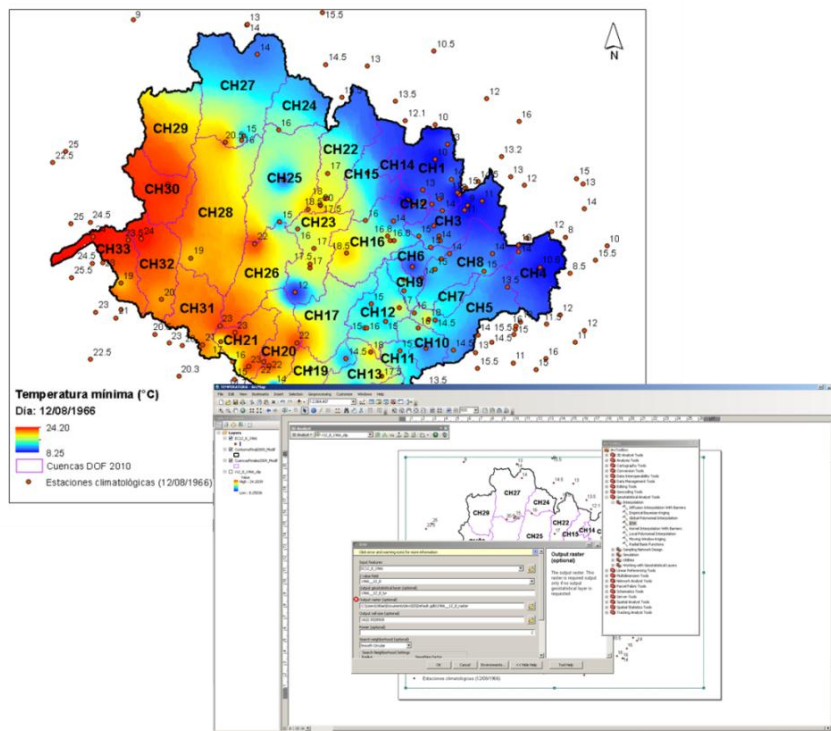


Figura 5.31. Uso de la herramienta IDW para la generación del “raster” de temperatura diaria

El proceso descrito anteriormente se realizó para los 69 años del periodo de estudio (1945-2013).

## 5.1.2 Hidrometría

### 5.1.2.1 Recopilación y análisis de información

Los datos hidrométricos se obtuvieron del BANDAS 2013 del sitio web de Conagua, esta base de datos concentra la información de las estaciones hidrométricas que contienen los gastos y volúmenes aforados de los principales ríos del país. Se tomaron los gastos medios mensuales registrados hasta diciembre del 2011.

La información está organizada por estación y almacenada en tablas dentro de bases de datos de Access (archivos con extensión mdb) (Anexo 5.5).

Sólo en algunas estaciones se logró obtener la información de Conagua para los años 2012 y 2013.

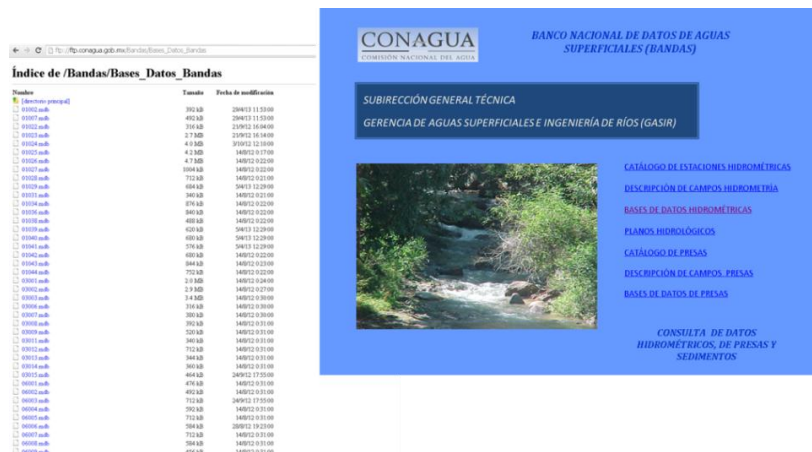


Figura 5.32. Sitio web del sistema BANDAS

Con el uso de la aplicación de ArcGIS se identificaron 105 estaciones hidrométricas ubicadas dentro de la zona de estudio.

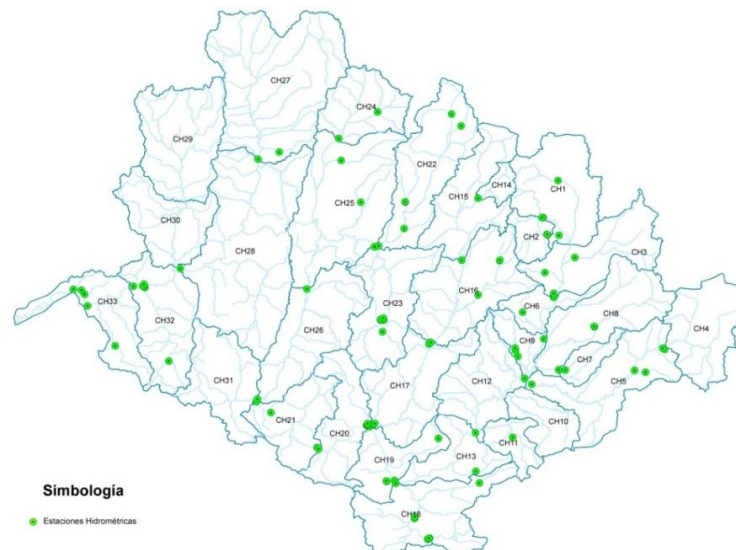
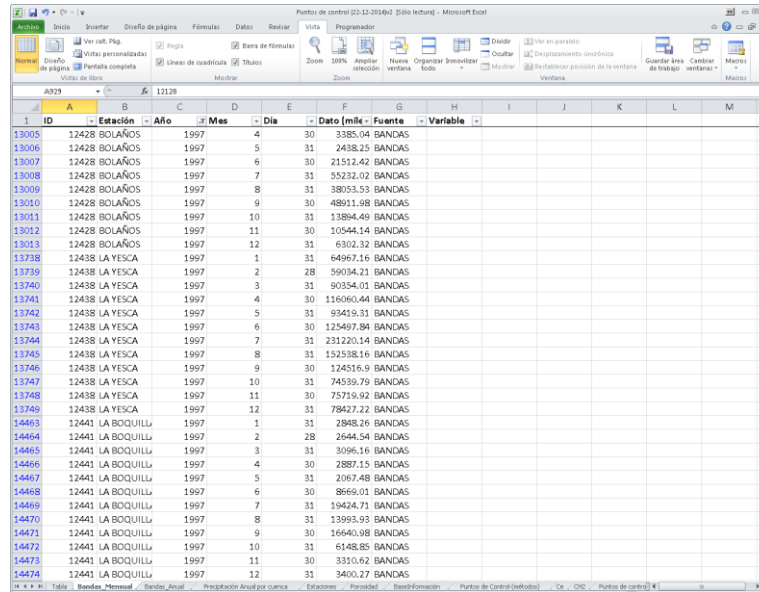


Figura 5.33. Estaciones hidrométricas ubicadas en el área de estudio

Se colocaron los volúmenes de escurrimiento mensual (en miles de metros cúbicos) de 105 estaciones hidrométricas en la tabla DMClaveEstación. Esta información se integró en un archivo de Excel siguiendo la estructura de ArcHydro (Anexo 5.6).



ID	Estación	Año	Mes	Día	Dato (m³)	Fuente	Variable
13003	12428 BOLAÑOS	1997	4	30	3385.04	BANDAS	
13006	12428 BOLAÑOS	1997	5	31	2438.25	BANDAS	
13007	12428 BOLAÑOS	1997	6	30	21512.42	BANDAS	
13008	12428 BOLAÑOS	1997	7	31	35232.02	BANDAS	
13009	12428 BOLAÑOS	1997	8	31	38053.53	BANDAS	
13010	12428 BOLAÑOS	1997	9	30	48911.08	BANDAS	
13011	12428 BOLAÑOS	1997	10	31	13894.49	BANDAS	
13012	12428 BOLAÑOS	1997	11	30	10544.14	BANDAS	
13013	12428 BOLAÑOS	1997	12	31	6302.32	BANDAS	
13738	12438 LA YESCA	1997	1	31	64967.16	BANDAS	
13739	12438 LA YESCA	1997	2	28	59034.21	BANDAS	
13740	12438 LA YESCA	1997	3	31	90354.01	BANDAS	
13741	12438 LA YESCA	1997	4	30	116060.44	BANDAS	
13742	12438 LA YESCA	1997	5	31	93419.31	BANDAS	
13743	12438 LA YESCA	1997	6	30	125497.84	BANDAS	
13744	12438 LA YESCA	1997	7	31	231220.14	BANDAS	
13745	12438 LA YESCA	1997	8	31	152538.16	BANDAS	
13746	12438 LA YESCA	1997	9	30	124516.9	BANDAS	
13747	12438 LA YESCA	1997	10	31	74539.79	BANDAS	
13748	12438 LA YESCA	1997	11	30	75719.02	BANDAS	
13749	12438 LA YESCA	1997	12	31	78427.22	BANDAS	
14463	12441 LA BOQUILLU	1997	1	31	2848.26	BANDAS	
14464	12441 LA BOQUILLU	1997	2	28	2644.54	BANDAS	
14465	12441 LA BOQUILLU	1997	3	31	3096.16	BANDAS	
14466	12441 LA BOQUILLU	1997	4	30	2387.15	BANDAS	
14467	12441 LA BOQUILLU	1997	5	31	2067.48	BANDAS	
14468	12441 LA BOQUILLU	1997	6	30	8669.01	BANDAS	
14469	12441 LA BOQUILLU	1997	7	31	19424.71	BANDAS	
14470	12441 LA BOQUILLU	1997	8	31	13993.93	BANDAS	
14471	12441 LA BOQUILLU	1997	9	30	16640.98	BANDAS	
14472	12441 LA BOQUILLU	1997	10	31	6148.85	BANDAS	
14473	12441 LA BOQUILLU	1997	11	30	3310.62	BANDAS	
14474	12441 LA BOQUILLU	1997	12	31	9400.27	BANDAS	

Figura 5.34. Datos de hidrometría

Con ayuda de los boletines hidrológicos, el GoogleEarth y el ArcGIS se identificaron las estaciones que se utilizaron como controles en la salida de las cuencas.

En algunos casos la ubicación de las estaciones hidrométricas estaba mal georeferenciada y para corregirla se utilizaron los boletines hidrológicos.



Figura 5.35. Ejemplo de la ubicación de una estación hidrométrica de acuerdo al boletín hidrológico

### 5.1.2.2 Identificación del periodo de análisis y validación de la información

Como se ha mencionado en este estudio, el periodo de análisis para las 105 estaciones hidrométricas es de 69 años (1945-2013), sin embargo, de las 105 estaciones, sólo 19 cuenta con más del 95% de información y la mayoría de ellas se ubican lejos de la salida de la cuenca.

Tomando en cuenta lo anterior y como base en el estudio de disponibilidad (IMTA, 2009), se identificaron las estaciones hidrométricas que se ubican a la salida de las cuencas y las estaciones auxiliares que servirán para complementar datos faltantes.

Adicionalmente en las cuencas 2, 3, 4, 14, 15 y 16 se utilizaron los datos de la estación para complementar los registros de la presa. Las estaciones hidrométricas de cada cuenca se muestran en la tabla y figura siguientes:

Tabla 5.5. Cuencas hidrológicas con estación hidrométrica a la salida

CH	Cuenca	EH	Nombre
2	Presa Calles	12378	Presa Calles
3	Presa El Niágara	12545 y 12656	El Niágara III y El Niágara
4	Presa El Cuarenta	12422 y 12476	Cuarenta II y KM. 0+340
5	Río de los Lagos	12370	San Gaspar
6	Río Ajojucar	12358 y 12425	Ajojucar y Ajojucar
12	Río Verde 1	12504	La Cuña
19	Santiago 2	12472 y 12400	Arcediano y las Juntas
18	Santiago 1	12128	Corona
14	Río Palomas	12615	Palomas (salidas presa Palomas)
15	Presa El Chique	12544	Agua Blanca
16	Río Juipila 1	12405	El Tecomate
17	Río Juchipila 2	12441	La Boquilla
19	Río Santiago 2	12532	San Cristóbal II
20	Presa Santa Rosa	12521	Santa Rosa II
21	Río Santiago 3	12438	La Yesca
22	Río Tepetongo	12488	La Gloria
23	Río Tlaltenango	12485	El Zapote
24	Arroyo Lobatos	12487	La Florida
25	Río Bolaños 1	12428	Bolaños
26	Río Bolaños 2	12514	El Caimán
27	Río San Juan	12484	El Platanito
28	Río Atengo	12733	Chapalagana

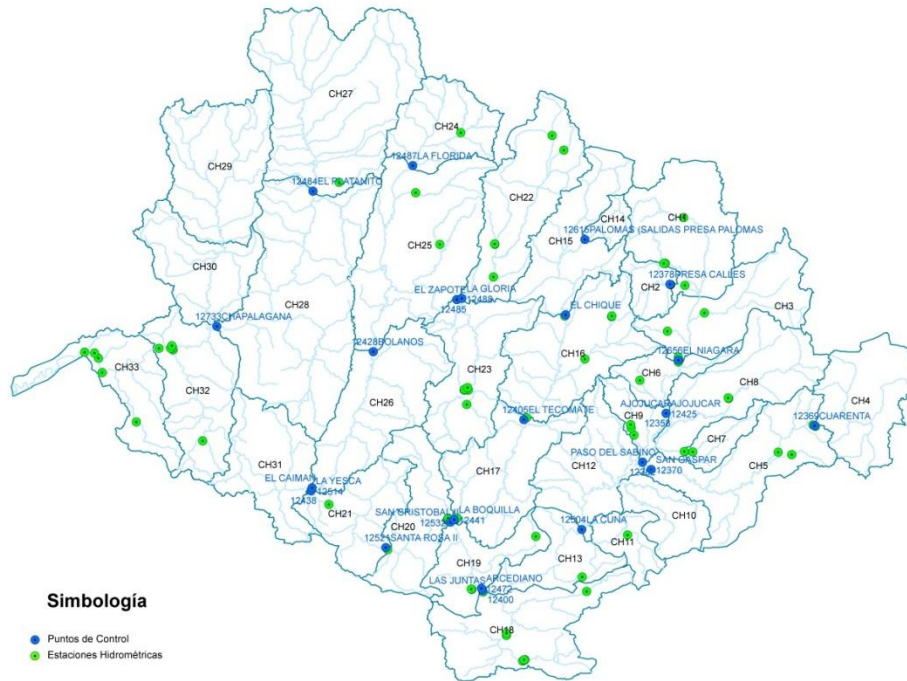


Figura 5.36 Ubicación de estaciones hidrométricas en la zona de estudio y puntos de control

Los criterios de selección de estaciones hidrométricas utilizadas como puntos de control fueron los siguientes:

- ✓ Ubicación a la salida de la cuenca o cerca de ella
- ✓ Registros de información de años completos (más del 80% de información)
- ✓ Estaciones auxiliares localizadas cerca de los puntos de control.

A continuación se describen las estaciones utilizadas.

- **12378 Presa Calles.** Está situada sobre el río Santiago a 350 m aguas abajo de la cortina de la presa Calles, a 1 km al SSW de San José de Gracia, municipio del mismo nombre, estado de Aguascalientes, su objetivo es registrar las extracciones y filtraciones de la presa Calles. Esta estación pertenece al distrito de riego de Pabellón donde esporádicamente se hacen aforos sobre el puente o en una sección de vadeo. La estación tiene un banco de nivel representado por una varilla empotrada en el parámetro de la cortina, a 8 m de la margen izquierda de la presa, a una elevación de 2020.00 msnm.
- **12545 El Niágara III.** Se localiza sobre el río Aguascalientes y a 1.5 km aguas abajo de la cortina de la presa El Niágara, a unos 15 km al suroeste de la ciudad de Aguascalientes, en el estado y municipio del mismo nombre. Su objetivo es medir las excedencias de la presa, que comprenden extracciones y filtraciones. Esta estación es continuación de las suspendidas Niágara I y II, que quedaron dentro del vaso de almacenamiento de la presa El Niágara. El banco de nivel de la estación está representado por una grapa en un tronco de Sabino en la margen izquierda a una elevación de 1807.461 msnm.

- **12656 El Niágara.** Está ubicada en el km 0 + 255 del canal principal de la presa El Niágara, situada a 13 km al suroeste de la ciudad de Aguascalientes, municipio y estado del mismo nombre. Su objetivo es medir las extracciones de la obra de toma al canal para riego de la zona. Actualmente la estación está suspendida.
- **12422 Cuarenta II.** Se localiza sobre el cauce del río Lagos a 1 600 m aguas abajo de la cortina de la presa Cuarenta, en el puente de la carretera Guadalajara-San Luis Potosí (Km 615+500), a 23.2 km al noreste de Lagos de Moreno y a unos 500 m al sur del poblado de Cuarenta. Su objetivo es registrar las filtraciones y derrames de la presa El Cuarenta.
- **12476 KM. 0+340.** Está situada a 23.7 km al noroeste de Lagos de Moreno, municipio del mismo nombre, dentro del estado de Jalisco. Se localiza en el km 0+340 del canal principal que sale de la presa El Cuarenta por la margen izquierda del río de Lagos y a unos 1800 m al sureste de la población Cuarenta. El objetivo es medir los volúmenes que se derivan del canal para riego del distrito de riego No 13.
- **12370 San Gaspar.** Está ubicada en el río de Lagos, a 1 km al sursureste de San Gaspar de los Reyes, en el municipio de Jalostotitlán, estado de Jalisco, a unos 13 km al nornoreste de Jalostotitlán y a 18 km al noroeste de San Juan de los Lagos. El objetivo de su instalación es determinar el régimen del río de Lagos en el tramo antes de su confluencia con el río Verde unos 10 km aguas abajo de la estación. Se construyó otra caseta para alojar el limnógrafo atrás de la original, por encontrarse ésta muy abajo y cercana a la corriente y en ocasiones insuficientes para funcionar satisfactoriamente.
- **12358 Ajojúcar.** Está ubicada sobre el río Aguascalientes, a 1.5 km aguas abajo de la presa derivadora Ajojúcar, en el municipio de Teocaltiche, estado de Jalisco, estando a unos 2 km al nornoreste de Belén del Refugio, a unos 22 km al sureste de Villa Hidalgo, Jal. y a unos 41 km al SSW de la ciudad de Aguascalientes. Su objetivo es registrar el régimen del río (escurrimientos no derivados) para el proyecto de sobreelevación de la presa Ajojúcar, localizada aguas arriba.
- **12425 Ajojúcar.** Está ubicada en el km 1 + 400 del canal principal; 2.4 km al N-NE de Belén del Refugio, a 22 km al sureste de Villa Hidalgo, Jal., y a 41 km al sursuroeste de la ciudad de Aguascalientes, dentro del municipio de Teocaltiche, estado de Jalisco. El objetivo de su instalación es medir los volúmenes derivados al canal para riego de la unidad de Belén del Refugio del Distrito de Riego No. 13.
- **12504 La Cuña.** Está situada sobre el puente de la carretera de Tepatitlán de Morelos-Yahualica, que cruza el río Verde, a 21.5 km al SE aproximadamente de la última población, dentro del municipio de Tepatitlán, Jal. Su objetivo es registrar el régimen del río Verde para aprovechamientos futuros.
- **12128 Corona.** Está ubicada sobre el río Santiago, a 600 m aguas abajo de cortina de la presa derivadora Corona y a 4 km al ENE del poblado de Atequiza, en el límite de los municipios de Poncitlán y Juanacatlan, del estado de Jalisco. Se instaló con el propósito de conocer el régimen de la corriente. La suma de los volúmenes que pasan en esta estación más los que pasan por las estaciones de Zapotlanejo y Atequiza, instaladas sobre los canales de igual nombre, equivalen, prácticamente, a las extracciones del lago de Chapala.

- **12615 Palomas (salidas presa Palomas).** Se localiza sobre el cauce del río Palomas, a 1.4 km aguas abajo de la presa Palomas, en las orillas de la población San Tadeo de las Flores, a 7.9 km, al Este de Villanueva municipio del mismo nombre, estado de Zacatecas. El objetivo es determinar las excedencias de la presa Palomas, situada unos 10 km aguas arriba. Existe un banco de nivel, localizado en una roca pintada; a 3 m aguas abajo de la sección, con una cota de 1836.00 m determinada con altímetro. El día 25 de junio de 1970 se cambió la escala y se determinó la elevación del cero de la escala (1875.729 m) corriéndose la nivelación de la cortina de la presa Palomas. Quedando anulada la elevación del cero de la escala anterior a ésta que fue determinada con altímetro.
- **12544 Agua Blanca.** Está situada a 24 km al noroeste de Calvillo, a 13.5 km al norte de la población de Tabasco municipio del mismo nombre, estado de Zacatecas y a 800 m aguas abajo de la presa El Chique. El objetivo de su instalación es registrar los derrames y extracciones utilizadas en las turbinas de la hidroeléctrica que se encuentra al pie del vertedor de la presa El Chique. La estación tiene un banco de nivel representado por una grapa en la raíz de un árbol, en la margen izquierda a la altura de la estación con una elevación de 1523.91 msnm.
- **12405 El Tecomate.** Se localiza sobre el río Cañón de Juchipila, a unos 4 km aguas arriba de la confluencia de éste con el arroyo San Nicolás donde está situada la presa Achoquen, a unos 9.5 km al NNE de Apozol y a 12 km al SW de Jalpa municipio del mismo nombre estado de Zacatecas. El objetivo de su instalación es determinar el régimen del río Juchipila en este tramo.
- **12441 La Boquilla.** Está situada a 43 km al norte de Guadalajara, sobre la margen derecha del río Juchipila, a unos 15 m aproximadamente aguas abajo de la estación hidrométrica La Boquilla, a 350 m aguas abajo de la presa derivadora y a 4.5 km al oriente de San Cristóbal de la Barranca, municipio del mismo nombre, estado de Jalisco. El objetivo de su instalación es medir los volúmenes derivados al Canal para riego por la presa derivadora que se encuentra a unos 350 m de la estación y a 500 m aproximadamente de la confluencia de los ríos Juchipila y Mezquital.
- **12532 San Cristóbal II.** Se localiza sobre el cauce del río Santiago a 900 m aguas arriba de la confluencia de éste con el río Juchipila, a unos 42 km al norte de la Ciudad de Guadalajara y a 1 km aproximadamente al sureste de San Cristóbal de la Barranca, municipio del mismo nombre, estado de Jalisco. El objetivo es conocer los volúmenes escurridos en el río Santiago antes de la confluencia de los ríos Juchipila y Cuixtla.
- **12521 Santa Rosa II.** Se localiza sobre el cauce del río Santiago en el municipio de Amatlán, estado de Jalisco, a unos 10 Km al norte de esta población y a unos 12 Km al noroeste de la población de Tequila. La estación está situada a un kilómetro aguas abajo de la cortina de la presa Santa Rosa, aproximadamente. El objetivo es medir los volúmenes que se extraen de la presa Santa Rosa. Esta estación sustituye a la de Santa Rosa I, que estuvo localizada 1 Km aguas arriba, en el sitio de la cortina de la presa Santa Rosa.
- **12438 La Yesca.** Se localiza en el municipio de Hostotipaquillo, estado de Jalisco, en el cauce del río Santiago, a unos 500 m aguas arriba de la confluencia de éste con el río Bolaños. La población más cercana es Hostotipaquillo, distante 15 km al sur de la estación. El objetivo de su instalación es conocer en este punto el régimen del río Santiago para el proyecto de la presa La Yesca y aprovechamientos hidroeléctricos.

- **12488 La Gloria.** Está situada en el río Colotlán a 300 m aguas arriba de la confluencia con el río Tlaltenango. La población más cercana es Colotlán, a 20 km al oriente de la estación, municipio del mismo nombre, estado de Jalisco. El objetivo es determinar el régimen del río Colotlán para su aprovechamiento. La estación tiene un banco de nivel representado por un clavo empotrado al concreto de anclaje del cable vía de la estructura para aforos en la margen izquierda; se encuentra a una elevación de 1471.346 msnm. En el año de 1957 hubo cambio de escala.
- **12485 El Zapote.** Está localizada en el estado de Jalisco a 100 m aguas arriba de la confluencia de los ríos Colotlán y Tlaltenango, sobre éste último, municipio de Colotlán, siendo ésta la población más cercana a unos 20 km al oriente de la estación. El objetivo es registrar el régimen de la corriente antes de la confluencia con el río Colotlán. Existe un banco de nivel representado por un clavo empotrado en el basamento de concreto del cable guía de la sección de aforo, su elevación es de 1497.318 msnm.
- **12487 La Florida.** Se localiza sobre el río Valparaíso, en las orillas del poblado La Florida, aproximadamente a 10 km al sur de Valparaíso, municipio del mismo nombre, estado de Zacatecas. El objetivo es determinar el régimen del río para los estudios del proyecto de obra de captación en la boquilla San Mateo, localizada aproximadamente 1.5 km aguas abajo. La estación tiene un banco de nivel que se localiza en la parte superior de la escala en su tramo vertical, pintado sobre el cemento y se encuentra a una elevación de 1855.00 msnm.
- **12428 Bolaños.** Está situada sobre el cauce del río Bolaños a 7 km aguas arriba de la confluencia de éste con el río Carboneras, a unos 27 km al suroeste de Villa Guerrero, en las afueras de la población Bolaños, municipio del mismo nombre del estado de Jalisco. El objetivo es conocer el régimen del río Bolaños en ese sitio para futuros aprovechamientos.
- **12514 El Caimán.** Se encuentra situada en los límites de los estados de Jalisco y Nayarit, a 1.5 km de la confluencia del río Bolaños con el río Santiago. La población más cercana es Hostotipaquillo, Jal., que se encuentra 15 km al sur de la estación; su ubicación corresponde al municipio de la Yesca dentro del estado de Nayarit. El objetivo es determinar el régimen de la corriente, antes de la confluencia con el río Santiago.
- **12484 El Platanito.** Está situada sobre el río San Juan Capistrano o Atengo, a 8.2 km aguas abajo de la confluencia de los ríos Atengo y Huejuquilla; a 5 km aguas arriba de la confluencia de los ríos Atengo y El Zapote y a 18.5 km al SW de Huejuquilla en el municipio de Valparaíso estado de Zacatecas. El objetivo es estudiar el régimen del río San Juan para aprovechamiento hidroeléctrico en la boquilla EL Platanito. La estación tiene un banco de nivel representado por un clavo empotrado en el anclaje de la margen izquierda con una elevación de 894.931m determinada con el altímetro. Los registros gráficos de los niveles en el período de enero de 1959 a julio de 1968 no son totalmente satisfactorios.
- **12733 Chapalagana.** La estación hidrométrica Chapalagana se localiza sobre el río Chapalagana a unos 2.2 km aguas arriba de su confluencia con el río Jesús María; a 2.7 km en línea recta al norte del poblado de Huaynamota así como a 62 km al noreste de la ciudad de Tepic, Nay., dentro del municipio del Nayar en el estado de Nayarit. Se instaló con la finalidad de determinar los escurrimientos del río Chapalagana y prevenir las crecientes que se presentan en el río Santiago.



### 5.1.2.3 Análisis de la porosidad de la información

Se analizaron 105 estaciones hidrométricas para conocer el periodo de registros de cada una de las estaciones. Esto facilitó la selección de las estaciones que se tomaron como puntos de control y las que utilizaron para complementar datos faltantes, el detalle del análisis puede visualizarse en el Anexo 5.6.

En la siguiente tabla se muestran los años con información hidrométrica.

Tabla 5.6. Estaciones hidrométricas

Clave EH	Estación	Inicio de registros	Fin de registros	Años con información	Años sin información	% con información con respecto al periodo 1945-2013
12378	Presa Calles	1942	2011	48	21	70%
12370	San Gaspar	1941	2010	66	3	96%
12422	Cuarenta II	1965	2011	29	40	42%
12476	Km. 0 +340	1951	2009	57	12	83%
12358	Ajojucar	1939	2011	63	6	91%
12425	Ajojucar	1943	2011	64	5	93%
12504	La Cuña	1947	2011	60	9	87%
12472	Arcediano	1951	2007	53	16	77%
12400	Las juntas	1951	1999	39	30	57%
12128	Corona	1926	2011	63	6	91%
12288	Zapotlanejo	1933	2011	59	8	88%
12730, 12749	Atequiza I y II	1933	2006	2	51	74%
12544	Agua Blanca	1961	2011	48	21	70%
12615	Palomas (Salidas Presa Palomas)	1966	2011	43	26	62%
12405	El Tecomate	1948	1997	49	20	71%
12441	La Boquilla	1948	2011	59	10	86%
12532	San Cristóbal II	1960	2011	50	19	72%
12521	Santa Rosa II	1958	2011	53	16	77%
12488	La Gloria	1954	2011	54	15	78%
12485	El Zapote	1954	2010	50	19	72%
12487	La Florida	1954	2006	52	17	75%
12428	Bolaños	1947	2011	64	5	93%
12484	El Platanito	1954	2011	51	18	74%
12733	Chapalagana	1974	2009	31	38	45%
12438	La Yesca	1948	2011	61	8	88%
12514	El Caimán	1948	2009	58	11	84%

Fuente: BANDAS 2013

### 5.1.2.4 Completado de datos

Debido a la importancia de utilizar el mayor número posible de datos medidos para el cálculo de la disponibilidad de agua superficial. El completado de datos se hizo bajo los siguientes criterios:

1) Utilizando información hidrométrica de estaciones aledañas. Ejemplo:

En la cuenca hidrológica 2 “Presa Calles”, se localiza la presa del mismo nombre y las estaciones hidrométricas 12378 Presa Calles, 12271 Palmitos y 12218 El Águila a la salida de la cuenca. Para este ejemplo se usó la presa como punto de control, sin embargo el periodo de registros reportado está incompleto por lo que fue necesario tomar los datos de la estación 12378 Presa Calles. Las otras dos estaciones se descartaron debido a que sus registros eran de años anteriores a 1945.

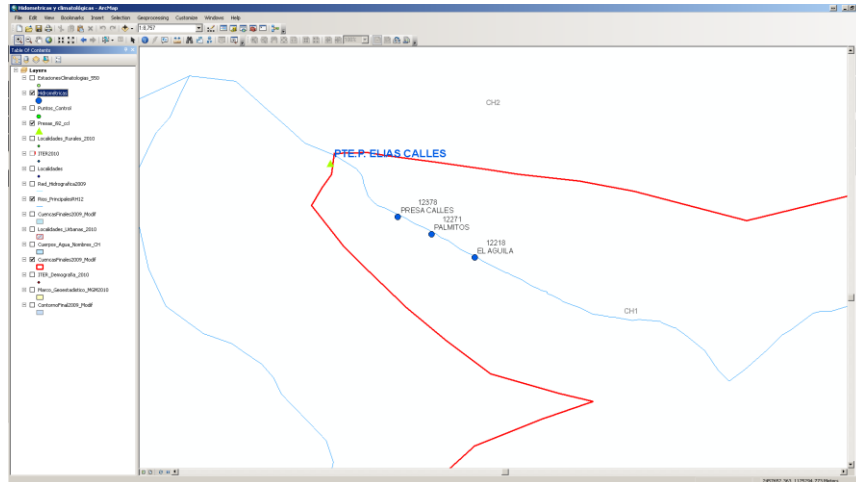


Figura 5.37. Ejemplo de Estaciones Hidrométricas auxiliares para completar datos

2) Aplicando la ecuación de continuidad.

En una cuenca hidrológica, son considerados como puntos de control, los sitios en donde la red hidrográfica puede aforarse y dar paso al cálculo de escurrimiento anual, como los vasos de almacenamiento (se afora el caudal de salida), esta información se denomina hidrometría, y con ella se establecen las salidas o las entradas a cada cuenca de estudio dependiendo de la ubicación de la estación hidrométrica.

Al definir la extensión de las cuencas no siempre se tiene un punto de control o de aforo en los extremos de las mismas, por tal motivo se tienen que estimar los escurrimientos de entrada o de salida, tal como si fueran estaciones de aforo, como ya se describió anteriormente, esto se hace aplicando la ecuación de continuidad:

$$Ab = (Cp + Ar + R + Im) - (Ev + Ex + U) - DV \quad (3)$$

C<sub>p</sub>.- aportación por cuenca propia

A<sub>r</sub>.- aportación por cuenca tributaria o escurrimiento desde aguas arriba de la cuenca

R.- retornos al sistema en función de diferentes usos

Im.-Importación desde otras cuencas adyacentes que no necesariamente escurre por gravedad.

E<sub>v</sub>.- evaporación de los cuerpos de agua (despreciable cuando la cuenca no tiene cuerpos de agua).

Ab.- volumen de salida hacia aguas abajo

U.- este volumen de salida es el que toman los diferentes usuarios para el consumo correspondiente.

Ex.- exportación artificial del recurso hacia otras cuencas adyacentes.

En la siguiente tabla se muestran los datos de los volúmenes de escurrimiento anual de la cuenca 2 Presa Calles.

Tabla 5.7. Volúmenes de escurrimiento anual de la cuenca 2 Presa Calles.

Año	Volumen (hm <sup>3</sup> )	Año	Volumen (hm <sup>3</sup> )	Año	Volumen (hm <sup>3</sup> )
1945	31.04	1968	46.85	1991	35.36
1946	22.65	1969	80.19	1992	70.88
1947	4.99	1970	34.03	1993	59.66
1948	31.79	1971	45.18	1994	69.46
1949	33.01	1972	71.91	1995	42.08
1950	14.82	1973	75.69	1996	70.16
1951	15.51	1974	77.39	1997	64.49
1952	24.25	1975	72.82	1998	32.35
1953	6.67	1976	72.84	1999	26.88
1954	14.09	1977	82.62	2000	4.48
1955	10.76	1978	79.69	2001	16.91
1956	51.68	1979	77.41	2002	14.77
1957	41.18	1980	57.60	2003	17.56
1958	7.42	1981	5.73	2004	31.78
1959	40.73	1982	3.84	2005	40.62
1960	48.60	1983	0.57	2006	27.71
1961	26.67	1984	16.15	2007	35.77
1962	16.02	1985	58.75	2008	25.19
1963	19.52	1986	51.01	2009	42.97
1964	25.27	1987	66.05	2010	30.98
1965	8.93	1988	42.05	2011	39.33
1966	25.54	1989	54.70	2012	22.08
1967	40.62	1990	2.94	2013	30.69

Registros de la Presa. BANDAS 2013

Registros de la estación 12378 BANDAS 2013

Dato calculado por ecuación la ecuación de continuidad

Las series completas (1945-2013) de escurrimiento anual se muestran en el Anexo 5.6.

### 5.1.3 Variables hidrológicas implícitas en la determinación o cálculo de escurrimientos

Las variables hidrológicas implícitas en la determinación o cálculo de escurrimiento son:

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{VARIACIÓN DE ALMACENAMIENTO}$$

$$(C_p + A_r + R + I_m) - (A_b + U + E_v + E_x) = DV \quad (4)$$

Por consiguiente el escurrimiento virgen se obtiene con la ecuación:

$$C_p = A_b + E_x + E_v + U - A_r - I_m - R - D_V \quad (5)$$

- Donde:  $\Delta v$  es la variación del volumen en un intervalo de tiempo  
 $C_p$ .- aportación por cuenca propia  
 $A_r$ .- aportación por cuenca tributaria o escurrimiento desde aguas arriba de la cuenca  
 $R$ .- retornos al sistema en función de diferentes usos  
 $I_m$ .- Importación desde otras cuencas adyacentes que no necesariamente escurre por gravedad.  
 $E_v$ .- evaporación de los cuerpos de agua  
 $A_b$ .- volumen de salida hacia aguas abajo  
 $U$ .- este volumen de salida es el que toman los diferentes usuarios para el consumo correspondiente.  
 $E_x$ .- exportación artificial del recurso hacia otras cuencas adyacentes.

A continuación se describe la metodología de recopilación y completado de datos de algunas de ellas.

### 5.1.3.1 Variación de volumen (DV)

La variación de volumen es la diferencia entre los registros del volumen de almacenamiento del año consecutivo y el inmediato anterior. Estos volúmenes (en millones de metros cúbicos o hectómetros cúbicos) se obtuvieron de la base de datos del Banco Nacional de datos de Aguas Superficiales (BANDAS 2013) que publica la Conagua.

La metodología para integrar la serie de tiempo de variación de volumen consistió en:

- Identificar las presas por cuenca y recopilación de información.
- Extracción de los datos de volumen almacenado con fecha del primero de enero de cada año
- Análisis de la porosidad de la información
- Completado de series.
- Integración de la serie histórica de variación de volumen

#### Identificación de las presas por cuenca y recopilación de información.

De acuerdo con la tabla siguiente, en las 33 cuencas existen 23 presas con registros de volumen de almacenamiento en la base de datos de BANDAS, 2014, para las cuencas 31 y 32 se tienen las presas El Cajón y Aguamilpa y sus registros se obtuvieron del estudio de disponibilidad (IMTA, 2009); dando un total de 26 presas identificadas en la zona.

Tabla 5.8. Presas identificadas con registros de volumen

No.	CH	Nombre Presa	Clave	Estado
1	1	El Jocoqui	552JCO	Aguascalientes
2	2	Cincuenta Aniversario	062CTA	Aguascalientes
3	2	Elías Calles	055CLL	Aguascalientes
4	3	Abelardo Rodríguez	006ABR	Aguascalientes
5	3	El Niágara	110NIA	Aguascalientes
6	4	El Cuarenta	080CRT	Jalisco
7	12	El Estribón	102EST	Jalisco
8	14	Las Palomas	333PAS	Zacatecas

No.	CH	Nombre Presa	Clave	Estado
9	15	El Chique	100CHI	Zacatecas
10	15	Julián Adame	217JLA	Zacatecas
11	16	La Codorniz	233CDZ	Aguascalientes
12	16	La Media Luna	321MLU	Aguascalientes
13	18	Cajititlán	108CAJ	Jalisco
14	18	Chila	103CHI	Jalisco
15	18	Elías González Chávez	114EGC	Jalisco
16	18	La Colonia	106COL	Jalisco
17	18	La Red	109RED	Jalisco
18	20	Santa Rosa	400SRO	Jalisco
19	22	Achimec	015ACH	Jalisco
20	22	Ramón López Velarde	357RLV	Zacatecas
21	22	Tenaxco	425TEN	Jalisco
22	23	Miguel Alemán	350PAL	Zacatecas
23	24	Manuel Felgueres	360MAF	Zacatecas
24	31	El Cajón		Nayarit
25	32	Aguamilpa		Nayarit

Extracción de los datos de volumen almacenado con fecha del primero de enero de cada año.

Los datos de los volúmenes de almacenamiento se obtuvieron de las 25 presas identificadas para cada cuenca del primero de enero de cada año. La información se organizó mediante un archivo en Excel en donde se colocó en cada pestaña el valor de cada presa (identificada por su clave). Tomando en cuenta la información del apartado anterior, se integró la información por cuenca (Anexo 5.7). En la figura siguiente se muestra cómo se visualiza el concentrado de los datos para las cuencas.

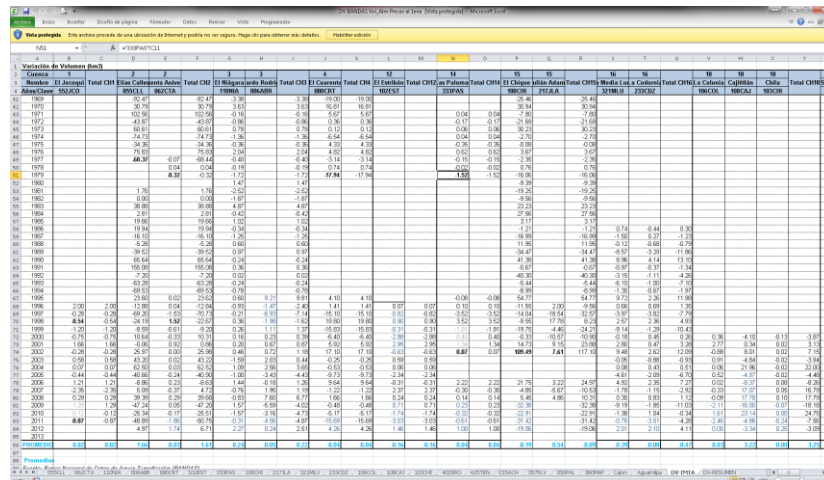


Figura 5.38. Concentrado de información de cuencas

Análisis de la porosidad de la información

En la tabla siguiente se observa un ejemplo de datos discontinuos en una de las presas ubicadas en la cuenca 2, los registros de almacenamiento de la Presa Cincuenta Aniversario muestran discontinuidad en los años 1980 y 1995. En el Anexo 5.7 están las tablas de los valores del volumen de almacenamiento de agua para cada cuenca.

Tabla 5.9. 062CTA Presa Cincuenta Aniversario

Año	Volumen almacenado al 1° de enero (hm <sup>3</sup> )
1977	4.10
1978	4.04
1979	4.08
1980	3.76
1995	4.02
1996	4.04
1997	4.07
1998	2.54
1999	4.07
2000	3.46
2001	3.12
2002	4.04
2003	4.05
2004	4.07
2005	4.09
2006	3.85
2007	4.08
2008	3.71
2009	4.00
2010	4.05
2011	3.88
2012	
2013	

BANDAS 2013  
Conagua. GASIR 2013

Los datos marcados con amarillo indican años discontinuos, y los valores remarcados en negro son valores correspondientes al 31 de diciembre.

Completado de series

Para completar los años en donde no se encontró el volumen almacenado con fecha del 1 de enero, se asignó el dato del 31 de diciembre del año inmediato anterior y en última instancia se completó la información con el promedio.

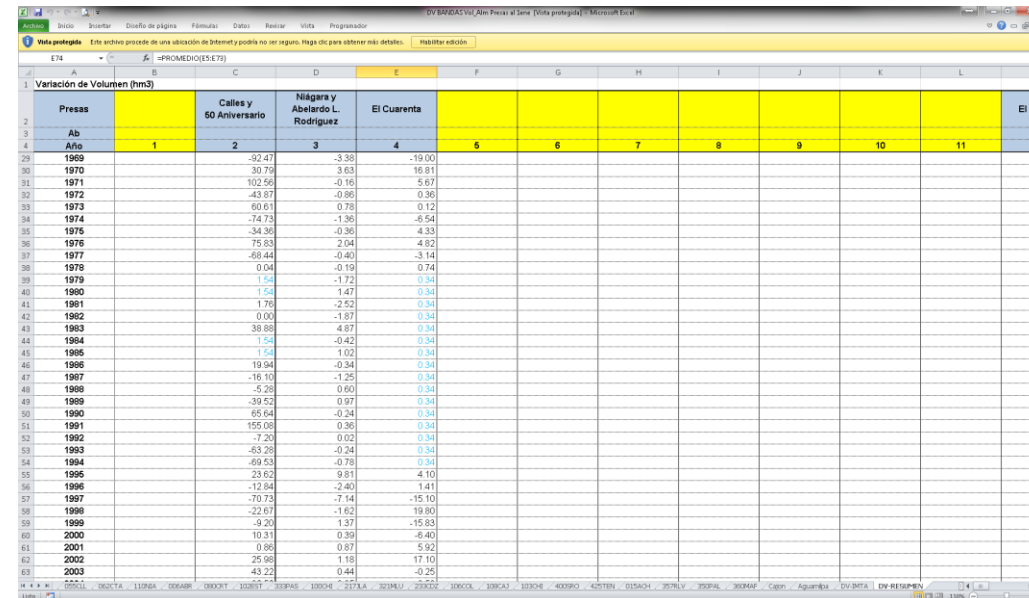


Figura 5.39. Variación de volumen (completado con promedio)

Serie histórica de variación de volumen

La variación de volumen se obtuvo de la siguiente manera:

$$\text{Variación de volumen para el año } X = (\text{Dato en el año siguiente}) - (\text{Dato en el año } X) \quad (6)$$

Para la obtención de la variación de volumen por cuenca se sumaron los valores de todas las de cada cuenca (Anexo 5.7).

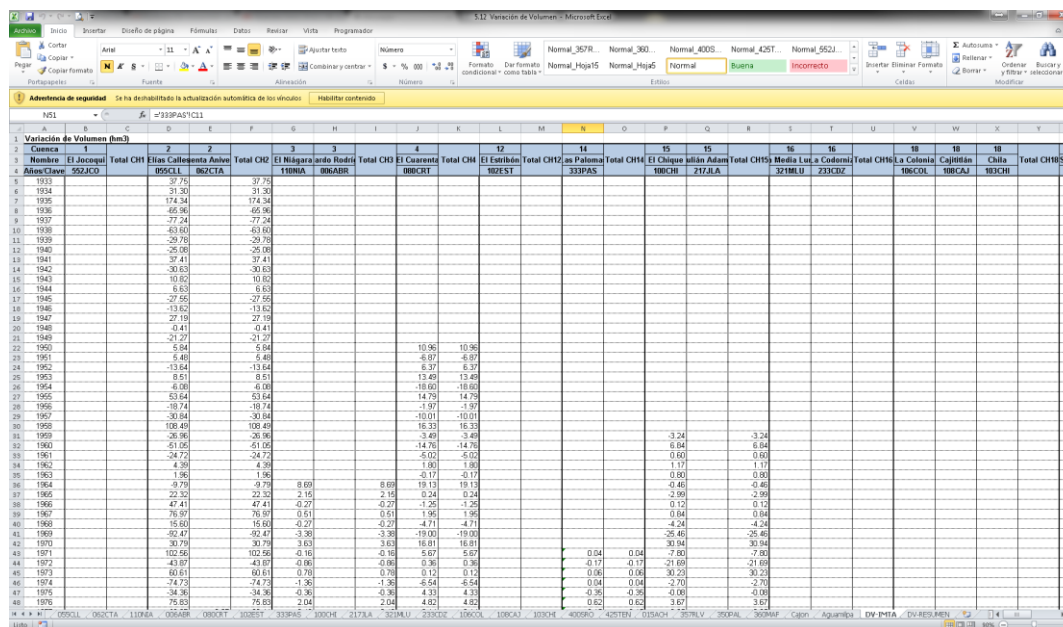


Figura 5.40. Variación de volumen

### 5.1.3.2 Importaciones (Im) y exportaciones (Ex)

Los volúmenes de importaciones y exportaciones entre cuencas ocurren, en todos los casos, cuando existe una transferencia artificial de agua de una cuenca a otra. Estas transferencias se hacen mediante canales, acueductos a superficie libre o a presión y en todos los casos se tiene una certidumbre de la magnitud del volumen de transferencia.

De acuerdo con el “Decreto de Reserva de Aguas Superficiales para uso público urbano” modificado el 17 noviembre de 1997 la Comisión Nacional del Agua (Anexo 1.2) reservó para la ciudad de León, Guanajuato un volumen de 119.84 hm<sup>3</sup> los que quedan identificados como exportación de la cuenca 12 (del río Verde) hacia la cuenca Lerma, misma donde se ubica la ciudad de León, Gto.

Otra importación es el volumen de aguas arriba procedentes del Lago de Chapala, que para efectos del cálculo de volúmenes restituidos se tomará como parte de las importaciones de la cuenca 18.

#### Identificación y recopilación de información.

De acuerdo con el Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico, la cuenca 1 “Río San Pedro” exporta a la cuenca 2 “Presa Calles” a través de la presa derivadora “Potrerillos”.

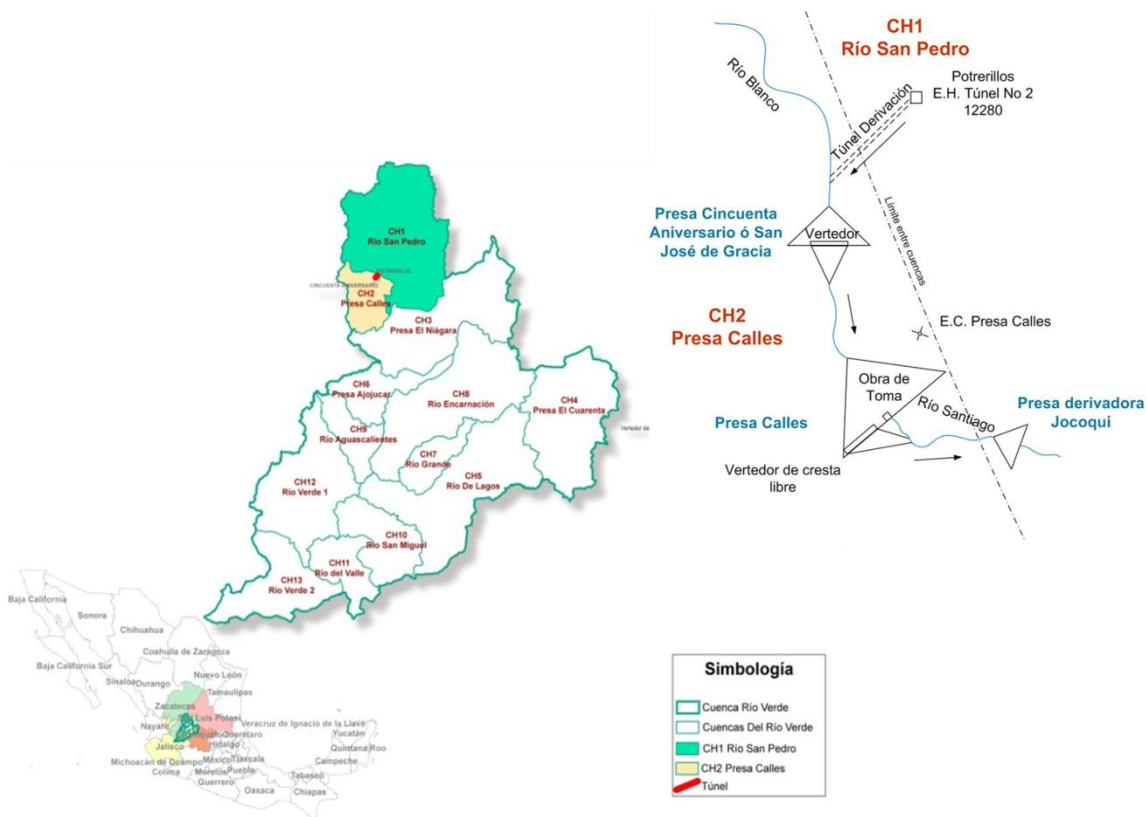


Figura 5.41. Esquema de conexión de la presa Potrerillos y Cincuenta Aniversario

De la base de datos BANDAS se obtuvo la información de la estación hidrométrica 12280 (Túnel 2) que mide la salida del túnel de la presa derivadora Potrerillos.



Otra de las importaciones es el volumen de agua proveniente del Lago de Chapala, que entra a la cuenca 18 y es aforado por las estaciones Corona, Zapotlanejo y Atequiza, siendo el Río Santiago la parte más baja de la RH 12 LERMA-SANTIAGO.

De acuerdo al boletín hidrológico de la Conagua, la estación hidrométrica “Corona” se instaló con el propósito de conocer el régimen de la corriente. La suma de los volúmenes que pasan en esta estación más los que pasan por las estaciones de Zapotlanejo y Atequiza, instaladas sobre los canales de igual nombre, equivalen, prácticamente, a las extracciones del lago de Chapala efectuadas en la cortina.

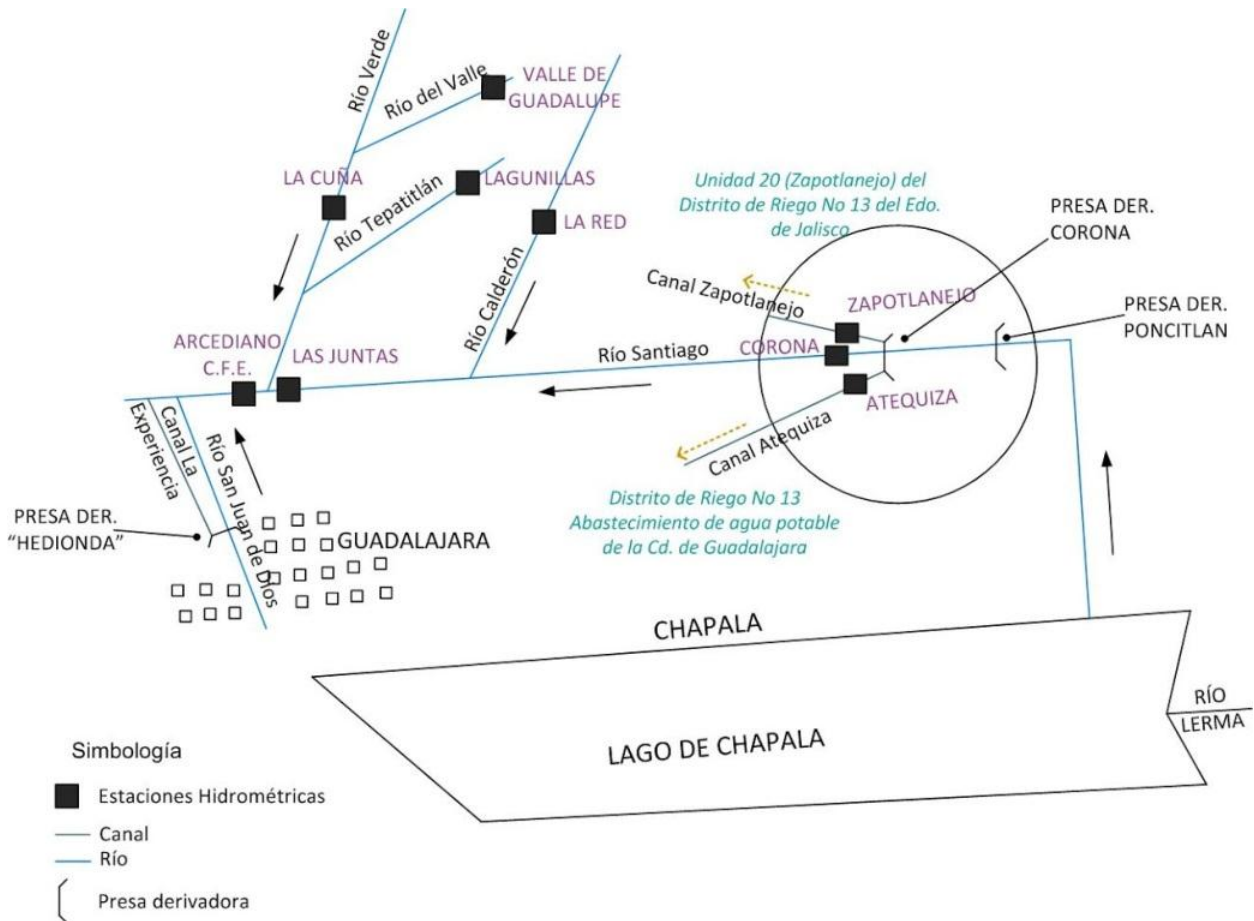


Figura 5.42. Diagrama de ubicación de estaciones

### Completado de series

Para la cuenca 2, la información faltante se completó utilizando el promedio, sin embargo, la variable de cuenca propia, se ajustó para que se cumpliera la continuidad (Anexo 5.9).

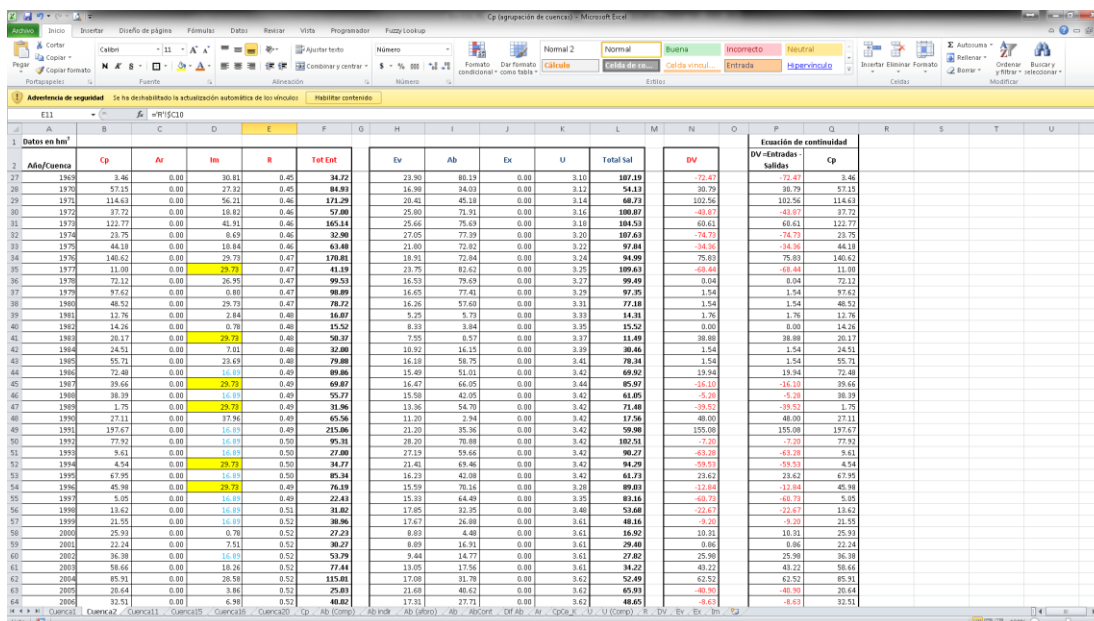


Figura 5.43. Ejemplo de archivo para análisis

La importación a la CH18 es la suma de las estaciones: Corona, Zapotlanejo y Atequiza. Sin embargo, los datos registrados en el Río Zula sirvieron para completar la serie cuando la suma de las estaciones anteriores era menor a la estación Zula, se tomó el dato de la estación Zula, debido a que el lago de Chapala eventualmente no registra ninguna extracción.

Año/Estación	12128 Corona	12288 Zapotlanejo	12730 - 12749 Atequiza	12937 Zula	Im
1945	776.09	33.02	208.14		1017.24
1946	545.30	30.09	206.34		781.74
1947	479.57	16.39	153.25		649.21
1948	454.85	16.00	202.66		673.51
1949	441.04	14.18	203.99		659.21
1950	288.30	13.78	159.76		461.84
1951	187.56	14.44	148.73		350.73
1952	257.32	14.61	158.16		430.09
1953	416.13	35.04	190.93		642.09
1954	433.85	30.20	199.98		664.03
1955	345.35	18.56	149.58		513.50
1956	411.50	15.92	156.67		584.09
1957	424.95	15.20	211.09		651.24
1958	340.97	9.20	198.71		548.88
1959	1612.00	8.98	200.82		1821.80
1960	493.73	12.00	212.20		717.92
1961	433.96	11.06	191.19		636.21
1962	465.72	10.96	132.29		608.98
1963	315.03	12.76	186.59		514.37
1964	344.38	9.22	199.71		553.32
1965	1028.92	8.17	220.25		1257.34

Año/Estación	12128 Corona	12288 Zapotlanejo	12730 - 12749 Atequiza	12937 Zula	Im
1966	1587.51	9.92	218.14		1815.57
1967	3814.75	8.09	226.53		4049.37
1968	2323.41	8.57	194.50		2526.48
1969	581.52	7.20	172.36		761.08
1970	475.07	10.45	186.78		672.30
1971	2436.14	16.83	177.06		2630.03
1972	1041.89	17.22			1059.11
1973	2229.26	14.17			2243.43
1974	1260.29	18.97			1279.26
1975	912.74	19.16	14.68		946.58
1976	2867.33	14.51	16.01		2897.84
1977	1239.62	11.12	103.82		1354.57
1978	729.10	14.64	254.25		997.99
1979	564.13	22.27	237.25		823.65
1980	282.56	18.22	213.88		514.66
1981	75.76	11.83	239.50		327.09
1982	53.12	16.18	240.19		309.49
1983	35.10	11.86			46.96
1984	18.67	9.77			28.44
1985	12.26	17.48			29.74
1986	11.16	15.16	266.27		292.59
1987	16.60	15.12	297.87		329.60
1988	27.47	14.58	295.07		337.12
1989	10.90	15.04	290.82		316.76
1990	5.64	0.23	241.58		247.45
1991	47.56	6.76	121.71		176.03
1992	31.57	3.60	69.02	162.09	162.09
1993	23.41	9.75	149.31	40.84	182.47
1994	16.22	8.92	104.19	133.33	133.33
1995	29.77	12.98	39.30	168.71	168.71
1996	32.81	10.95	51.86	25.42	95.61
1997	25.95	9.73	64.60	35.14	100.28
1998	19.82	11.45	59.45	153.36	153.36
1999	14.58	7.15	52.12	72.23	73.85
2000	6.12	2.50	23.89	29.11	32.52
2001	8.00		11.15	89.65	89.65
2002	11.17		16.64	168.82	168.82
2003	20.78			528.13	528.13
2004	43.92	10.07			53.99
2005	20.08	13.55		114.60	114.60
2006	17.78	6.52		113.83	113.83
2007	45.45	5.35		169.95	169.95
2008				336.39	336.39
2009				119.74	119.74
2010	30.00			203.13	203.13
2011	88.52	8.77		81.00	97.29

Fuente: BANDAS 2013. Los datos en rojo corresponden a la estación Zula.

### 5.1.3.3 Cuenca propia (Cp)

El Volumen de escurrimiento virgen o aportación por cuenca propia (Cp) es el que se produce de manera natural en la cuenca en el caso hipotético que no tuviera ningún tipo de explotación o extracción de agua. Si la cuenca fuera aforada en ese caso hipotético de cero usos o extracciones y cero mano del hombre sin almacenamientos artificiales y control del agua, sería el escurrimiento virgen el que se mediría al final de la cuenca, en esas condiciones, el valor del escurrimiento por cuenca propia la resultaría igual a la variable Ab, que es el escurrimiento hacia aguas abajo de la cuenca en estudio. Si no es el caso requiere restituir el escurrimiento virgen a partir de sumar al aforo (Ab) o registro en el punto de control de la salida de la cuenca en estudio los usos o extracciones que en la cuenca se registren en apego a la NOM – 011 – CONAGUA – 2015 con la hidrometría se obtiene el volumen de escurrimiento Ab que se utilizaría para aplicar el denominado método directo para estimación del escurrimiento disponible de las cuencas en estudio.

Prácticamente todas las cuencas tienen algún tipo de explotación, extracción, almacenamiento y/o transferencia de agua. En todos esos casos en los que sea posible cuantificar todas las variables que intervienen en el balance hídrico, entonces se podría obtener el escurrimiento virgen precisamente con el denominado método directo en el que la variable principal es la hidrometría.

Cuando no se cuenta con información hidrométrica, entonces es necesario estimar el escurrimiento virgen de manera indirecta mediante algún método o modelo de análisis del proceso lluvia - escurrimiento, por esta razón, el segundo método se denomina indirecto. El método del coeficiente de escurrimiento es recomendado en la norma NOM -011-CONAGUA-2015. En los métodos indirectos se estima el volumen que escurre al final de la cuenca a partir de la precipitación, las características fisiográficas, la cobertura vegetal de la cuenca y del tipo y uso del suelo. De manera resumida, en el método del coeficiente de escurrimiento se aplica un coeficiente de escurrimiento al volumen total de lluvia para estimar el volumen total de escurrimiento; este coeficiente representa las pérdidas de agua que ocurren por infiltración y otros factores.

El escurrimiento virgen Cp se calculó utilizando los métodos directo e indirecto. Se aplicó el método indirecto utilizando el coeficiente de escurrimiento para las 33 cuencas en los 69 años de registro (1945 – 2013) (anexo 5.13), es decir, mediante el “Coeficiente de Escurrimiento” y utilizando hidrometría.

#### Método indirecto

##### **a) Recopilación de información.**

De la página de INEGI se descargó la información correspondiente a los usos del suelo nacional (Serie V). Con el uso del software ArcGIS se recortó al contorno de la zona de estudio y ésta se intersectó con las cuencas de interés para este trabajo de la zona de estudio. Posteriormente, utilizando la herramienta para el cálculo de área de la aplicación ArcGIS se obtuvo el área correspondiente a cada uso de suelo en cada una de las cuencas (Anexo 5.9).

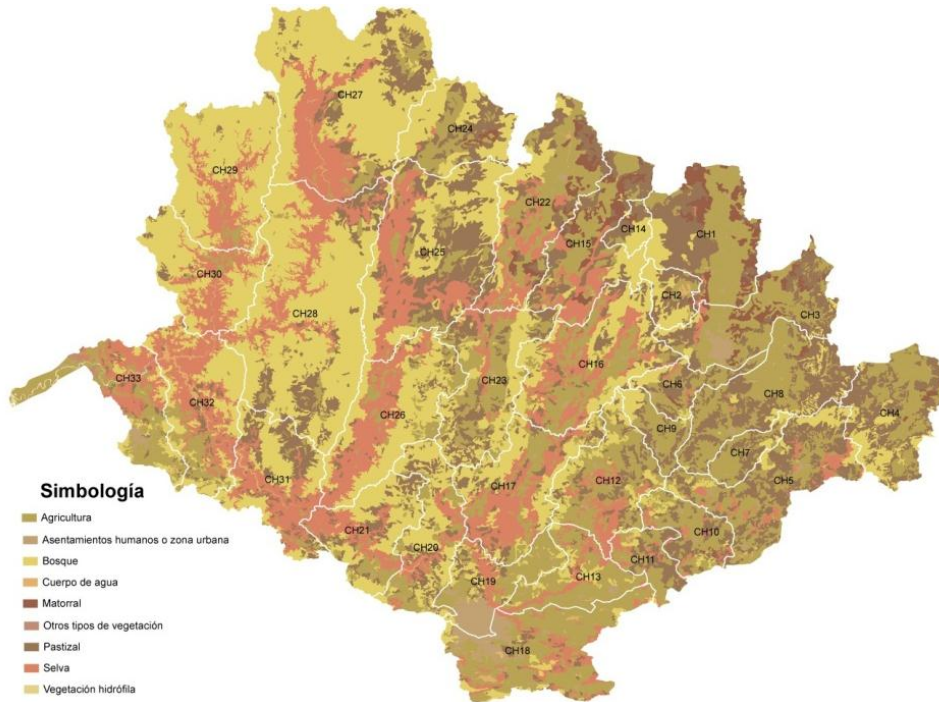


Figura 5.44. Mapa de usos de suelo

La información generada se colocó en una hoja de Excel con información de:

- Clave de la cuenca,
- Nombre de la cuenca hidrológica
- Uso de suelo
- Área total
- Área por uso en km<sup>2</sup>

CH	Cuenca	Uso	Total área (km <sup>2</sup> )	Área por uso (km <sup>2</sup> )	Área por uso (m <sup>2</sup> )
1	Río San Pedro	AGRICULTURA	2,669.42	1,150.70	1,150,699,146.35
1	Río San Pedro	PASTIZAL	2,669.42	795.23	795,228,232.53
1	Río San Pedro	BOSQUE	2,669.42	193.03	193,031,734.14
1	Río San Pedro	ASENTAMIENTOS HUMANOS O ZONA URBANA	2,669.42	27.43	27,432,880.71
1	Río San Pedro	CUERPO DE AGUA	2,669.42	5.29	5,290,206.54
1	Río San Pedro	MATORRAL	2,669.42	474.44	474,428,842.63
1	Río San Pedro	OTROS TIPOS DE VEGETACIÓN	2,669.42	0.61	612,918.98
1	Río San Pedro	SELVA	2,669.42	22.69	22,687,407.04
1	Río San Pedro	VEGETACIÓN HIDRÓFILA	2,669.42	-	-
2	Presa Calles	AGRICULTURA	592.29	90.82	90,020,281.79
2	Presa Calles	PASTIZAL	592.29	212.14	212,139,123.96
2	Presa Calles	BOSQUE	592.29	287.92	287,918,389.98
2	Presa Calles	ASENTAMIENTOS HUMANOS O ZONA URBANA	592.29	1.50	1,500,494.10
2	Presa Calles	CUERPO DE AGUA	592.29	20.31	20,306,937.92
2	Presa Calles	MATORRAL	592.29	10.32	10,318,028.05
2	Presa Calles	OTROS TIPOS DE VEGETACIÓN	592.29	-	-
2	Presa Calles	SELVA	592.29	0.00	4,086.20
2	Presa Calles	VEGETACIÓN HIDRÓFILA	592.29	-	-
3	Presa El Nágara	AGRICULTURA	2,322.86	1,086.71	1,086,713,440.62
3	Presa El Nágara	PASTIZAL	2,322.86	648.72	648,724,738.43
3	Presa El Nágara	BOSQUE	2,322.86	109.33	109,333,676.30
3	Presa El Nágara	ASENTAMIENTOS HUMANOS O ZONA URBANA	2,322.86	144.84	144,936,499.43
3	Presa El Nágara	CUERPO DE AGUA	2,322.86	14.30	14,303,242.00
3	Presa El Nágara	MATORRAL	2,322.86	278.75	278,751,117.89
3	Presa El Nágara	OTROS TIPOS DE VEGETACIÓN	2,322.86	-	-
3	Presa El Nágara	SELVA	2,322.86	44.02	44,020,339.55
3	Presa El Nágara	VEGETACIÓN HIDRÓFILA	2,322.86	-	-
4	Presa El Cuarenta	AGRICULTURA	2,267.43	879.42	879,419,684.88
4	Presa El Cuarenta	PASTIZAL	2,267.43	915.10	915,104,072.17
4	Presa El Cuarenta	BOSQUE	2,267.43	423.96	423,958,314.90
4	Presa El Cuarenta	ASENTAMIENTOS HUMANOS O ZONA URBANA	2,267.43	7.60	7,598,470.69
4	Presa El Cuarenta	CUERPO DE AGUA	2,267.43	11.28	11,275,410.27
4	Presa El Cuarenta	MATORRAL	2,267.43	29.72	29,724,366.57
4	Presa El Cuarenta	OTROS TIPOS DE VEGETACIÓN	2,267.43	-	-
4	Presa El Cuarenta	SELVA	2,267.43	0.35	346,134.47
4	Presa El Cuarenta	VEGETACIÓN HIDRÓFILA	2,267.43	-	-
5	Río De Lagos	AGRICULTURA	2,794.75	1,073.59	1,073,587,188.49
5	Río De Lagos	PASTIZAL	2,794.75	1,078.85	1,078,845,310.57
5	Río De Lagos	BOSQUE	2,794.75	311.52	311,518,170.92
5	Río De Lagos	ASENTAMIENTOS HUMANOS O ZONA URBANA	2,794.75	89.81	89,811,617.74

Figura 5.45. Información utilizada para el cálculo de la variable Cp por el método indirecto

## b) Completado de serie

Como ya se mencionó, para la obtención del escurrimiento por cuenca propia se utilizó el método del *Coefficiente de escurrimiento*, mismo que se describe a continuación.

### *Coefficiente de escurrimiento*

El volumen total de ingreso por cuenca propia, es la parte del volumen de lluvia que escurre y se denomina escurrimiento directo. La forma más sencilla de relacionar ambos volúmenes es con la expresión:

$$Ce = \frac{V_{ED}}{V_{LL}} \quad \text{ó} \quad V_{ED} = Ce * V_{LL} \quad (7)$$

Donde:

- VLL volumen de lluvia
- VED volumen de escurrimiento directo
- Ce coeficiente de escurrimiento

Es un método sencillo de aplicar que requiere de datos de precipitación acumulada anual de las estaciones que tienen influencia en la cuenca de estudio y un coeficiente de escurrimiento ( $Ce$ ) que está en función de un coeficiente  $K$  que a su vez depende del tipo y uso del suelo. En este método se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Si  $K$  resulta menor o igual que 0.15 entonces:

$$Ce = K (P-250)/2000 \quad (8)$$

Pero si  $K$  es mayor que 0.15 entonces

$$Ce = K (P-250) / 2000 + (K-0.15) / 1.5 \quad (9)$$

El valor del coeficiente  $k$  se tomó de la información reportada en el estudio realizado en el estudio de disponibilidad (IMTA, 2009). La tabla mostrada a continuación muestra los valores de  $K$  para diferentes usos del suelo.

Tabla 5.10. Valor de  $k$  para diferentes usos del suelo

Uso	K
Agricultura	0.26
Otros tipos de vegetación	0.27
Pastizal	0.23
Pradera	
matorral	0.28
Bosque	0.26
Selva	0.19
Vegetación hidrófila	0.30
Asentamientos humanos o zona urbana	0.30
Casas pequeñas	0.29
Cuerpo de agua	0.33

Fuente: Estudio de disponibilidad (IMTA, 2009)

Toda la información recopilada se colocó en un archivo de Excel y posteriormente se aplicó la fórmula del coeficiente de escurrimiento a cada uno de los usos de suelo identificados en cada cuenca hidrológica y para todos los años de 1945 a 2013 (Anexo 5.9). A continuación muestra un ejemplo del archivo en Excel con los datos para el cálculo del escurrimiento por cuenca propia.

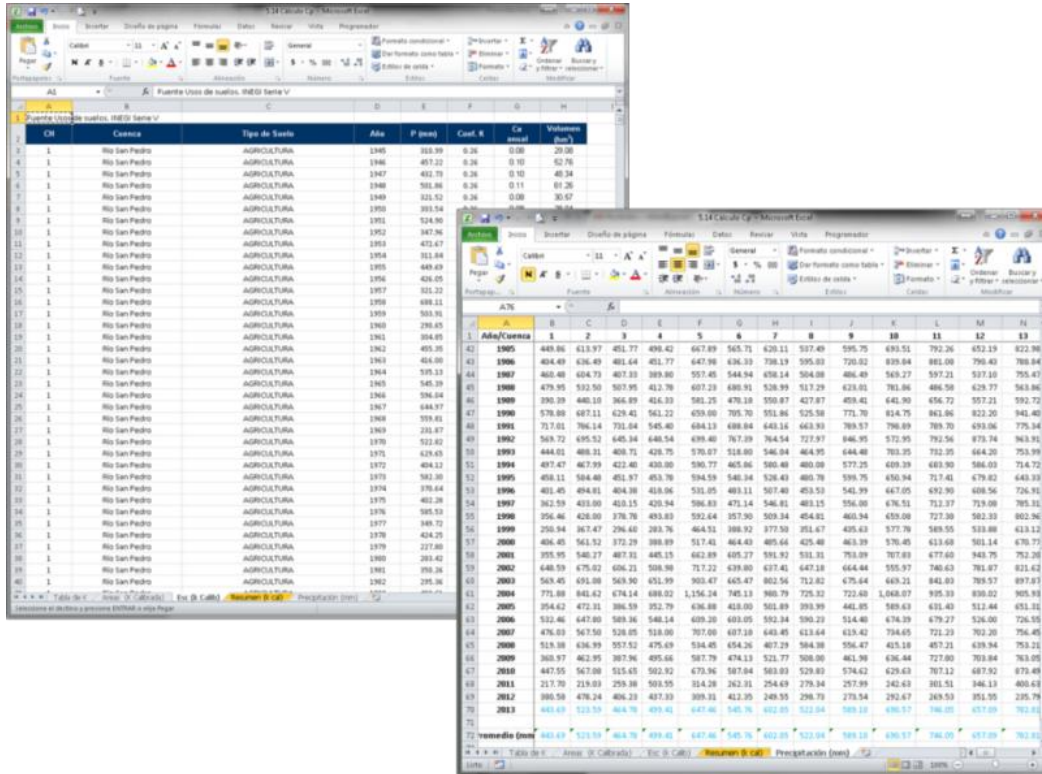


Figura 5.46. Archivo con datos para el cálculo del escurrimiento por cuenca propia por el método del coeficiente de escurrimiento

### Método directo

El método directo se aplicó en las cuencas con información hidrométrica. Este método se utilizó en la agrupación de cuencas para completar información. El método consistió en identificar un sistema de cuencas agrupadas con registros aguas arriba y aguas abajo utilizando la ecuación de continuidad y distribuir el escurrimiento virgen para cada cuenca de acuerdo al porcentaje que le corresponda del valor obtenido de  $C_p$  de cada cuenca por método indirecto. Posteriormente, se calculó la proporción en que cada una de ellas aporta escurrimiento al volumen total del grupo, finalmente, se distribuyó el volumen estimado por el método directo entre las cuencas del grupo, considerando esa proporción.

Para aclarar mejor lo anterior se presenta un ejemplo. Se desea conocer el  $C_p$  de las cuencas 7,8,9,10 y 11 del año de 1965, para ese año se necesita agrupar las cuencas 7,8,9,10,11 incluyendo la cuenca 12 (por contar con hidrometría en ese año) con el fin de obtener datos de escurrimiento para esas cuencas.

En la siguiente figura se muestra el esquema de interconexión.

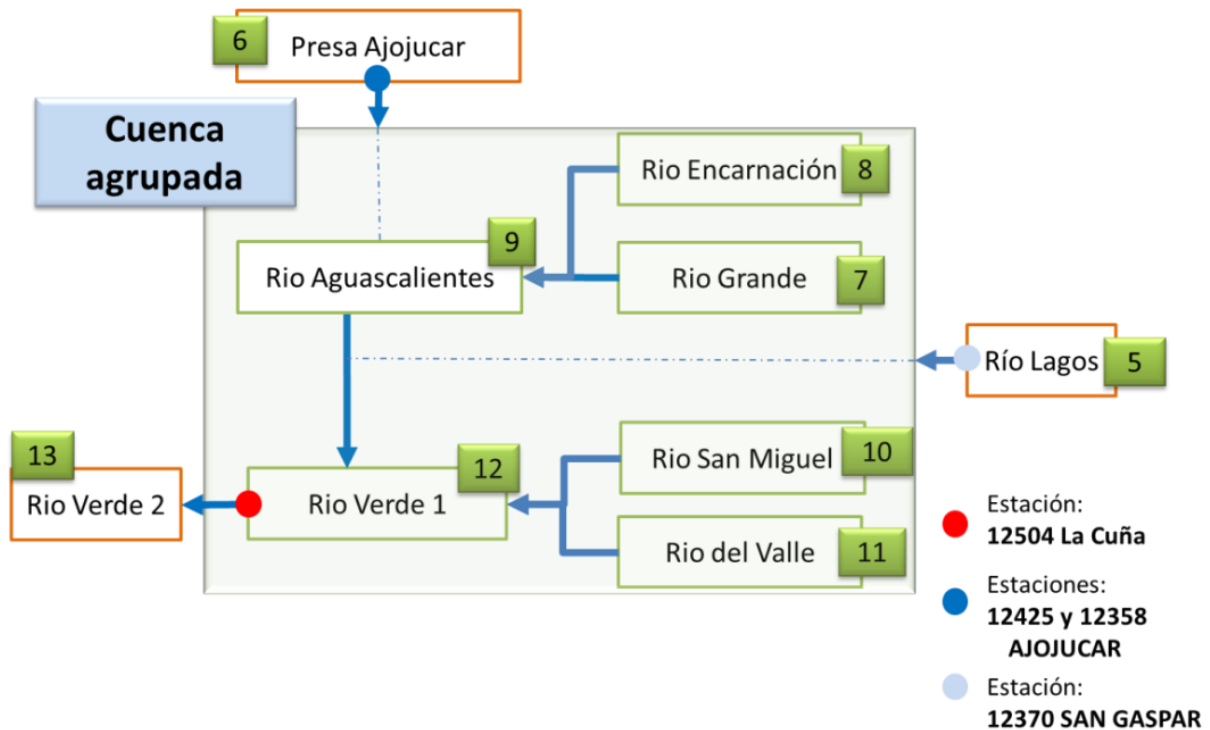


Figura 5.47. Ejemplo de agrupación de cuencas

- ✓ Los volúmenes de datos aguas arriba se tomaron de las estaciones Ajojucar y San Gaspar.
- ✓ Los volúmenes de datos aguas abajo se tomaron de la estación La Cuña.

Para conocer la proporción o peso con la que se repartirá el volumen de agua medido hacia aguas arriba de la estación la Cuña, fue necesario tomar como parámetro la lluvia y el área de las cuencas. Por tal motivo se realizó el cálculo del escurrimiento virgen por el método del coeficiente de escurrimiento (método indirecto), de todas las cuencas involucradas. La tabla mostrada a continuación presenta los resultados de este cálculo.

Tabla 5.11. Proporción en la que cada cuenca contribuye con escurrimiento al grupo de cuencas. Volumen estimado con el método del coeficiente de escurrimiento

CH	7	8	9	10	11	12	Total
Volumen de escurrimiento (hm <sup>3</sup> )	53.7	127.42	51.79	149.89	107.32	199.7	689.82
Proporción	0.08	0.18	0.08	0.22	0.16	0.29	1.00



De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2015, “Conservación del recurso Agua”, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas superficiales nacionales, y que utiliza la ecuación de continuidad para el cálculo de  $C_p$ , tomando los datos medidos de estaciones hidrométricas, esta ecuación se transforma en la siguiente expresión:

$$C_p^* = (E_v^* + A_{b_{12}} + U^* + E_x^*) - ((A_{b_5} + A_{b_6}) + (R^* + I_m^*) + D V^* \quad (10)$$

\* 7, 8, 9, 10, 11 y 12

Los valores correspondientes a cada una de las variables de la ecuación anterior se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.12. Cálculo del volumen de la variable  $C_p$  para el conjunto de cuencas agrupadas

Año	Cuenca	Ab	Ar	Im	R	U	Ev	Ex	DV	Cp
1965	7, 8, 9, 10, 11 y 12	1,241.03	473.71	0.00	0.98	10.39	37.10	0.00	0.00	813.83

Finalmente se aplica la proporción o el porcentaje de peso correspondiente al volumen de la variable  $C_p$  obtenido por la agrupación.

Tabla 5.13. Resultados de la variable  $C_p$

CH	7	8	9	10	11	12	Total
Vol. Esc. (hm <sup>3</sup> ) –Ce-	53.7	127.42	51.79	149.89	107.32	199.7	689.82
Proporción	0.078	0.185	0.075	0.217	0.156	0.290	1.00
<b>Vol. Esc. (hm<sup>3</sup>) –cuencas agrupadas-</b>	<b>63.35</b>	<b>150.33</b>	<b>61.10</b>	<b>176.83</b>	<b>126.61</b>	<b>235.60</b>	<b>813.83</b>

## 5.2 Clasificación y análisis del padrón de usuarios-volúmenes anuales asignados y concesionados en la cuenca

Actualmente la Conagua cuenta con el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), que surgió con la creación y la publicación de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) en el Diario Oficial de la Federación el 1o de diciembre de 1992 y su Reglamento del 12 de enero de 1994. El REPDA tiene como objeto inscribir los títulos de concesión y de asignación de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, y de los permisos, así como diversos actos a que se refiere la Ley, constituyéndose en un instrumento de apoyo dentro del marco de la modernización, planeación y programación de la administración del agua y del uso eficiente y racional de los recursos naturales.

El REPDA tiene como misión otorgar seguridad jurídica a los usuarios de Aguas Nacionales a través de la inscripción oportuna y confiable de las concesiones, emitiendo la información estadística y permitir la consulta pública.

Dicho padrón de usuarios cuenta con información relacionada con los diferentes usos del agua que son clasificados según se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.14. Clasificación de usos de agua REPDA

CLAVE	USO
A	Agrícola
B	Agroindustrial
C	Doméstico
D	Acuacultura
E	Servicio
F	Industrial
G	Pecuario
H	Público urbano
I	Múltiples
J	Electricidad o hidroeléctricas
K	Comercio
L	Otros
A1	Agrícola Inscrito
A2	Agrícola Pendiente
J1	Termoeléctricas

Cabe mencionar que un registro del REPDA puede tener hasta 3 usos diferentes, por lo que fue necesario obtener el volumen correspondiente de cada uno de ellos por separado, esto con el fin de aplicar el porcentaje de retorno correspondiente.

### 5.2.1 Depuración de la base de datos REPDA

Debido a que los registros del REPDA reportan algunas inconsistencias en la ubicación geográfica, se tomaron todos los datos de la base nacional como insumo para seleccionar aquellos que se reportaron en la zona de estudio. Esto se logró utilizando la información de localidades, municipios, ríos y presas (Conagua e INEGI 2010).

Además con el software ArcGIS 10.1, específicamente la aplicación ArcMap, se visualizó el mapa digital de registros del REPDA generándose un archivo shapefile a nivel nacional. Los datos contenidos en el REPDA son los siguientes:

- LONDEC. Longitud en grados decimales
- LATDEC. Latitud en grados decimales
- FECHA. Día, mes y año de alta del registro
- CVE\_USO. Clave de uso
- CVEEDOMPIO. Clave de municipio
- NOMMUPIO. Nombre del municipio
- NOM\_LOCAL. Nombre de la localidad
- FOLIÓREG. Folio único de registro
- NOMFUENTE. Nombre de la fuente
- AFLUENTE. Nombre del afluente
- VOLEXTANUA. Volumen extraído anual

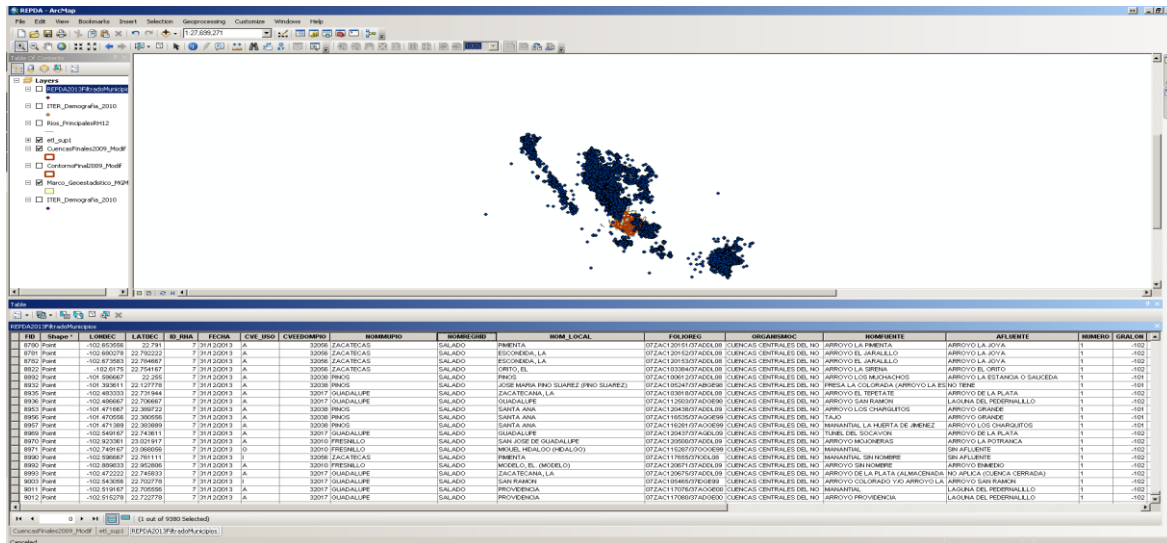


Figura 5.48. Información del REPDA visualizada en ArcGIS

Cabe mencionar que el REPDA no cuenta con clave de localidad sólo el nombre, sin embargo, tiene la clave del municipio que es la misma del INEGI. La selección de los registros se hizo de la siguiente forma:

1. Se aplicó el filtro para seleccionar los registros dados de alta en los municipios ubicados dentro de la subregión hidrológica del Río Santiago. Con este filtro se obtuvieron 9,380 registros.

Como resultado se obtuvieron los registros REPDA localizados en cada municipio identificado dentro de la zona de estudio.

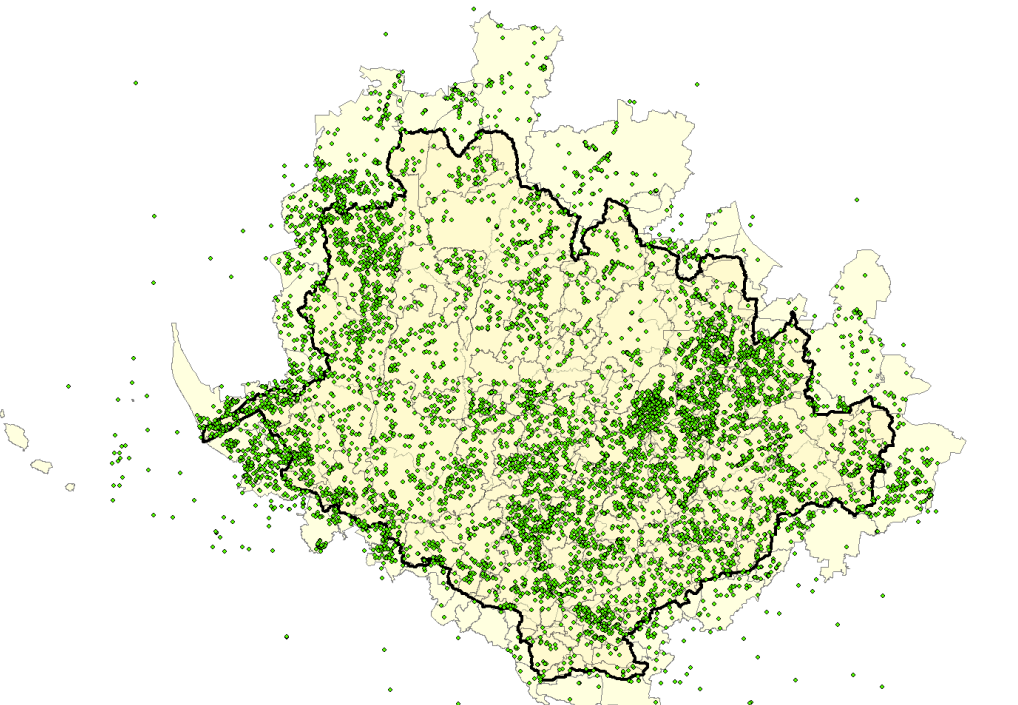


Figura 5.49. Registros REPDA identificados en los municipios de la subregión hidrológica del Río Santiago

Como puede observarse en la figura, existen muchos registros ubicados fuera del municipio en el que se dieron de alta dentro de la subregión hidrológica, por otro lado, algunos municipios tienen sólo una parte en la zona de estudio. Por esta razón se realizaron otros procesos para la ubicación correcta de los mismos.

2. El segundo filtro, consistió en revisar aquellos registros que estaban en el municipio pero que no se sabía con certidumbre si se ubicaban dentro de la zona de estudio o no, para ello fue necesario ubicarlos por su localidad.

Para este segundo criterio de selección se utilizó el ArcGIS y el shapefile de localidades del Sistema de Información Territorial, ITER (INEGI, 2010). El resultado fue de 35,849 registros.

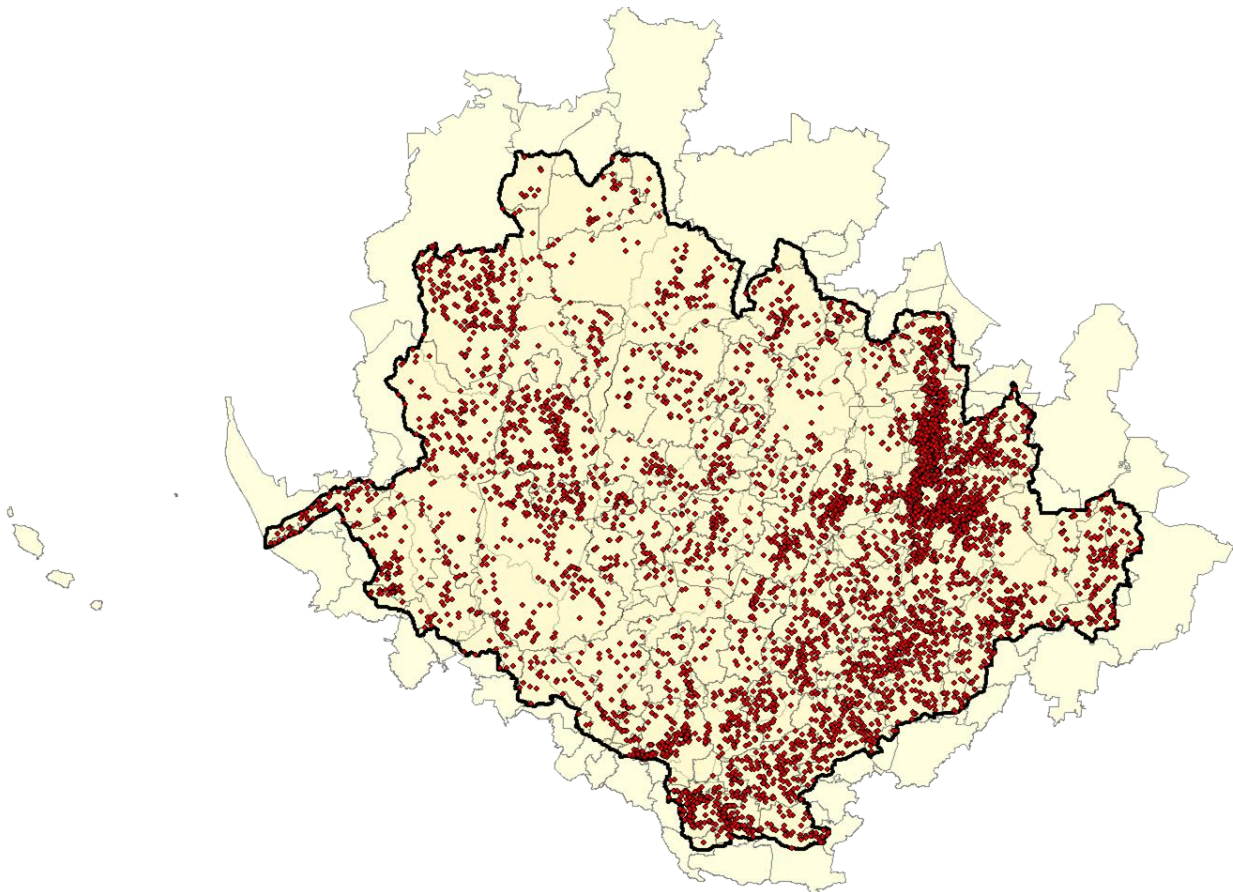
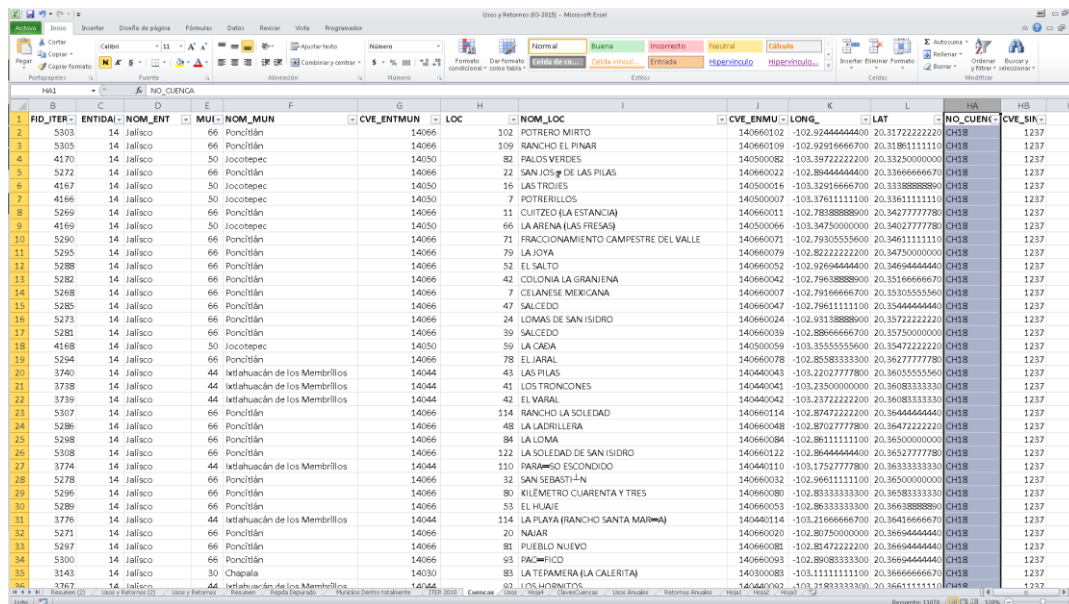


Figura 5.50. Localidades ubicadas dentro de la subregión hidrológica del Río Santiago

3. Una vez reducida la información de localidades se realizó una intersección con la capa de cuencas con el objeto de determinar la cuenca a la que pertenecía cada localidad.



FID_INTER	ENTIDAD	NOM_ENT	MUJ	NOM_MUN	CVE_ENTMUN	LOC	NOM_LOC	CVE_ENMU	LONG	LAT	NO_CUEN	CVE_SIN	
1	5303	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	102	POTRERO MIRTO	140660102	-102.924666666667	20.3172222222	CH18	1237
2	5305	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	109	RANCHO EL PINAR	140660109	-102.929166666667	20.3386111111	CH18	1237
3	4170	14	Jalisco	50	Jocotepec	14050	82	PALOS VERDES	140500082	-103.3972222222	20.3325000000	CH18	1237
4	5272	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	22	SAN JOSÉ DE LAS PILAS	140660022	-102.894666666667	20.3366666667	CH18	1237
5	4167	14	Jalisco	50	Jocotepec	14050	16	LAS TROIES	140500016	-103.329166666667	20.3338888889	CH18	1237
6	4166	14	Jalisco	50	Jocotepec	14050	7	POTRERILLOS	140500007	-103.3761111111	20.3361111111	CH18	1237
7	5269	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	11	QUITZE (LA ESTANCIA)	140660011	-102.7858888889	20.3427777778	CH18	1237
8	4169	14	Jalisco	50	Jocotepec	14050	66	LA ARENA (LAS FRESCAS)	140500066	-103.3475000000	20.3402777778	CH18	1237
9	5290	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	71	FRACCIONAMIENTO CAMPESTRE DEL VALLE	140660071	-102.7890555556	20.3461111111	CH18	1237
10	5295	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	79	LA JOYA	140660079	-102.8222222222	20.3475000000	CH18	1237
11	5288	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	52	EL SALTO	140660052	-102.9269444444	20.3469444444	CH18	1237
12	5282	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	43	COLONIA LA GRANJENA	140660042	-102.7963888889	20.3516666667	CH18	1237
13	5268	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	7	CILANSE MEXICANA	140660007	-102.7916666667	20.3535555556	CH18	1237
14	5285	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	47	SALCEDO	140660047	-102.7961111111	20.3546666667	CH18	1237
15	5273	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	24	LOMAS DE SAN ISIDRO	140660024	-102.8318888889	20.3572222222	CH18	1237
16	5281	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	39	SALCEDO	140660039	-102.8896666667	20.3575000000	CH18	1237
17	4168	14	Jalisco	50	Jocotepec	14050	59	LA CADERA	140500059	-103.3555555556	20.3547222222	CH18	1237
18	5294	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	78	EL LARAL	140660078	-102.8583333333	20.3627777778	CH18	1237
19	3740	14	Jalisco	44	Intahua de los Membrillos	14044	43	LAS PILAS	140440043	-103.2202777778	20.3605555556	CH18	1237
20	3738	14	Jalisco	44	Intahua de los Membrillos	14044	41	LOS TRONCONES	140440041	-103.2350000000	20.3608333333	CH18	1237
21	3739	14	Jalisco	44	Intahua de los Membrillos	14044	42	EL VASAL	140440042	-103.2322222222	20.3608333333	CH18	1237
22	5307	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	114	RANCHO LA SOLEDAD	140660114	-102.8747222222	20.3644444444	CH18	1237
23	5286	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	48	LA LADRILLERA	140660048	-102.8702777778	20.3647222222	CH18	1237
24	5298	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	84	LA LOMA	140660084	-102.8611111111	20.3650000000	CH18	1237
25	5308	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	122	LA SOLEDAD DE SAN ISIDRO	140660122	-102.8644444444	20.3652777778	CH18	1237
26	3774	14	Jalisco	44	Intahua de los Membrillos	14044	110	PARAMO ESCONDIDO	140440110	-103.1752777778	20.3633333333	CH18	1237
27	5278	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	32	SAN SEBASTIÁN	140660032	-102.9661111111	20.3650000000	CH18	1237
28	5296	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	80	KILÉMETRO CUARENTA Y TRES	140660080	-102.8333333333	20.3658333333	CH18	1237
29	5289	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	53	EL HUAJE	140660053	-102.8633333333	20.3663888889	CH18	1237
30	3776	14	Jalisco	44	Intahua de los Membrillos	14044	114	LA PLAYA (RANCHO SANTA MARINA)	140440114	-103.2166666667	20.3641666667	CH18	1237
31	5271	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	20	NAJAR	140660020	-102.8075000000	20.3669444444	CH18	1237
32	5297	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	88	PUEBLO NUEVO	140660088	-102.8472222222	20.3669444444	CH18	1237
33	5300	14	Jalisco	66	Poncitlán	14066	93	PAQUÍFICO	140660093	-102.8008333333	20.3669444444	CH18	1237
34	3143	14	Jalisco	30	Chapala	14030	83	LA TAMPAMERA (LA CALERITA)	140300083	-103.1111111111	20.3666666667	CH18	1237
35	3767	14	Jalisco	44	Intahua de los Membrillos	14044	60	LOS HORRITOS	140440060	-103.2183333333	20.3661111111	CH18	1237

Figura 5.51. Identificación de cuencas

Por otro lado, utilizando el dato de “nombre de la localidad” se realizaron búsquedas con los siguientes criterios:

- Nombre exacto
- Por ejido o rancho
- Similares pertenecientes al mismo municipio

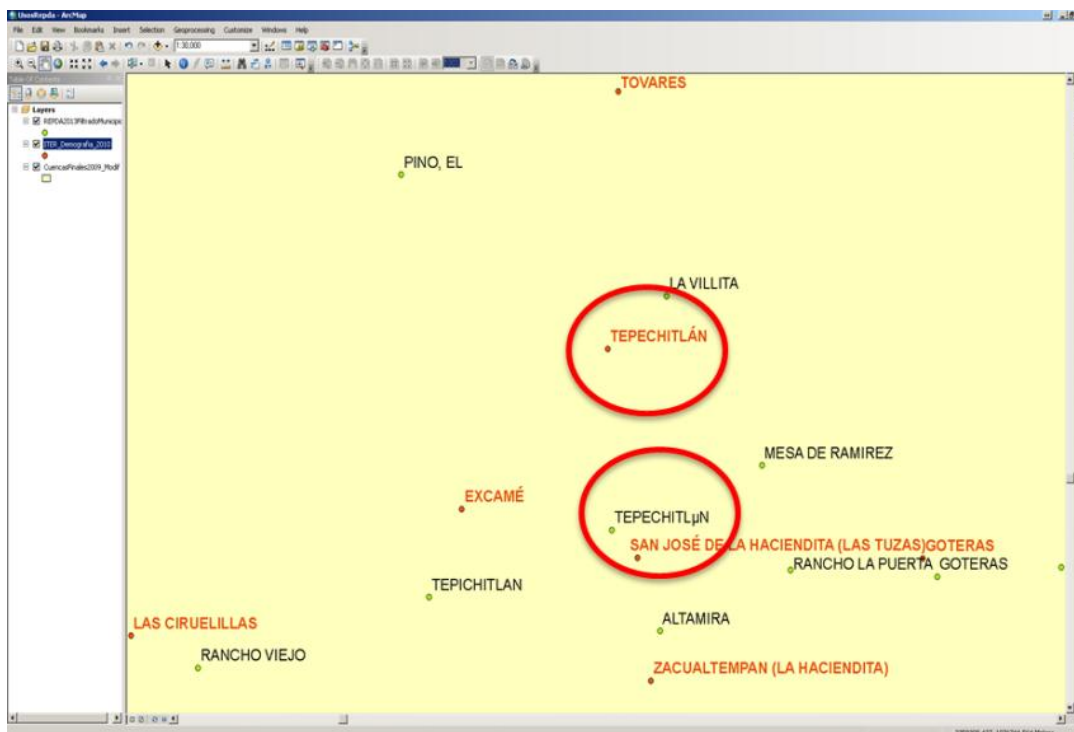


Figura 5.52. Identificación registros del REPDA en ArcGIS

Los puntos verdes corresponden a los registros del REPDA y los rojos a las localidades de INEGI. Los nombres señalados en los círculos rojos tienen información parecida.

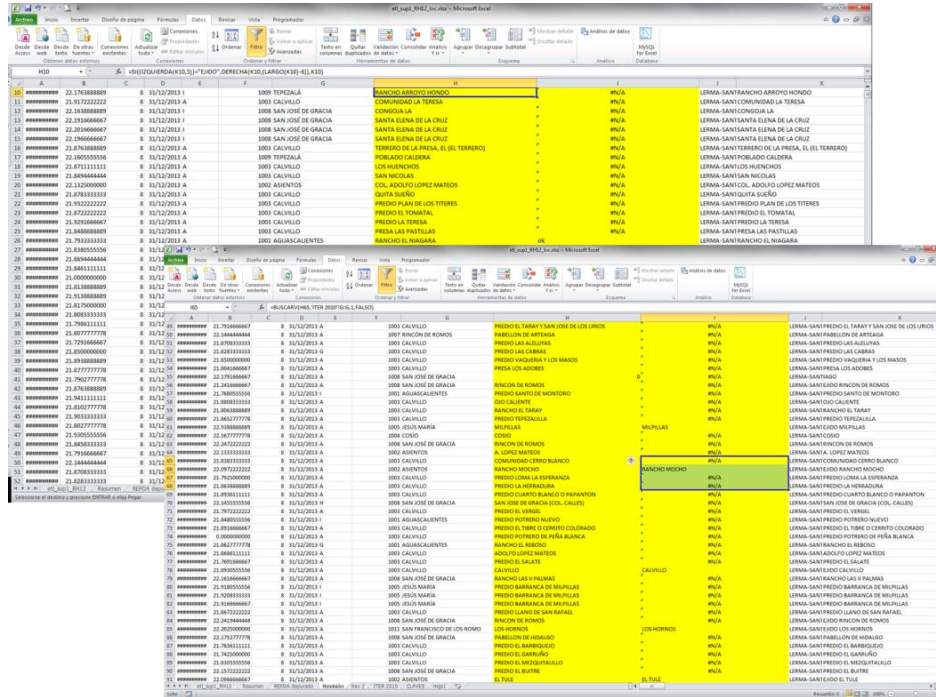


Figura 5.53. Identificación registros del REPDA en Excel

Las búsquedas se realizaron con las herramientas de Excel, utilizando filtros y fórmulas para identificar los registros correspondientes. A cada registro localizado se le asignó una clave formada por el estado, municipio y localidad correspondiente.

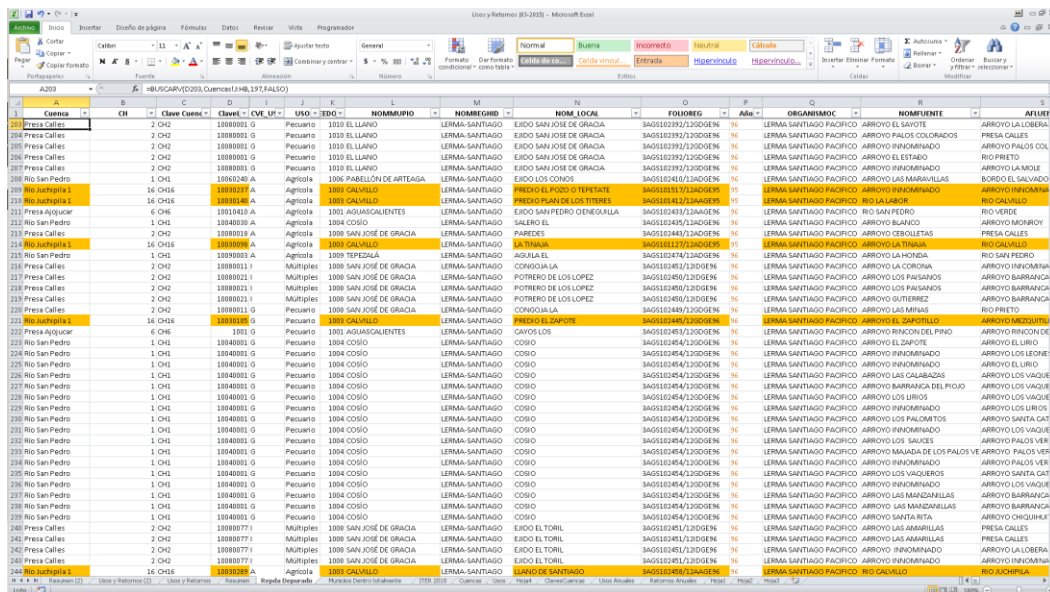


Figura 5.54. Identificación de la cuenca de cada registro

- Finalmente los registros que no se lograron ubicar con los criterios antes expuestos, se ubicaron con la información del campo de *fuer* y *afuer*. Para ello fue necesario utilizar la capa de presas, lagos y ríos que sirvió para asignarle la clave de la cuenca correspondiente.

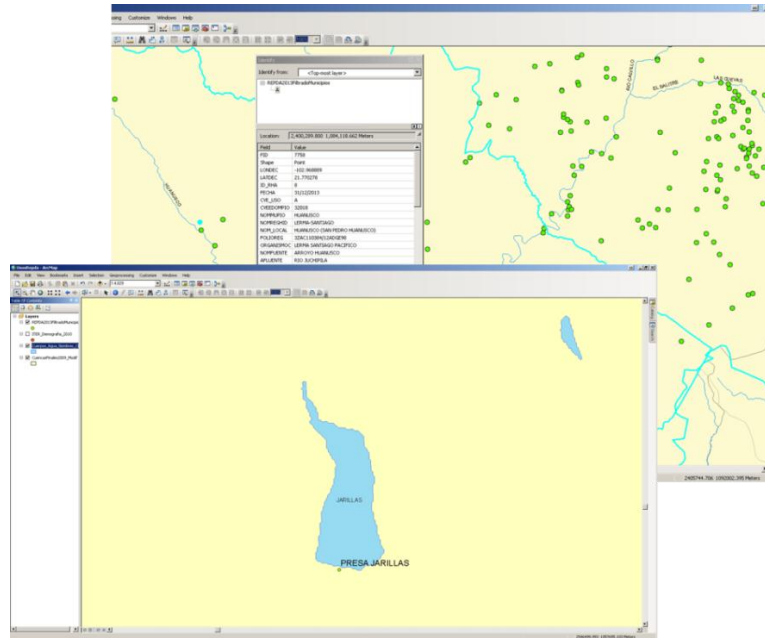


Figura 5.55. Identificación de la cuenca utilizando el Afluente y la fuente del registro REPDA

Adicionalmente se revisaron con el personal del Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico y de la CEA algunos registros puntuales con un volumen de información representativo.

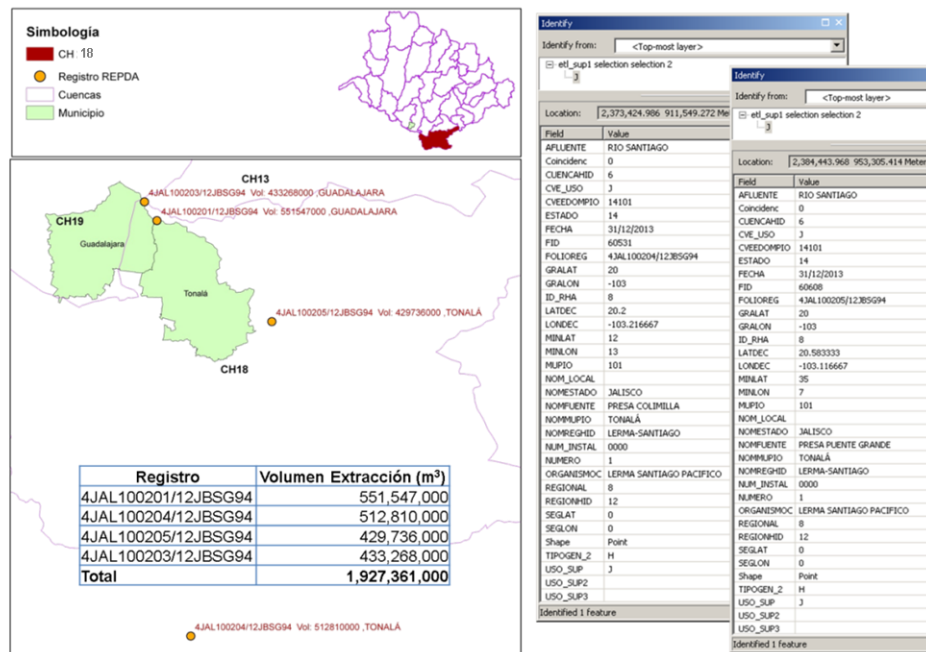


Figura 5.56. Revisión de registros puntuales, en la cuenca 18

El proceso de depuración se realizó para las 9,380 localidades identificadas dentro de los 126 municipios de la zona.

Finalmente, Oficinas Centrales de la Conagua a través de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR), proporcionó información actualizada de registros REPDA, que fue considerada para la depuración y actualización de la base de datos anual.

El resultado final del proceso fue de 7,398 registros con un volumen de usos de agua total de **21,232.39 hm<sup>3</sup>** en la subregión hidrológica del Río Santiago, de ese volumen, **298.51 hm<sup>3</sup>** están ubicados en la zona hidrológica del Río Verde.

### 5.2.2 Obtención del volumen anual de usos de agua

En el cálculo de disponibilidad *es necesario completar las series de usos de agua, es decir, conocer el valor histórico anual de los usos*, por lo que fue necesario obtener los últimos dos dígitos del folio de registro (FOLIOREG). Este folio indica el año en el que se dio de alta el uso. Con estos dígitos se identifican los volúmenes acumulados por cada año desde **1994 a 2013**, y se clasificaron por el uso. Este proceso se hizo mediante una tabla dinámica de Excel para agrupar la información agrupada.

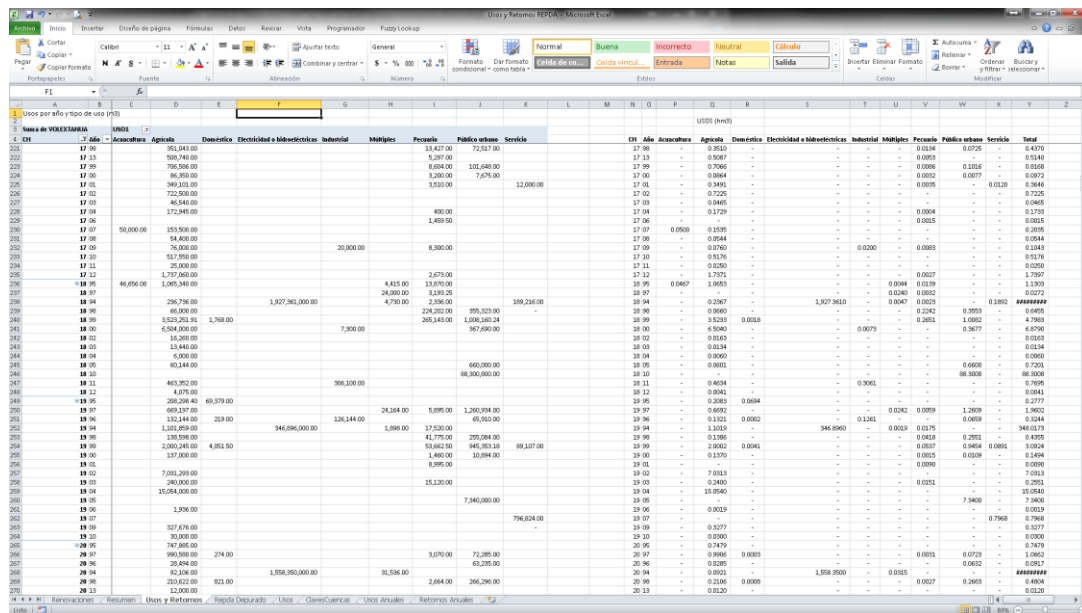


Figura 5.57. Tabla dinámica para la extracción del volumen por usos

Como se mencionó en el apartado anterior, cada registro puede tener hasta tres diferentes usos, los cuales pueden visualizarse en los campos:

- USO1 – VOLEXTANUA
- USO2 – VOLEXTANU2
- USO3 – VOLEXTANU3



Bajo este esquema, se realizaron tres tablas dinámicas que indican el año de registro y el volumen correspondiente a cada año del total de los registros por cuenca para cada uso.

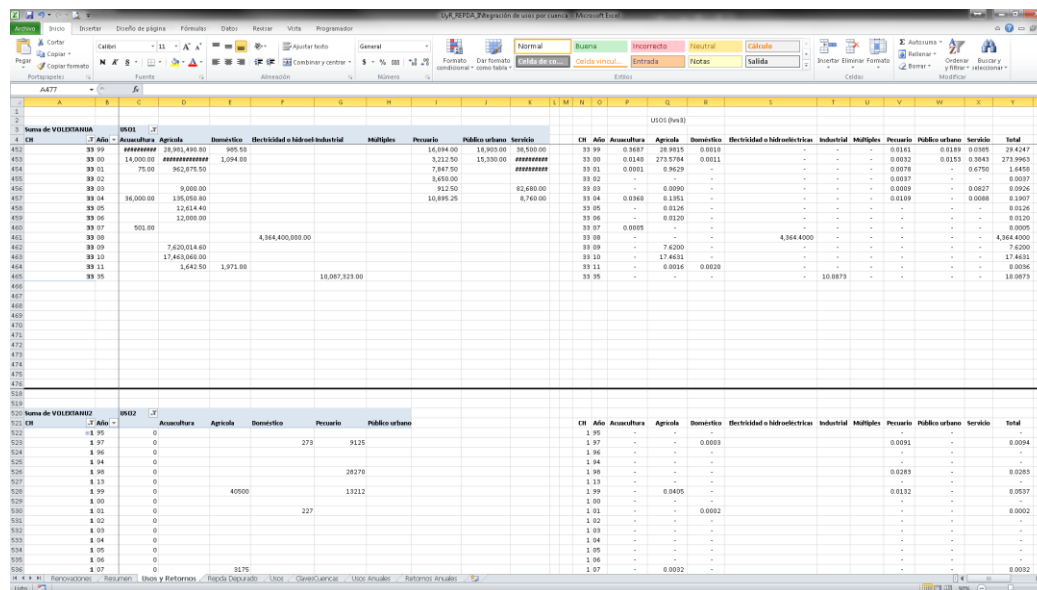


Figura 5.58. Tabla dinámica para la extracción usos

Los volúmenes de uso de agua registrados en el REPDA se pueden consultar en el Anexo 5.10. La siguiente tabla muestra el resumen de la distribución de volúmenes de agua, por uso, en la zona hidrológica del Río Verde.

Tabla 5.15. Distribución del volumen de agua para la porción de la zona hidrológica del Río Verde (hm<sup>3</sup>)

CH	Usos de agua (hm <sup>3</sup> )								
	Acuacultura	Agrícola	Doméstico	Industrial	Múltiples	Pecuario	Público urbano	Servicio	Total
1	0.010	60.73	0.07		0.07	1.12	0.04	0.01	62.06
2		3.06	0.01		0.10	0.37	0.20	0.00	3.74
3		47.84	0.01		0.38	3.30	0.01	1.89	53.43
4		24.80	0.02		0.05	0.88	0.19	0.00	25.94
5		27.81	0.00			0.28	0.67		28.76
6		13.25	0.03		0.12	0.89	0.04		14.34
7		1.17	0.02			0.04	0.03		1.26
8		25.57	0.00		0.19	0.97	0.20	0.00	26.93
9		14.96			0.30	0.05	1.20	0.27	16.78
10		3.80			0.01	0.04	0.42		4.26
11		0.64				0.06	12.15		12.85
12		23.53	0.00			0.05	0.91	0.17	24.66
13		17.89	0.01	0.03	0.03	0.13	5.42		23.50
<b>Total</b>	<b>0.01</b>	<b>265.04</b>	<b>0.18</b>	<b>0.03</b>	<b>1.25</b>	<b>8.18</b>	<b>21.48</b>	<b>2.35</b>	<b>298.51</b>

Fuente: Conagua REPDA 2013

Finalmente se obtuvo para cada cuenca el volumen anual del periodo 1994-2013 para cada una de las cuencas (Anexo 5.10).

Tabla 5.16. Volumen anual de usos REPDA (hm<sup>3</sup>)

Año/CH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1994	0.64		0.35	1.61		0.67	0.05	0.15		0.03		3.14	4.68
1995	9.38	2.80	9.34	1.97	1.72	9.36	0.10	0.17	3.13	0.18	0.55	13.59	5.12
1996	9.99	3.28	12.17	2.18	5.86	9.69	0.10	1.11	3.86	0.36	0.55	13.62	5.20
1997	10.41	3.35	13.08	2.21	6.04	10.25	0.10	2.50	5.02	0.36	0.55	13.98	5.46
1998	11.86	3.48	17.46	4.08	7.56	10.96	0.15	3.97	6.46	0.44	0.58	14.86	5.82
1999	56.22	3.61	25.58	11.18	26.89	11.78	0.98	19.21	9.39	2.02	0.86	16.99	23.33
2000	57.01	3.61	43.88	24.82	27.74	11.82	1.05	20.63	14.80	3.97	0.86	19.39	23.45
2001	57.02	3.61	43.88	25.19	27.80	11.94	1.05	20.77	15.01	4.01	0.86	19.56	23.50
2002	57.08	3.61	43.92	25.22	27.94	11.94	1.05	20.77	15.19	4.01	0.86	19.59	23.50
2003	57.43	3.61	44.01	25.22	28.13	12.24	1.20	21.65	15.19	4.07	0.86	19.59	23.50
2004	57.50	3.62	44.04	25.22	28.34	12.44	1.20	24.84	16.39	4.16	0.86	19.59	23.50
2005	57.51	3.62	44.05	25.22	28.56	12.58	1.20	24.84	16.39	4.16	0.86	19.59	23.50
2006	57.76	3.62	44.98	25.22	28.66	12.58	1.20	25.29	16.39	4.16	0.86	19.59	23.50
2007	57.98	3.62	45.00	25.22	28.66	12.67	1.20	25.50	16.51	4.26	0.86	19.59	23.50
2008	58.84	3.62	46.29	25.22	28.76	13.06	1.20	25.57	16.51	4.26	0.86	24.33	23.50
2009	59.21	3.67	47.91	25.22	28.76	13.31	1.20	25.74	16.54	4.26	0.86	24.33	23.50
2010	59.26	3.70	49.24	25.29	28.76	13.39	1.20	26.14	16.63	4.26	0.86	24.33	23.50
2011	59.35	3.71	51.84	25.29	28.76	13.62	1.20	26.26	16.69	4.26	12.85	24.33	23.50
2012	59.45	3.74	52.12	25.31	28.76	13.71	1.26	26.55	16.78	4.26	12.85	24.42	23.50
2013	62.06	3.74	53.43	25.94	28.76	14.34	1.26	26.93	16.78	4.26	12.85	24.66	23.50

\* Los valores rojos indican datos estimados

Cabe mencionar que los volúmenes registrado de 1994 a 1999 fueron muy pequeños con respecto al promedio del periodo, estos se eliminaron bajo la justificación de que en los primeros años cuando inició el REPDA no estaban todos los usuarios dados de alta.

### 5.2.3 Completado de series

Para completar la información, se solicitó a los distritos de riego 0013, 0034 y 0001 la información correspondiente a volúmenes para uso agrícola. Sin embargo, en algunos de los datos se detectó que el volumen reportado era mayor que el registrado por el REPDA por lo que se acordó, adecuarlos utilizando tendencias por regresión lineal, el detalle de cálculo se puede ver en el Anexo 5.10. En la siguiente figura se muestra un ejemplo del concentrado de estos datos.

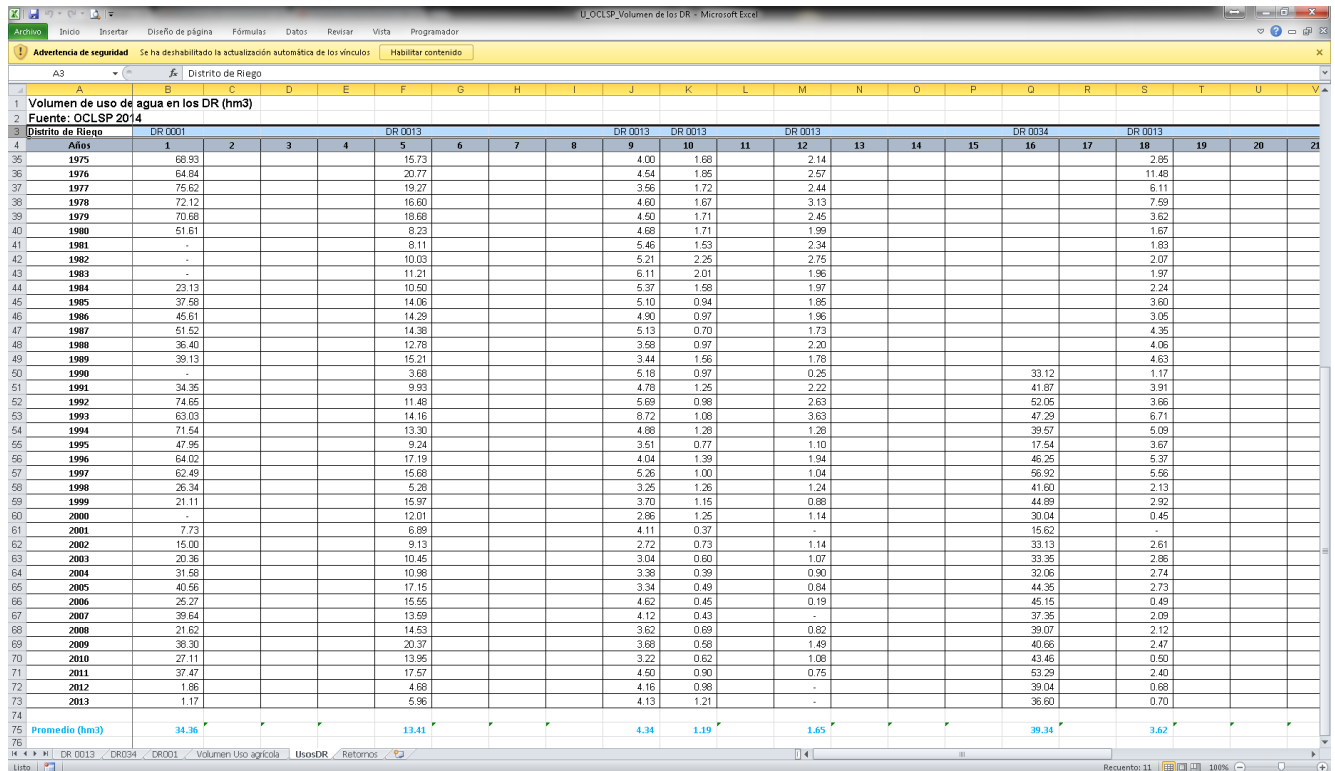


Figura 5.59. Concentrado de usos de los distritos de riego

Aprovechando la flexibilidad del Excel, se obtuvieron los retornos correspondientes a cada uno de los usos en el periodo utilizando la tabla indicada en la NOM-011-CNA-20015, que se muestra a continuación.

Tabla 5.17. Porcentajes recomendados de retornos con relación al rango de diferentes usos

Uso	% de Retorno	Rango (%)
Público Urbano	75	70 – 80
Agrícola	10*	10 – 30
Industrial	55	50 – 60
Pecuario	10*	10 – 30
Acuícola	100	95 – 100
Servicios	75	70 – 80
Generación de E. E.	100	95 – 100
Otros	30*	30
Doméstico	80	70 – 80

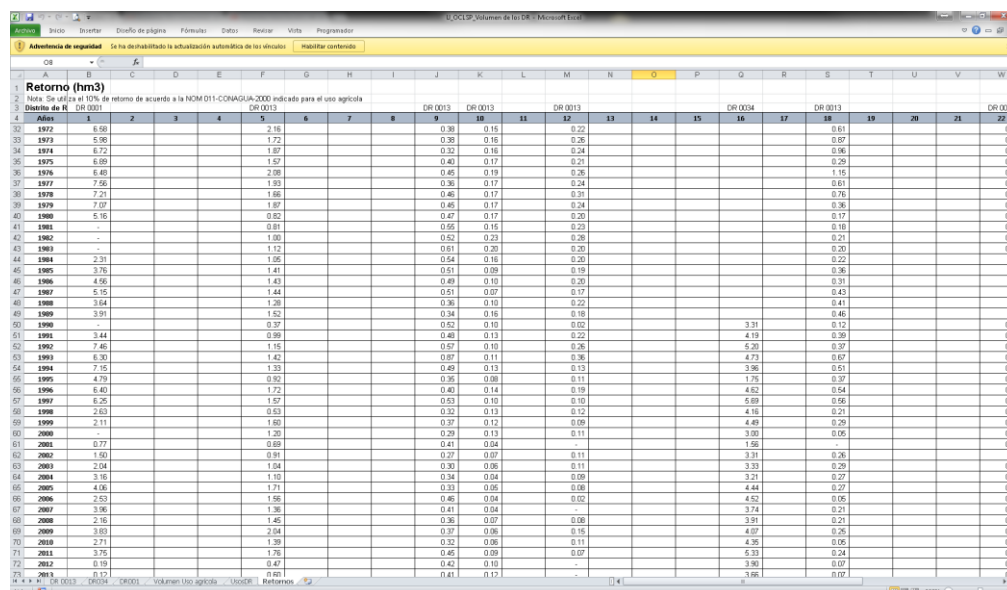
Fuente: DOF NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015  
\*definido por la CEA Jalisco

Tomando en cuenta el volumen anual de los usos registrados en el REPDA y el tipo de uso, se aplicó el porcentaje correspondiente de acuerdo a la tabla anterior. Como resultado se obtuvo el volumen acumulado para extraer la serie histórica en el periodo de 1994-2013.

Tabla 5.18. Retornos históricos correspondientes a los usos registrados en el REPDA (hm<sup>3</sup>)

Año/Clave	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1994	0.06		0.03	0.17		0.08	0.00	0.01		0.00		0.42	3.39
1995	0.94	0.28	0.93	0.20	0.17	0.95	0.02	0.02	1.02	0.02	0.06	1.49	3.44
1996	1.01	0.49	1.30	0.23	0.59	0.99	0.02	0.11	1.27	0.04	0.06	1.49	3.46
1997	1.08	0.49	1.39	0.24	0.60	1.07	0.02	0.29	1.39	0.04	0.06	1.67	3.49
1998	1.24	0.51	3.06	0.50	1.02	1.15	0.04	0.50	1.64	0.05	0.06	1.88	3.73
1999	5.69	0.52	3.87	1.26	3.13	1.25	0.13	2.09	1.96	0.48	0.19	2.37	5.88
2000	5.76	0.52	5.70	2.63	3.21	1.26	0.14	2.23	2.50	0.67	0.19	2.61	5.89
2001	5.77	0.52	5.70	2.67	3.22	1.27	0.14	2.24	2.52	0.68	0.19	2.63	5.89
2002	5.77	0.52	5.70	2.67	3.23	1.27	0.14	2.24	2.54	0.68	0.19	2.63	5.89
2003	5.81	0.52	5.71	2.67	3.25	1.30	0.15	2.33	2.54	0.68	0.19	2.63	5.89
2004	5.81	0.52	5.72	2.67	3.27	1.32	0.15	2.65	2.66	0.69	0.19	2.63	5.89
2005	5.81	0.52	5.72	2.67	3.29	1.33	0.15	2.65	2.66	0.69	0.19	2.63	5.89
2006	5.85	0.52	5.81	2.67	3.30	1.33	0.15	2.70	2.66	0.69	0.19	2.63	5.89
2007	5.89	0.52	5.81	2.67	3.30	1.34	0.15	2.72	2.67	0.70	0.19	2.63	5.89
2008	5.98	0.52	5.95	2.67	3.31	1.38	0.15	2.72	2.67	0.70	0.19	3.13	5.89
2009	6.02	0.53	6.11	2.67	3.31	1.41	0.15	2.74	2.67	0.70	0.19	3.13	5.89
2010	6.03	0.53	6.24	2.68	3.31	1.41	0.15	2.78	2.68	0.70	0.19	3.13	5.89
2011	6.04	0.53	6.50	2.68	3.31	1.44	0.15	2.79	2.68	0.70	9.18	3.13	5.89
2012	6.05	0.53	6.53	2.68	3.31	1.45	0.16	2.82	2.69	0.70	9.18	3.14	5.89
2013	6.32	0.53	6.66	2.75	3.31	1.51	0.16	2.86	2.69	0.70	9.18	3.17	5.89

En el caso del retorno correspondiente a la información de los Distritos de Riego, al ser de uso agrícola se le aplicó el 10 %.



The screenshot shows an Excel spreadsheet with a table titled 'Retorno (hm3)'. The table has columns for years from 1992 to 2013 and rows for various irrigation districts. The data is organized into groups by year, with each year having a header row and a data row. The values represent the return in hm³ for each district in each year.

Figura 5.60. Concentrado de retornos de los distritos de riego

De igual forma que los usos del periodo del REPDA, se realizó una tendencia lineal para complementar el periodo de datos faltantes tanto de usos como retornos. Cabe mencionar que cada tendencia se generó de acuerdo a los datos registrados en el REPDA y en su caso a los medidos en los Distritos de Riego (Anexo 5.10). La figura siguiente muestra un ejemplo en Excel de los datos complementados.

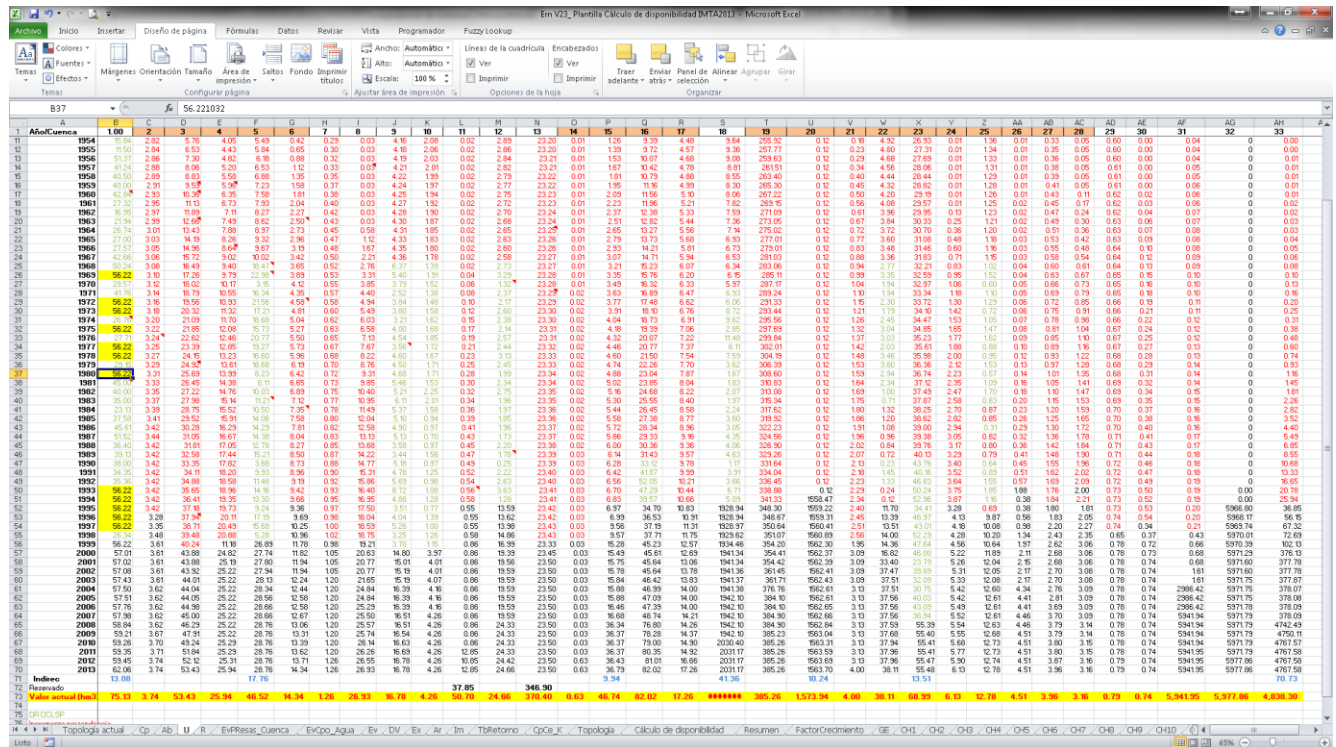


Figura 5.61. Completado de usos en el periodo 1945-2013

### 5.3 Integración de series de tiempo

En este apartado se muestran las series de tiempo integradas para cada una de las variables utilizadas en el cálculo de la disponibilidad de agua superficial.

#### 5.3.1 Cuenca Propia

Como se mencionó en apartados anteriores, la obtención de los valores de la variable Cp se realizó utilizando hidrometría, en agrupación de cuencas y por el método indirecto (coeficiente de escurrimiento). En la tabla siguiente se muestra parcialmente los datos obtenidos para esta variable.

El detalle del cálculo se puede ver en el Anexo 5.9.

Tabla 5.19. Volumen de cuenca propia para la porción de la zona hidrológica del Río Verde (hm<sup>3</sup>)

Año/CH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1945	39.10	14.79	37.25	14.54	64.17	16.68	25.03	92.97	29.01	54.27	37.84	109.60	65.27
1946	30.15	14.45	30.90	17.32	58.27	11.52	32.14	139.54	45.89	78.96	72.50	165.35	93.52
1947	51.48	28.82	41.88	34.46	106.68	15.83	30.00	123.23	29.35	62.53	54.47	101.73	98.94
1948	56.42	26.68	45.71	31.65	143.98	18.28	34.95	130.20	37.95	101.52	75.37	165.12	162.86
1949	33.62	18.48	36.35	8.85	71.88	9.80	17.96	72.08	18.52	76.19	49.55	67.85	159.41
1950	34.21	21.42	33.28	24.98	73.12	11.87	25.80	82.62	22.80	66.08	35.62	100.39	119.42
1951	45.07	16.39	34.57	14.14	65.23	15.65	25.30	88.00	29.54	64.32	42.94	103.30	164.97
1952	28.12	15.07	29.24	22.87	105.55	14.91	31.72	106.13	38.08	94.59	64.94	109.66	226.77
1953	49.05	11.83	39.82	37.72	121.19	16.21	23.33	77.46	26.53	91.11	49.67	99.17	240.46
1954	34.15	12.90	40.47	11.38	42.66	16.23	19.58	68.10	19.42	44.47	35.22	39.36	198.73
1955	64.94	42.10	73.80	74.30	193.07	25.14	47.63	158.56	47.35	131.13	103.24	186.49	450.79
1956	53.21	30.30	45.86	29.99	80.32	18.18	22.65	89.05	23.22	63.04	58.83	106.84	334.76
1957	35.00	16.73	34.79	20.45	25.19	16.45	17.28	62.22	26.80	33.75	25.79	59.64	125.21
1958	113.01	88.41	116.45	118.96	420.44	36.96	72.99	263.53	50.93	175.91	134.59	235.17	472.40
1959	36.04	23.04	32.52	49.49	93.98	22.84	28.33	111.52	54.29	62.25	44.36	81.39	370.85
1960	28.35	3.74	28.70	18.53	37.18	30.71	22.75	79.97	52.26	32.61	27.12	51.61	146.10
1961	25.49	11.90	27.87	17.56	43.82	9.94	22.01	65.37	22.36	49.35	52.99	110.75	202.12
1962	45.27	22.99	32.08	17.70	101.66	12.70	38.34	85.05	13.91	53.62	49.92	92.85	150.54
1963	34.77	22.98	31.26	19.27	138.09	16.83	59.06	154.39	44.15	128.55	117.02	283.24	200.69
1964	63.87	17.85	55.82	40.63	100.45	18.76	19.88	69.67	19.18	52.79	34.86	69.89	165.14
1965	44.74	18.25	48.48	94.76	335.68	44.82	63.35	150.33	61.10	176.83	126.61	235.60	349.69
1966	49.26	60.08	44.90	81.80	108.07	41.06	29.82	110.54	34.15	57.71	53.77	116.70	198.48
1967	85.28	95.11	95.33	159.07	292.66	93.62	79.02	315.93	137.52	200.16	178.01	408.23	478.82
1968	39.48	60.51	30.13	27.86	89.90	54.91	34.31	103.79	39.09	90.39	81.50	138.35	268.40
1969	13.28	3.46	14.89	16.04	36.21	88.70	15.69	34.11	10.11	21.41	18.76	36.95	145.96
1970	48.40	57.15	48.93	33.24	202.77	8.79	58.83	177.94	55.77	102.12	79.46	204.22	174.35
1971	95.95	114.63	73.34	169.19	394.27	95.30	57.46	180.44	62.84	118.67	84.52	208.82	216.76
1972	44.92	37.72	51.02	38.94	55.66	26.14	12.91	53.71	13.97	30.82	23.29	51.65	145.11
1973	64.61	122.77	79.78	261.27	257.34	118.45	106.43	364.31	96.52	218.43	173.44	375.22	490.97
1974	40.35	23.75	35.95	29.25	80.47	16.02	20.71	57.48	16.08	38.27	31.82	73.14	181.30
1975	30.26	44.18	27.31	98.10	156.27	67.44	50.78	157.17	47.42	99.22	86.44	171.25	291.52
1976	105.83	140.62	86.58	232.40	369.92	72.90	51.29	152.95	61.75	140.19	100.72	194.01	339.12
1977	18.50	11.00	19.27	32.98	116.04	78.91	30.47	90.36	32.78	87.10	65.78	123.37	267.32
1978	44.05	72.12	48.00	37.51	91.95	43.24	22.75	84.22	26.08	51.68	44.06	100.77	202.07
1979	30.89	97.97	32.35	34.46	45.14	10.86	9.82	37.10	10.36	28.39	19.41	45.95	97.71
1980	29.18	48.87	38.55	24.24	42.37	42.53	19.64	64.89	17.94	47.27	40.69	73.78	114.86

Año/CH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1981	45.24	12.76	37.19	24.02	48.66	19.38	19.12	60.60	21.99	40.54	41.65	78.29	190.55
1982	39.14	14.26	39.41	25.49	26.43	33.26	18.61	61.12	24.66	40.53	28.98	79.63	82.83
1983	73.59	20.17	67.19	22.21	110.15	42.03	48.66	156.60	67.72	143.81	116.21	269.73	221.15
1984	39.18	24.86	35.92	40.63	71.00	36.79	45.62	159.13	57.83	140.10	138.46	235.91	218.75
1985	39.10	56.06	34.53	54.32	46.22	20.15	49.77	174.89	54.10	111.37	94.47	189.23	189.74
1986	48.92	72.48	56.70	79.38	54.48	47.31	51.39	159.09	57.19	119.21	87.44	202.58	104.03
1987	43.82	39.66	31.63	37.06	11.22	38.89	25.65	73.30	18.06	37.11	27.03	63.49	129.55
1988	51.09	38.39	49.13	60.53	173.51	38.76	29.88	128.41	45.62	107.23	32.19	139.44	203.10
1989	45.30	1.75	36.08	16.79	74.67	11.20	46.89	138.31	40.55	112.02	78.32	166.36	98.19
1990	93.24	27.11	93.98	33.34	198.28	9.06	28.55	117.45	58.51	102.66	76.37	197.16	187.66
1991	199.49	197.67	180.67	175.29	447.93	8.99	55.44	261.46	91.48	149.06	98.39	220.02	359.06
1992	54.67	77.92	59.01	36.63	179.77	35.49	52.20	214.51	72.38	59.06	69.36	231.04	248.43
1993	50.71	9.61	39.01	39.56	95.44	17.93	15.85	54.27	24.32	44.94	32.44	76.90	219.89
1994	57.78	4.54	38.98	38.29	63.24	9.57	15.79	51.46	18.19	31.66	25.93	55.91	177.66
1995	61.18	67.95	52.52	35.91	89.64	36.83	23.21	88.61	33.31	60.84	48.38	123.73	75.75
1996	47.90	45.98	42.51	39.95	65.27	20.66	20.35	75.49	26.38	59.43	42.68	95.93	105.76
1997	39.95	5.05	42.50	20.67	33.71	9.01	14.93	54.29	17.85	39.49	29.05	82.85	66.13
1998	47.02	13.62	45.34	80.77	153.50	7.53	13.74	50.91	13.60	39.09	31.17	59.77	137.22
1999	55.88	21.55	62.82	7.50	50.61	30.61	13.97	55.56	20.41	51.38	35.71	84.88	118.50
2000	70.63	25.93	54.02	42.40	30.78	24.74	11.12	39.98	11.99	26.76	20.34	40.66	98.03
2001	52.50	22.24	75.69	44.52	84.94	100.90	12.87	47.98	22.51	32.26	20.13	100.99	88.49
2002	79.54	36.38	62.24	135.94	137.09	105.34	22.51	103.17	28.06	33.04	36.25	111.81	104.76
2003	82.91	58.66	72.78	173.65	385.83	42.68	43.56	158.72	37.64	58.97	59.17	148.32	196.43
2004	85.55	85.91	59.49	127.18	358.97	45.68	54.60	144.16	37.21	118.19	62.88	142.72	268.41
2005	41.27	20.64	41.41	55.55	38.43	17.69	18.19	54.82	17.23	43.86	33.11	65.41	126.45
2006	66.21	32.51	68.64	48.48	80.43	42.00	17.07	75.75	15.72	39.32	26.78	48.73	104.20
2007	70.08	51.01	72.75	79.58	129.16	67.84	33.22	136.94	36.21	77.14	50.29	134.74	161.98
2008	83.59	68.05	82.33	134.30	491.26	269.38	25.89	208.15	49.99	49.07	38.43	189.59	208.03
2009	53.09	16.74	52.12	47.80	70.94	56.11	10.69	45.60	10.20	27.52	23.32	61.75	115.55
2010	65.91	15.70	72.67	61.46	68.90	67.57	31.30	119.08	35.52	65.83	54.03	144.61	146.86
2011	49.26	3.78	55.72	25.79	152.57	11.09	24.24	123.24	28.85	41.18	38.07	132.78	41.88
2012	87.71	27.43	85.25	88.29	59.66	28.12	9.69	56.15	12.95	22.45	20.75	56.01	20.76
2013	116.70	33.15	109.75	113.99	207.30	45.97	40.11	140.29	45.23	93.82	72.22	162.07	147.50
Promedio (hm <sup>3</sup> )	55.43	39.40	52.66	58.60	131.18	38.51	32.24	113.69	36.64	76.01	58.91	131.75	189.49

Método indirecto (coeficiente de escurrimiento), Calculado con la ecuación de continuidad (agrupación de cuencas)

### 5.3.2 Aguas Arriba

El escurrimiento desde aguas arriba: es el volumen medio anual de agua que en forma natural proviene de una cuenca hidrológica ubicada aguas arriba de la cuenca o subcuenca en análisis.

En general, para la determinación del escurrimiento disponible, se pueden definir tres tipos de cuencas: las primeras están ubicadas en el extremo aguas arriba, a veces son conocidas como cuencas de cabecera; el segundo tipo de cuencas corresponde a las que se localizan en zonas intermedias que reciben un volumen de aportación desde la parte alta y transfieren otro volumen hacia aguas abajo; el tercer tipo corresponde a las cuencas ubicadas en el extremo aguas abajo que vierten directamente al mar. En función de lo anterior, se puede señalar que las cuencas altas no tienen ingreso desde aguas arriba (Ar), es decir el valor de Ar en el balance es cero. En los demás casos, pueden existir aportaciones por una o más cuencas que confluyen hacia otra y la suma de sus escurrimientos aguas abajo (Ab) de las cuencas aportadoras resulta el escurrimiento aguas arriba (Ar) de la cuenca en estudio. La figura presentada a continuación muestra un diagrama de interconexión de cuencas en donde se pueden distinguir los tres tipos de cuencas descritos.

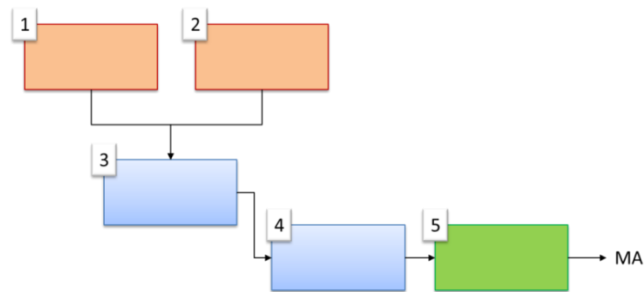


Figura 5.62. Interconexión de cuencas

Los cuadros anaranjados representan las cuencas cabecera, los azules las cuencas intermedias y la verde la cuenca que vierte al mar. En este ejemplo, las cuencas 1 y 2 al ser cuencas altas no tienen ingreso desde aguas arriba, por lo que el volumen es igual a cero. Para el caso de la cuenca 3, el volumen de aguas arriba es el equivalente al que escurre de la cuenca 1 y 2. La siguiente tabla muestra los volúmenes aguas arriba de cada una de las cuencas que componen la zona hidrológica del Río Verde, obtenidos considerando lo antes descrito.

Tabla 5.20. Volumen de aguas arriba para la porción de la zona hidrológica del Río Verde (hm<sup>3</sup>)

Año/CH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1945	31.04		37.21		13.21	70.98			187.10			348.53	451.95
1946	22.65		27.20		15.66	54.79			219.79			451.76	610.87
1947	4.99		20.85		32.41	59.99			210.58			459.10	554.44
1948	31.79		41.64		29.29	84.19			249.67			598.83	757.54
1949	33.01		29.43		5.11	61.37			142.06			326.31	388.01
1950	14.82		29.24		7.93	57.88			157.37			319.72	413.24
1951	15.51		30.60		13.77	59.67			167.71			340.96	437.66
1952	24.25		23.08		9.13	45.97			177.77			445.91	548.99
1953	6.67		33.99		16.75	66.64			163.25			425.88	518.66
1954	14.09		28.13		21.96	61.10			146.25			269.35	302.67
1955	10.76		31.44		52.08	96.88			308.56			792.53	973.12



Año/CH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1956	51.68		38.04		23.02	75.00			185.39			391.52	492.60
1957	41.18		31.87		21.22	56.83			131.11			218.32	271.58
1958	7.42		43.43		94.23	148.84			503.82			1341.10	1570.24
1959	40.73		25.02		43.62	45.79			190.61			451.84	527.71
1960	48.60		21.93		23.59	37.53			150.06			279.91	325.35
1961	26.67		21.85		13.53	36.36			114.36			253.82	358.30
1962	16.02		37.46		6.88	55.05			169.67			350.53	437.50
1963	19.52		24.07		10.14	39.71			249.45			644.81	922.08
1964	25.27		56.06		11.32	85.53			171.96			346.67	410.20
1965	8.93		5.59		82.92	32.36			270.46			1011.12	1241.03
1966	25.54		21.97		71.21	47.06			207.97			491.50	602.29
1967	40.62		45.20		145.11	119.05			586.65			1496.84	1899.26
1968	46.85		12.40		20.34	21.33			192.40			460.52	593.08
1969	80.19		9.09		22.81	3.99			118.00			165.71	195.76
1970	34.03		25.87		4.49	48.12			268.83			673.68	872.97
1971	45.18		44.75		150.32	94.11			401.55			1163.04	1366.08
1972	71.91		44.88		24.68	72.01			137.13			228.75	274.67
1973	75.69		45.13		246.80	98.40			660.48			1600.85	1969.91
1974	77.39		82.21		21.33	93.49			159.92			297.12	364.51
1975	72.82		30.90		79.23	31.95			279.62			699.03	864.46
1976	72.84		121.37		212.76	179.14			428.62			1260.32	1448.45
1977	82.62		18.32		20.97	10.48			181.68			452.31	570.02
1978	79.69		43.36		21.08	63.64			183.79			367.71	462.14
1979	77.41		78.25		18.23	83.52			109.10			176.92	216.73
1980	57.60		3.58		7.20	11.22			105.70			217.22	285.57
1981	5.73		4.92		6.90	14.78			81.80			197.96	270.89
1982	3.84		3.15		7.65	13.92			92.06			170.36	243.92
1983	0.57		10.55		4.17	41.60			254.81			647.96	912.58
1984	16.15		25.25		22.46	29.75			236.95			620.77	851.78
1985	58.75		38.05		35.88	38.53			249.15			542.99	727.35
1986	51.01		39.48		60.54	63.22			286.68			617.06	814.68
1987	66.05		31.22		17.54	29.68			132.81			193.33	251.97
1988	42.05		40.95		41.04	54.91			216.79			569.67	703.79
1989	54.70		32.75		0.00	32.34			191.97			445.57	606.58
1990	2.94		21.80		14.75	80.30			199.82			612.61	806.18
1991	35.36		184.80		154.62	328.33			617.61			1509.00	1723.02
1992	70.88		74.76		17.38	97.20			364.20			720.47	946.12
1993	59.66		40.46		18.36	41.57			91.16			255.46	325.68
1994	69.46		44.67		16.78	45.28			82.75			191.49	243.09
1995	42.08		32.56		10.97	35.82			145.10			346.21	454.58
1996	70.16		34.40		17.05	39.02			113.64			273.81	352.93
1997	64.49		33.68		14.23	42.40			78.51			161.17	227.96
1998	32.35		35.24		39.92	39.91			68.46			303.49	344.68
1999	26.88		11.38		10.42	29.03			81.34			188.86	254.59
2000	4.48		19.13		23.48	24.96			52.82			96.11	119.01
2001	16.91		7.59		13.68	34.73			150.03			252.64	330.23
2002	14.77		22.93		93.32	36.51			221.40			479.34	571.23
2003	17.56		27.58		147.75	52.08			250.71			870.65	996.85

Año/CH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2004	31.78		34.18		101.77	42.41			239.16			848.60	969.73
2005	40.62		23.47		39.03	20.37			62.33			162.03	208.49
2006	27.71		32.36		13.04	51.23			137.26			240.09	268.18
2007	35.77		39.33		54.57	61.95			250.67			527.87	639.37
2008	25.19		34.78		105.60	59.95			513.20			1176.26	1340.77
2009	42.97		39.31		21.05	42.97			105.17			186.68	222.22
2010	30.98		33.28		40.05	57.98			225.71			412.71	533.50
2011	39.33		31.72		15.23	37.21			144.12			337.99	447.99
2012	22.08		36.67		55.28	65.19			107.12			200.79	229.77
2013	30.69		71.77		84.69	125.32			299.57			723.68	859.93
<b>Prom. (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>37.54</b>		<b>35.65</b>		<b>42.52</b>	<b>59.72</b>			<b>212.08</b>			<b>505.85</b>	<b>627.53</b>

### 5.3.3 Usos de agua y Retornos

Cómo ya se mencionó en el apartado de “Clasificación y Análisis de Padrón de Usuarios”, los usos de agua están registrados en un padrón de usuarios denominado REPDA (Registro Público de los Derechos del Agua). En este padrón se tienen registrados los usuarios y están clasificados por tipo de uso, volumen concesionado y ubicación del usuario entre otros. La serie de datos se completó con información de los distritos de riego ajustados por regresión lineal.

En la siguiente figura se puede observar que los valores marcados en amarillo son datos que se ajustaron con respecto al valor del primer registro del REPDA porque se observó que esos valores estaban subestimados o sobreestimados cuando se realizó el balance hídrico (Anexo 5.9).

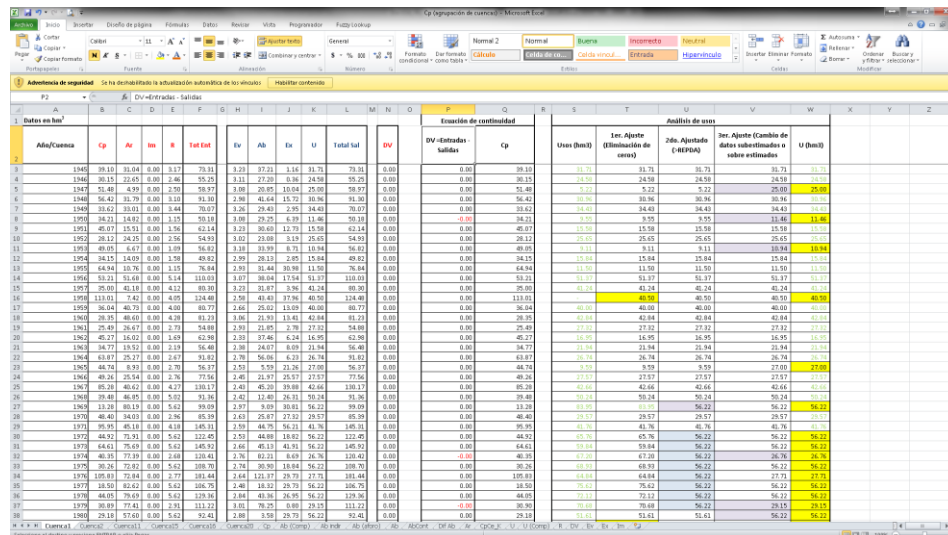


Figura 5.63. Análisis de volúmenes de usos y retornos

Los retornos se calcularon tomando los valores de la tabla de porcentaje de retornos, antes mencionada en el caso de los datos de los distritos de riego, el retorno es igual al uso agrícola. Las tablas mostradas a continuación presentan los volúmenes anuales de usos y retornos de cada una de las cuencas que componen la zona hidrológica del Río Verde.

Tabla 5.21. Volumen anual de usos en la porción de la zona hidrológica del Río Verde (hm<sup>3</sup>)

Año/Cuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1945	31.71	2.65	0.40	0.61	2.35	0.19	0.14	0.03	4.02	2.29	0.02	3.10	23.15
1946	24.58	2.67	0.40	0.99	2.70	0.19	0.15	0.03	4.04	2.26	0.02	3.08	23.15
1947	25.00	2.69	0.40	1.37	3.05	0.19	0.17	0.03	4.05	2.24	0.02	3.05	23.16
1948	30.96	2.71	1.17	1.76	3.40	0.19	0.19	0.03	4.07	2.22	0.02	3.03	23.16
1949	34.43	2.72	1.93	2.14	3.75	0.19	0.20	0.03	4.09	2.20	0.02	3.01	23.17
1950	11.46	2.74	2.70	2.52	4.09	0.19	0.22	0.03	4.10	2.17	0.02	2.98	23.17
1951	15.58	2.76	3.47	2.90	4.44	0.19	0.24	0.03	4.12	2.15	0.02	2.96	23.18
1952	25.65	2.78	4.23	3.29	4.79	0.19	0.25	0.03	4.13	2.13	0.02	2.94	23.19
1953	10.94	2.80	5.00	3.67	5.14	0.19	0.27	0.03	4.15	2.10	0.02	2.91	23.19
1954	15.84	2.82	5.76	4.05	5.49	0.42	0.29	0.03	4.16	2.08	0.02	2.89	23.20
1955	11.50	2.84	6.53	4.43	5.84	0.65	0.30	0.03	4.18	2.06	0.02	2.86	23.20
1956	51.37	2.86	7.30	4.82	6.18	0.88	0.32	0.03	4.19	2.03	0.02	2.84	23.21
1957	41.24	2.88	8.06	5.20	6.53	1.12	0.33	0.03	4.21	2.01	0.02	2.82	23.21
1958	40.50	2.89	8.83	5.58	6.88	1.35	0.35	0.03	4.22	1.99	0.02	2.79	23.22
1959	40.00	2.91	9.59	5.96	7.23	1.58	0.37	0.03	4.24	1.97	0.02	2.77	23.22
1960	42.84	2.93	10.36	6.35	7.58	1.81	0.38	0.03	4.25	1.94	0.02	2.75	23.23
1961	27.32	2.95	11.13	6.73	7.93	2.04	0.40	0.03	4.27	1.92	0.02	2.72	23.23
1962	16.95	2.97	11.89	7.11	8.27	2.27	0.42	0.03	4.28	1.90	0.02	2.70	23.24
1963	21.94	2.99	12.66	7.49	8.62	2.50	0.43	0.03	4.30	1.87	0.02	2.68	23.24
1964	26.74	3.01	13.43	7.88	8.97	2.73	0.45	0.58	4.31	1.85	0.02	2.65	23.25
1965	27.00	3.03	14.19	8.26	9.32	2.96	0.47	1.12	4.33	1.83	0.02	2.63	23.26
1966	27.57	3.05	14.96	8.64	9.67	3.19	0.48	1.67	4.35	1.80	0.02	2.60	23.26
1967	42.66	3.06	15.72	9.02	10.02	3.42	0.50	2.21	4.36	1.78	0.02	2.58	23.27
1968	50.24	3.08	16.49	9.40	18.47	3.65	0.52	2.76	6.37	1.39	0.02	2.73	23.27
1969	56.22	3.10	17.26	9.79	22.98	3.89	0.53	3.31	5.40	1.91	0.04	3.29	23.28
1970	29.57	3.12	18.02	10.17	3.15	4.12	0.55	3.85	3.79	1.52	0.06	1.32	23.28
1971	41.76	3.14	18.79	10.55	16.34	4.35	0.57	4.40	2.52	1.38	0.08	2.37	23.29
1972	56.22	3.16	19.56	10.93	21.56	4.58	0.58	4.94	3.84	1.48	0.10	2.17	23.29
1973	56.22	3.18	20.32	11.32	17.21	4.81	0.60	5.49	3.80	1.58	0.12	2.60	23.30
1974	26.76	3.20	21.09	11.70	18.68	5.04	0.62	6.03	3.21	1.62	0.15	2.38	23.30

Año/Cuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1975	56.22	3.22	21.85	12.08	15.73	5.27	0.63	6.58	4.00	1.68	0.17	2.14	23.31
1976	27.71	3.24	22.62	12.46	20.77	5.50	0.65	7.13	4.54	1.85	0.19	2.57	23.31
1977	56.22	3.25	23.39	12.85	19.27	5.73	0.67	7.67	3.56	1.72	0.21	2.44	23.32
1978	56.22	3.27	24.15	13.23	16.60	5.96	0.68	8.22	4.60	1.67	0.23	3.13	23.33
1979	29.15	3.29	24.92	13.61	18.68	6.19	0.70	8.76	4.50	1.71	0.25	2.45	23.33
1980	56.22	3.31	25.69	13.99	8.23	6.42	0.72	9.31	4.68	1.71	0.28	1.99	23.34
1981	45.00	3.33	26.45	14.38	8.11	6.65	0.73	9.85	5.46	1.53	0.30	2.34	23.34
1982	40.00	3.35	27.22	14.76	10.03	6.89	0.75	10.40	5.21	2.25	0.32	2.75	23.35
1983	35.00	3.37	27.98	15.14	11.21	7.12	0.77	10.95	6.11	2.01	0.34	1.96	23.35
1984	23.13	3.39	28.75	15.52	10.50	7.35	0.78	11.49	5.37	1.58	0.36	1.97	23.36
1985	37.58	3.41	29.52	15.91	14.06	7.58	0.80	12.04	5.10	0.94	0.39	1.85	23.36
1986	45.61	3.42	30.28	16.29	14.29	7.81	0.82	12.58	4.90	0.97	0.41	1.96	23.37
1987	51.52	3.44	31.05	16.67	14.38	8.04	0.83	13.13	5.13	0.70	0.43	1.73	23.37
1988	36.40	3.42	31.81	17.05	12.78	8.27	0.85	13.68	3.58	0.97	0.45	2.20	23.38
1989	39.13	3.42	32.58	17.44	15.21	8.50	0.87	14.22	3.44	1.56	0.47	1.78	23.39
1990	38.00	3.42	33.35	17.82	3.68	8.73	0.88	14.77	5.18	0.97	0.49	0.25	23.39
1991	34.35	3.42	34.11	18.20	9.93	8.96	0.90	15.31	4.78	1.25	0.52	2.22	23.40
1992	35.36	3.42	34.88	18.58	11.48	9.19	0.92	15.86	5.69	0.98	0.54	2.63	23.40
1993	56.22	3.42	35.65	18.96	14.16	9.42	0.93	16.40	8.72	1.08	0.56	3.63	23.41
1994	56.22	3.42	36.41	19.35	13.30	9.66	0.95	16.95	4.88	1.28	0.58	1.28	23.41
1995	56.22	3.42	37.18	19.73	9.24	9.36	0.97	17.50	3.51	0.77	0.55	13.59	23.42
1996	56.22	3.28	37.94	20.11	17.19	9.69	0.98	18.04	4.04	1.39	0.55	13.62	23.42
1997	56.22	3.35	38.71	20.49	15.68	10.25	1.00	18.59	5.26	1.00	0.55	13.98	23.43
1998	26.34	3.48	39.48	20.88	5.28	10.96	1.02	18.75	3.25	1.26	0.58	14.86	23.43
1999	56.22	3.61	40.24	11.18	26.89	11.78	0.98	19.21	3.70	1.15	0.86	16.99	23.33
2000	57.01	3.61	43.88	24.82	27.74	11.82	1.05	20.63	14.80	3.97	0.86	19.39	23.45
2001	57.02	3.61	43.88	25.19	27.80	11.94	1.05	20.77	15.01	4.01	0.86	19.56	23.50
2002	57.08	3.61	43.92	25.22	27.94	11.94	1.05	20.77	15.19	4.01	0.86	19.59	23.50
2003	57.43	3.61	44.01	25.22	28.13	12.24	1.20	21.65	15.19	4.07	0.86	19.59	23.50
2004	57.50	3.62	44.04	25.22	28.34	12.44	1.20	24.84	16.39	4.16	0.86	19.59	23.50
2005	57.51	3.62	44.05	25.22	28.56	12.58	1.20	24.84	16.39	4.16	0.86	19.59	23.50

Año/Cuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2006	57.76	3.62	44.98	25.22	28.66	12.58	1.20	25.29	16.39	4.16	0.86	19.59	23.50
2007	57.98	3.62	45.00	25.22	28.66	12.67	1.20	25.50	16.51	4.26	0.86	19.59	23.50
2008	58.84	3.62	46.29	25.22	28.76	13.06	1.20	25.57	16.51	4.26	0.86	24.33	23.50
2009	59.21	3.67	47.91	25.22	28.76	13.31	1.20	25.74	16.54	4.26	0.86	24.33	23.50
2010	59.26	3.70	49.24	25.29	28.76	13.39	1.20	26.14	16.63	4.26	0.86	24.33	23.50
2011	59.35	3.71	51.84	25.29	28.76	13.62	1.20	26.26	16.69	4.26	12.85	24.33	23.50
2012	59.45	3.74	52.12	25.31	28.76	13.71	1.26	26.55	16.78	4.26	12.85	24.42	23.50
2013	62.06	3.74	53.43	25.94	28.76	14.34	1.26	26.93	16.78	4.26	12.85	24.66	23.50
Indirectos	13.08				17.76								
Reservado											37.85		346.90
Valor actual(hm <sup>3</sup> )	75.13	3.74	53.43	25.94	46.52	14.34	1.26	26.93	16.78	4.26	50.70	24.66	370.40

OCLSP. Información de distritos de riego, promedio, regresión lineal, valores ajustados, Datos obtenidos en el Estudio IMTA 2009

Tabla 5.22. Volumen anual de retornos en la porción de la zona hidrológica del Río Verde (hm<sup>3</sup>)

Año/Cuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1945	3.17	0.41	1.24	0.23	4.44	0.02	0.04	0.01	0.07	0.04	0.00	0.39	5.86
1946	2.46	0.41	1.31	0.27	4.40	0.02	0.05	0.01	0.08	0.04	0.00	0.38	5.86
1947	2.50	0.41	1.39	0.30	4.36	0.02	0.05	0.01	0.08	0.04	0.00	0.38	5.86
1948	3.10	0.41	1.47	0.34	4.31	0.02	0.05	0.01	0.08	0.04	0.00	0.37	5.86
1949	3.44	0.41	1.55	0.38	4.27	0.02	0.05	0.01	0.09	0.04	0.00	0.36	5.86
1950	1.15	0.42	1.62	0.42	4.22	0.02	0.05	0.01	0.09	0.05	0.00	0.36	5.86
1951	1.56	0.42	1.70	0.46	4.18	0.02	0.06	0.01	0.10	0.05	0.00	0.35	5.86
1952	2.56	0.42	1.78	0.50	4.14	0.02	0.06	0.01	0.10	0.05	0.00	0.34	5.86
1953	1.09	0.42	1.85	0.54	4.09	0.02	0.06	0.01	0.11	0.05	0.00	0.34	5.86
1954	1.58	0.42	1.93	0.57	4.05	0.02	0.06	0.01	0.12	0.05	0.00	0.33	5.86
1955	1.15	0.43	2.01	0.61	4.00	0.04	0.06	0.01	0.12	0.05	0.00	0.33	5.86
1956	5.14	0.43	2.09	0.65	3.96	0.07	0.06	0.01	0.13	0.06	0.00	0.32	5.86
1957	4.12	0.43	2.16	0.69	3.92	0.09	0.07	0.01	0.14	0.06	0.00	0.31	5.86
1958	4.05	0.43	2.24	0.73	3.87	0.12	0.07	0.01	0.15	0.06	0.00	0.31	5.86
1959	4.00	0.43	2.32	0.77	3.83	0.14	0.07	0.01	0.15	0.06	0.00	0.30	5.87
1960	4.28	0.44	2.40	0.81	3.78	0.17	0.07	0.06	0.16	0.07	0.00	0.30	5.87
1961	2.73	0.44	2.47	0.84	3.74	0.19	0.07	0.12	0.17	0.07	0.00	0.29	5.87
1962	1.69	0.44	2.55	0.88	3.69	0.22	0.07	0.17	0.18	0.07	0.00	0.29	5.87

Año/Cuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1963	2.19	0.44	2.63	0.92	3.65	0.25	0.08	0.22	0.19	0.07	0.00	0.28	5.87
1964	2.67	0.44	2.70	0.96	3.61	0.27	0.08	0.28	0.20	0.08	0.00	0.28	5.87
1965	2.70	0.45	2.78	1.00	3.56	0.30	0.08	0.33	0.22	0.08	0.01	0.27	5.87
1966	2.76	0.45	2.86	1.04	3.52	0.32	0.08	0.39	0.23	0.08	0.01	0.27	5.87
1967	4.27	0.45	2.94	1.08	2.06	0.35	0.08	0.44	0.24	0.09	0.01	0.26	5.87
1968	5.02	0.45	3.01	1.12	1.85	0.37	0.08	0.50	0.64	0.14	0.01	0.27	5.87
1969	5.62	0.45	3.09	1.15	2.30	0.40	0.09	0.55	0.54	0.19	0.01	0.33	5.87
1970	2.96	0.45	3.17	1.19	2.06	0.42	0.09	0.61	0.38	0.15	0.01	0.13	5.87
1971	4.18	0.46	3.25	1.23	1.63	0.45	0.09	0.66	0.25	0.14	0.01	0.24	5.87
1972	5.62	0.46	3.32	1.27	2.16	0.47	0.09	0.72	0.38	0.15	0.01	0.22	5.87
1973	5.62	0.46	3.40	1.31	1.72	0.50	0.09	0.77	0.38	0.16	0.01	0.26	5.87
1974	2.68	0.46	3.48	1.35	1.87	0.52	0.09	0.82	0.32	0.16	0.01	0.24	5.87
1975	5.62	0.46	3.55	1.39	1.57	0.55	0.10	0.88	0.40	0.17	0.01	0.21	5.87
1976	2.77	0.47	3.63	1.42	2.08	0.58	0.10	0.93	0.45	0.19	0.01	0.26	5.88
1977	5.62	0.47	3.71	1.46	1.93	0.60	0.10	0.99	0.36	0.17	0.01	0.24	5.88
1978	5.62	0.47	3.79	1.50	1.66	0.63	0.10	1.04	0.46	0.17	0.02	0.31	5.88
1979	2.91	0.47	3.86	1.54	1.87	0.65	0.10	1.10	0.45	0.17	0.02	0.24	5.88
1980	5.62	0.47	3.94	1.58	0.82	0.68	0.10	1.15	0.47	0.17	0.02	0.20	5.88
1981	4.50	0.48	4.02	1.62	0.81	0.70	0.11	1.21	0.55	0.15	0.02	0.23	5.88
1982	4.00	0.48	4.10	1.66	1.00	0.73	0.11	1.26	0.52	0.23	0.02	0.28	5.88
1983	3.50	0.48	4.17	1.69	1.12	0.75	0.11	1.32	0.61	0.20	0.03	0.20	5.88
1984	2.31	0.48	4.25	1.73	1.05	0.78	0.11	1.37	0.54	0.16	0.03	0.20	5.88
1985	3.76	0.48	4.33	1.77	1.41	0.80	0.11	1.43	0.51	0.09	0.03	0.19	5.88
1986	4.56	0.49	4.41	1.81	1.43	0.83	0.11	1.48	0.49	0.10	0.03	0.20	5.88
1987	5.15	0.49	4.48	1.85	1.44	0.86	0.12	1.53	0.51	0.07	0.04	0.17	5.88
1988	3.64	0.49	4.56	1.89	1.28	0.88	0.12	1.59	0.36	0.10	0.04	0.22	5.88
1989	3.91	0.49	4.64	1.93	1.52	0.91	0.12	1.64	0.34	0.16	0.04	0.18	5.88
1990	3.80	0.49	4.71	1.96	0.37	0.93	0.12	1.70	0.52	0.10	0.05	0.02	5.88
1991	3.44	0.49	4.79	2.00	0.99	0.96	0.12	1.75	0.48	0.13	0.05	0.22	5.88
1992	3.54	0.50	4.87	2.04	1.15	0.98	0.12	1.81	0.57	0.10	0.06	0.26	5.88
1993	5.62	0.50	4.95	2.08	1.42	1.01	0.13	1.86	0.87	0.11	0.06	0.36	5.89
1994	5.62	0.50	5.02	2.12	1.33	1.03	0.13	1.92	0.49	0.13	0.07	0.13	5.89
1995	5.62	0.50	5.10	2.16	0.17	0.95	0.13	1.97	1.02	0.02	0.06	1.49	5.89
1996	5.62	0.49	5.18	2.20	0.59	0.99	0.13	2.03	1.27	0.04	0.06	1.49	5.89

Año/Cuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1997	5.62	0.49	5.26	2.23	0.60	1.07	0.13	2.08	1.39	0.04	0.06	1.67	5.89
1998	2.63	0.51	5.33	2.27	1.02	1.15	0.14	2.14	1.64	0.05	0.06	1.88	5.89
1999	5.69	0.52	5.41	1.26	3.13	1.25	0.13	2.09	1.96	0.48	0.19	2.37	5.88
2000	5.76	0.52	5.70	2.63	3.21	1.26	0.14	2.23	2.50	0.67	0.19	2.61	5.89
2001	5.77	0.52	5.70	2.67	3.22	1.27	0.14	2.24	2.52	0.68	0.19	2.63	5.89
2002	5.77	0.52	5.70	2.67	3.23	1.27	0.14	2.24	2.54	0.68	0.19	2.63	5.89
2003	5.81	0.52	5.71	2.67	3.25	1.30	0.15	2.33	2.54	0.68	0.19	2.63	5.89
2004	5.81	0.52	5.72	2.67	3.27	1.32	0.15	2.65	2.66	0.69	0.19	2.63	5.89
2005	5.81	0.52	5.72	2.67	3.29	1.33	0.15	2.65	2.66	0.69	0.19	2.63	5.89
2006	5.85	0.52	5.81	2.67	3.30	1.33	0.15	2.70	2.66	0.69	0.19	2.63	5.89
2007	5.89	0.52	5.81	2.67	3.30	1.34	0.15	2.72	2.67	0.70	0.19	2.63	5.89
2008	5.98	0.52	5.95	2.67	3.31	1.38	0.15	2.72	2.67	0.70	0.19	3.13	5.89
2009	6.02	0.53	6.11	2.67	3.31	1.41	0.15	2.74	2.67	0.70	0.19	3.13	5.89
2010	6.03	0.53	6.24	2.68	3.31	1.41	0.15	2.78	2.68	0.70	0.19	3.13	5.89
2011	6.04	0.53	6.50	2.68	3.31	1.44	0.15	2.79	2.68	0.70	9.18	3.13	5.89
2012	6.05	0.53	6.53	2.68	3.31	1.45	0.16	2.82	2.69	0.70	9.18	3.14	5.89
2013	6.32	0.53	6.66	2.75	3.31	1.51	0.16	2.86	2.69	0.70	9.18	3.17	5.89
<b>Indirecto</b>	1.31				1.78								
<b>Valor actual(hm<sup>3</sup>)</b>	<b>7.62</b>	<b>0.53</b>	<b>6.66</b>	<b>2.75</b>	<b>5.09</b>	<b>1.51</b>	<b>0.16</b>	<b>2.86</b>	<b>2.69</b>	<b>0.70</b>	<b>9.18</b>	<b>3.17</b>	<b>5.89</b>

Retornos correspondientes a DR, retornos correspondientes a REPDA, retornos por regresión lineal. Valores ajustados Datos obtenidos en el Estudio IMTA 2009

El detalle del cálculo y las fórmulas utilizadas en la regresión lineal están en el Anexo 5.10.

### 5.3.4 Importaciones y Exportaciones

La cuenca 1 “Río San Pedro” exporta un volumen medio anual de 16.89 hm<sup>3</sup> a la cuenca 2 Presa Calles a través de la presa derivadora “Potrerillos”. Por otro lado, según el decreto la cuenca 18 importa un caudal de 79.4 hm<sup>3</sup>, es decir el volumen que escurre por el río Santiago proveniente del Lago de Chapala y del río Zula, el cual está aforado por las estaciones Corona, Atequiza y Zapotlanejo.

Tabla 5.23. Volumen anual de importaciones (hm<sup>3</sup>)

Año/Cuenca	2	18
1945	1.16	1,017.24
1946	0.36	781.74
1947	10.04	649.21
1948	15.72	673.51
1949	2.95	659.21
1950	6.39	461.84
1951	12.73	350.73
1952	3.19	430.09
1953	8.71	642.09
1954	2.85	664.03
1955	30.98	513.50
1956	17.54	584.09
1957	3.96	651.24
1958	37.96	548.88
1959	13.09	1,821.80
1960	13.41	717.92
1961	2.78	636.21
1962	6.24	608.98
1963	8.09	514.37
1964	6.23	553.32
1965	21.26	1,257.34
1966	25.57	1,815.57
1967	39.88	4,049.37
1968	26.31	2,526.48
1969	30.81	761.08
1970	27.32	672.30
1971	56.21	2,630.03
1972	18.82	1,059.11
1973	41.91	2,243.43
1974	8.69	1,279.26
1975	18.84	946.58
1976	29.73	2,897.84
1977	29.73	1,354.57
1978	26.95	997.99
1979	0.80	823.65
1980	29.73	514.66
1981	2.84	327.09
1982	0.78	309.49



Año/Cuenca	2	18
1983	29.73	46.96
1984	7.01	28.44
1985	23.69	29.74
1986	16.89	292.59
1987	29.73	329.60
1988	16.89	337.12
1989	29.73	316.76
1990	37.96	247.45
1991	16.89	176.03
1992	16.89	162.09
1993	16.89	182.47
1994	29.73	133.33
1995	16.89	168.71
1996	29.73	95.61
1997	16.89	100.28
1998	16.89	153.36
1999	16.89	73.85
2000	0.78	32.52
2001	7.51	89.65
2002	16.89	168.82
2003	18.26	528.13
2004	28.58	53.99
2005	3.86	114.60
2006	6.98	113.83
2007	11.78	169.95
2008	18.40	336.39
2009	0.85	119.74
2010	7.56	203.13
2011	0.38	97.29
2012	16.89	
2013	16.89	
<b>Valor actual (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>16.89</b>	

Fuente: BANDAS 2013. Los datos en rojo corresponden a la estación Zula.

### 5.3.5 Evaporación

La serie de datos de evaporación se compone por la evaporación de presas y cuerpos de agua. La serie de datos de evaporación de las presas se obtuvo de los registros de las presas BANDAS 2013 y CEA 2014. Lo que se refiere a la evaporación de los cuerpos de agua, los datos se obtuvieron primero seleccionando los cuerpos de agua perenes identificados con NOMBRE de la base de datos del INEGI y los sugeridos por la GASIR del estudio de disponibilidad (IMTA, 2007).

#### Presas

La serie histórica de evaporación de las presas (ver apartado 5.1), se muestra en la siguiente tabla,.

Tabla 5.24. Volumen anual de evaporación en presas (hm<sup>3</sup>)

Años	1	2	3	4	12
1945		10.01			
1946		3.34			
1947		4.24			
1948		8.54			
1949		7.16		0.99	
1950		4.62		2.87	
1951		5.58		3.62	
1952		5.10		3.42	
1953		2.78		3.26	
1954		5.16		3.58	
1955		6.09		2.59	
1956		12.28		3.79	
1957		7.70		3.59	
1958		7.82		2.63	
1959		19.70		3.36	
1960		16.90		3.21	
1961		10.03		2.27	
1962		6.15		1.84	
1963		6.89	0.71	1.88	
1964		5.86	2.41	2.34	
1965		5.52	4.01	3.47	
1966		9.95	4.04	3.41	
1967		14.64	3.91	3.23	
1968		21.58	3.89	3.22	
1969		23.71	4.36	2.65	
1970		16.81	3.98	2.07	
1971		20.25	4.32	3.01	
1972		25.63	4.21	3.33	
1973		25.49	4.47	3.44	
1974		26.87	3.87	3.21	
1975		21.63	3.90	3.05	
1976		18.75	3.59	3.01	
1977		23.59	3.58	3.03	
1978		16.37	3.44	3.01	

Años	1	2	3	4	12
1979		16.49	3.31	2.89	
1980		16.10	3.24	3.33	
1981		5.10	3.16	3.28	
1982		8.16	2.84	3.55	
1983		7.40	3.29	3.34	
1984		10.78	3.51	3.23	
1985		16.04	3.75	3.14	
1986		15.32	3.60	3.22	
1987		16.30	3.70	3.50	
1988		15.42	3.26	3.19	
1989		13.20	3.28	0.12	
1990		11.06	3.38	1.63	
1991		21.03	3.56	3.32	
1992		28.07	3.12	1.64	
1993		27.05	3.38	3.21	
1994		21.27	3.66	3.13	
1995	0.89	16.06	3.25	2.55	
1996	1.07	15.44	3.16	2.80	1.34
1997	1.10	15.18	3.50	2.49	1.42
1998	1.11	17.69	3.49	1.69	1.08
1999	1.01	17.49	4.16	2.25	1.21
2000	0.94	8.67	5.06	2.31	0.68
2001	0.86	8.73	5.29	1.61	0.68
2002	0.89	9.30	4.96	2.20	0.64
2003	0.93	12.92	5.37	2.73	1.61
2004	0.83	16.95	5.40	2.64	1.60
2005	0.94	21.54	6.50	2.91	1.18
2006	0.86	17.18	5.38	2.41	0.73
2007	0.86	19.07	5.83	2.87	0.83
2008	0.81	18.35	6.15	3.77	1.01
2009	0.96	18.54	6.66	3.78	1.08
2010	0.85	14.51	5.85	3.25	1.08
2011	0.95	12.25	5.41	2.89	1.08
2012	0.86	12.20	4.63	5.29	1.08
2013	0.93	14.13	5.48	4.93	1.08
Promedio(hm <sup>3</sup> )	0.93	13.94	4.08	2.91	1.08

\*Promedio, BANDAS 2013, CEA 2014

Los valores marcados en rojo fueron proporcionados por la Comisión Estatal del Agua..

El valor medio de evaporación de las presas en la zona hidrológica del Río Verde de las presas es de 22.94 hm<sup>3</sup>.

## Cuerpos de agua

La evaporación de los 319 cuerpos de agua de la zona hidrológica del Río Verde representa una evaporación media de 64.3 hm<sup>3</sup>, en la tabla siguiente se muestra los valores de evaporación media anual para cada cuenca.

Tabla 5.25. Volumen anual de evaporación en presas (hm<sup>3</sup>)

Año/Cuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1945	3.23	0.20	4.32	0.95	13.07	2.29	0.54	15.42	2.33	2.28	15.29	3.46	4.58
1946	3.11	0.18	4.22	0.93	13.11	2.14	0.54	15.22	2.15	2.54	17.01	3.54	5.08
1947	3.08	0.16	3.72	0.99	12.92	2.10	0.53	15.53	2.12	2.20	14.78	3.71	4.45
1948	2.98	0.19	3.47	0.94	12.84	2.05	0.52	15.04	2.05	2.44	16.35	3.74	4.74
1949	3.26	0.21	4.02	1.00	13.08	2.46	0.53	15.81	2.57	2.04	13.66	3.51	5.41
1950	3.08	0.19	3.57	1.12	14.33	2.99	0.52	16.92	2.86	2.60	17.41	4.24	5.66
1951	3.23	0.20	3.73	1.18	15.00	2.54	0.53	17.45	2.40	2.43	16.32	4.00	5.22
1952	3.02	0.19	3.89	1.16	14.98	2.64	0.54	17.39	2.58	2.57	17.24	3.99	4.94
1953	3.18	0.20	4.03	1.09	14.37	2.57	0.56	16.84	2.53	2.41	16.16	3.82	5.30
1954	2.99	0.19	3.67	0.97	12.09	2.37	0.46	15.27	2.18	2.44	16.39	3.49	4.91
1955	2.93	0.18	3.83	1.01	12.36	2.32	0.46	16.00	2.06	2.66	17.93	3.37	5.35
1956	3.07	0.20	3.70	0.98	12.16	2.37	0.45	15.56	2.15	2.55	17.17	3.25	5.48
1957	3.23	0.21	3.93	1.14	13.71	2.46	0.50	17.39	2.37	2.70	18.11	3.88	5.41
1958	2.58	0.17	4.45	0.92	12.10	2.33	0.43	14.22	2.24	2.36	13.08	3.55	5.06
1959	2.66	0.17	4.48	0.80	10.74	2.05	0.40	13.68	2.23	1.95	12.94	3.05	4.67
1960	3.06	0.20	5.13	0.95	12.49	2.29	0.50	16.19	2.45	2.36	15.82	3.73	5.68
1961	2.93	0.19	4.70	0.89	12.14	2.17	0.51	14.55	2.35	2.41	15.56	3.84	5.08
1962	2.33	0.14	5.15	0.95	13.02	2.20	0.53	16.49	2.39	2.51	16.68	3.47	5.15
1963	2.38	0.15	4.87	0.84	11.79	2.26	0.42	15.43	2.28	2.43	15.20	3.58	4.53
1964	2.78	0.17	4.54	0.93	12.46	2.32	0.45	15.97	2.47	2.39	15.32	3.98	4.35
1965	2.53	0.16	4.13	0.87	11.41	2.25	0.47	13.83	2.38	2.28	14.79	3.34	4.48
1966	2.45	0.15	3.95	0.82	11.25	2.09	0.41	13.45	2.14	2.14	13.86	3.57	4.71
1967	2.43	0.15	4.27	0.84	11.33	2.15	0.41	13.15	2.04	2.12	13.99	3.50	5.05
1968	2.42	0.15	4.09	0.72	11.21	2.13	0.44	13.39	2.08	2.11	14.10	3.32	4.19
1969	2.97	0.19	4.85	0.95	13.39	2.41	0.50	14.88	2.28	2.51	16.12	3.94	5.63
1970	2.63	0.17	4.21	0.89	13.38	2.34	0.60	14.51	2.19	2.64	15.65	3.74	5.28

Año/Cuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1971	2.59	0.16	4.28	0.87	11.80	2.19	0.72	14.75	2.19	2.46	14.41	3.64	5.25
1972	2.53	0.17	4.31	0.90	12.17	2.30	0.42	15.46	2.24	2.54	15.58	3.77	5.23
1973	2.66	0.17	4.34	0.90	12.31	2.27	0.50	14.82	2.28	2.32	14.81	3.81	5.39
1974	2.76	0.18	4.55	0.89	11.66	2.26	0.47	14.81	2.17	2.44	13.24	3.60	5.06
1975	2.74	0.17	4.42	0.80	11.66	2.29	0.49	13.98	2.23	2.44	13.42	3.89	5.16
1976	2.64	0.16	4.18	0.78	11.15	2.07	0.45	13.47	2.12	2.36	13.37	3.57	4.79
1977	2.48	0.16	4.26	0.74	11.44	2.08	0.44	13.62	2.06	2.30	13.93	3.47	4.61
1978	2.84	0.16	4.10	0.94	11.27	2.12	0.45	14.39	2.10	2.27	14.48	3.52	4.89
1979	3.01	0.16	4.44	0.94	11.18	2.35	0.49	15.54	2.34	2.39	15.16	3.93	5.15
1980	2.88	0.16	4.45	0.95	11.32	2.22	0.48	15.36	2.29	2.29	14.62	3.64	4.47
1981	2.71	0.15	4.25	0.75	11.50	2.15	0.46	14.25	2.09	2.17	13.97	3.26	4.29
1982	3.04	0.17	4.56	0.85	12.76	2.29	0.51	16.11	2.30	2.45	16.40	3.60	4.96
1983	2.38	0.15	4.18	0.92	12.13	2.05	0.48	14.90	2.06	2.28	14.71	3.35	4.80
1984	2.26	0.14	3.83	0.81	11.52	2.00	0.47	14.50	2.01	2.20	14.27	3.12	4.83
1985	2.29	0.14	4.09	0.82	11.03	1.99	0.46	13.67	2.00	2.19	14.54	3.19	5.75
1986	2.51	0.17	3.82	0.80	11.31	1.88	0.43	13.24	2.10	2.20	14.37	3.20	4.60
1987	2.56	0.17	4.14	0.86	12.29	1.87	0.45	12.90	2.13	2.21	15.22	3.29	4.76
1988	2.55	0.16	4.04	0.80	11.90	1.94	0.43	12.58	2.10	2.24	14.44	3.35	5.15
1989	2.30	0.16	4.30	0.82	11.84	2.12	0.46	13.27	2.50	2.32	16.67	3.75	4.97
1990	2.23	0.14	3.70	0.76	10.95	1.88	0.41	11.61	2.04	2.03	13.49	3.37	4.85
1991	2.25	0.17	3.90	0.82	11.00	2.04	0.44	11.78	2.24	2.25	19.77	4.00	4.98
1992	2.08	0.13	3.42	0.73	10.02	1.65	0.37	10.13	1.67	1.74	11.42	3.01	4.44
1993	2.42	0.14	4.06	0.77	11.87	1.91	0.45	12.35	1.94	2.23	13.09	3.42	4.98
1994	2.25	0.14	4.10	0.81	11.80	2.00	0.46	12.42	1.90	2.01	13.32	3.16	4.47
1995	2.32	0.17	4.12	0.73	11.70	1.81	0.41	12.38	1.84	2.03	13.63	3.25	4.64
1996	2.25	0.15	4.38	0.78	11.46	2.19	0.41	13.71	1.97	2.03	13.96	3.27	5.01
1997	2.17	0.15	3.96	0.80	10.55	2.12	0.39	13.06	1.72	2.19	16.80	3.16	4.74
1998	2.42	0.16	4.65	0.76	12.05	2.36	0.44	13.53	2.09	2.64	17.85	3.63	5.26
1999	2.94	0.18	4.80	0.74	12.32	2.55	0.45	16.32	2.07	2.39	17.36	3.63	5.31
2000	3.02	0.16	4.56	0.82	10.69	2.21	0.39	15.52	2.04	2.13	14.42	3.18	5.04
2001	2.19	0.16	4.22	0.79	11.59	2.13	0.41	13.82	1.73	2.13	14.37	2.83	4.72
2002	2.29	0.14	4.31	0.78	11.08	2.07	0.39	13.56	1.76	2.04	13.59	2.95	4.79
2003	2.08	0.13	4.16	0.87	10.15	2.05	0.42	12.56	1.85	2.13	13.71	2.96	4.42
2004	2.05	0.13	3.88	0.74	9.49	2.16	0.34	10.84	1.82	1.83	13.48	2.97	4.64

Año/Cuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2005	1.93	0.14	4.11	0.79	10.80	2.08	0.33	11.84	1.99	2.06	13.98	3.16	5.15
2006	1.81	0.13	3.95	0.84	11.04	1.91	0.36	11.63	2.04	2.16	13.98	3.27	4.74
2007	1.79	0.13	3.93	0.82	10.75	2.00	0.40	11.71	1.71	2.18	12.11	3.09	4.37
2008	1.94	0.13	3.91	0.73	11.16	1.91	0.43	12.25	1.87	2.31	12.45	2.63	4.03
2009	1.75	0.13	4.01	0.90	11.27	1.83	0.42	12.01	2.02	2.06	12.61	3.23	4.67
2010	1.97	0.12	3.85	0.72	11.04	1.97	0.41	11.45	1.88	2.55	18.23	3.28	4.75
2011	2.23	0.14	4.37	0.75	11.85	2.15	0.42	12.38	1.92	2.67	18.92	3.53	5.28
2012	1.98	0.12	3.99	0.83	11.08	1.97	0.45	12.51	1.92	2.31	17.35	3.23	5.07
2013	2.06	0.12	3.73	0.84	11.94	1.78	0.41	11.93	1.81	2.39	16.23	3.41	5.03
<b>Promedio (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.56</b>	<b>0.16</b>	<b>4.17</b>	<b>0.87</b>	<b>11.89</b>	<b>2.17</b>	<b>0.46</b>	<b>14.09</b>	<b>2.13</b>	<b>2.30</b>	<b>15.08</b>	<b>3.47</b>	<b>4.93</b>

CLICOM 2013

### 5.3.6 Variación de Volumen (DV)

En la siguiente tabla se muestran los valores de la variable DV correspondiente a la zona hidrológica del Río Verde extraídos de la base de datos del sistema BANDAS.

Tabla 5.26. Volumen de variación de volumen (hm<sup>3</sup>)

Año	2	3	4	12
1945	-27.55			
1946	-13.62			
1947	27.19			
1948	-0.41			
1949	-21.27			
1950	5.84		10.96	
1951	5.48		-6.87	
1952	-13.64		6.37	
1953	8.51		13.49	
1954	-6.08		-18.60	
1955	53.64		14.79	
1956	-18.74		-1.97	
1957	-30.84		-10.01	
1958	108.49		16.33	
1959	-26.96		-3.49	
1960	-51.05		-14.76	
1961	-24.72		-5.02	
1962	4.39		1.80	
1963	1.96		-0.17	
1964	-9.79	8.69	19.13	
1965	22.32	2.15	0.24	
1966	47.41	-0.27	-1.25	
1967	76.97	0.51	1.95	
1968	15.60	-0.27	-4.71	
1969	-72.47	-3.38	-19.00	
1970	30.79	3.63	16.81	
1971	102.56	-0.16	5.67	
1972	-43.87	-0.86	0.36	
1973	60.61	0.78	0.12	
1974	-74.73	-1.36	-6.54	
1975	-34.36	-0.36	4.33	
1976	75.83	2.04	4.82	
1977	-68.44	-0.40	-3.14	
1978	0.04	-0.19	0.74	
1979	1.89	-1.72	0.34	
1980	1.89	1.47	0.34	
1981	1.76	-2.52	0.34	
1982	0.00	-1.87	0.34	

Año	2	3	4	12
1983	38.88	4.87	0.34	
1984	1.89	-0.42	0.34	
1985	1.89	1.02	0.34	
1986	19.94	-0.34	0.34	
1987	-16.10	-1.25	0.34	
1988	-5.28	0.60	0.34	
1989	-39.52	0.97	0.34	
1990	48.00	-0.24	0.34	
1991	155.08	0.36	0.34	
1992	-7.20	0.02	0.34	
1993	-63.28	-0.24	0.34	
1994	-59.53	-0.78	0.34	
1995	23.62	9.81	4.10	
1996	-12.84	-2.40	1.41	0.07
1997	-60.73	-7.14	-15.10	-0.82
1998	-22.67	-1.62	19.80	0.90
1999	-9.20	1.37	-15.83	-0.31
2000	10.31	0.39	-6.40	-2.88
2001	0.86	0.87	5.92	2.95
2002	25.98	1.18	17.10	-0.63
2003	43.22	0.44	-0.25	0.59
2004	62.52	3.65	-0.53	0.06
2005	-40.90	-4.43	-9.73	-2.34
2006	-8.63	1.26	9.64	-0.31
2007	4.72	1.19	-1.22	2.37
2008	39.68	6.77	1.66	0.24
2009	-47.20	-4.02	-0.48	0.71
2010	-25.51	-4.73	-5.17	-1.74
2011	-50.75	-4.87	-15.69	-3.03
2012	6.71	2.51	4.26	1.46
2013	1.89	0.22	0.34	-0.16
<b>Promedio(hm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.89</b>	<b>0.22</b>	<b>0.34</b>	<b>-0.16</b>

Promedio, BANDAS 2013. Valores ajustados



#### 5.4 Cálculo del escurrimiento disponible en la zona hidrológica del Río Verde

La disponibilidad es el volumen de agua que puede aprovecharse (concesionarse o asignarse) sin afectar a otros usuarios que estén ubicados en la misma cuenca y a usuarios que estén aguas abajo del lugar donde se pretende utilizar un volumen requerido.

Por otro lado el balance hídrico de una cuenca es el equilibrio entre los volúmenes de agua que entran y salen dentro de un sistema hídrico.

El escurrimiento natural es el volumen medio anual de agua superficial que se capta por la red de drenaje natural de la propia cuenca hidrológica. En este contexto el escurrimiento virgen por cuenca propia deberá entenderse como el volumen generado en la cuenca en el caso hipotético de que en esta no hubiera aprovechamientos. Bajo este escenario el escurrimiento virgen sería igual al que se mediría al final de la misma (Eskurrimiento virgen = Eskurrimiento aforado en la cuenca).

Para la estimación del escurrimiento virgen, se toma en cuenta la ecuación de conservación de masa o continuidad:

$$\text{Ecuación de continuidad} \quad \frac{dv}{dt} = Q_E - Q_S \quad (11)$$

Donde:

v	Volumen almacenado [L <sup>3</sup> ]
t	tiempo [T]
Q <sub>E</sub>	gasto de entrada [L <sup>3</sup> /T]
Q <sub>S</sub>	gasto de salida [L <sup>3</sup> /T]

Al obtener una solución de la ecuación de continuidad con diferencias finitas:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = Q_E - Q_S \quad (12)$$

Despejando la variación de volumen:

$$\Delta v = (Q_E - Q_S) \Delta t \quad (13)$$

Integrando los gastos de entrada y de salida en el tiempo:

$$\Delta v = v_E - v_S \quad (14)$$

Donde:

Δv	es la variación del volumen en un intervalo de tiempo
v <sub>E</sub>	es el volumen de entrada para en un intervalo de tiempo
v <sub>S</sub>	es el volumen de salida para en un intervalo de tiempo

La variación del volumen en el tiempo es igual a la diferencia de los volúmenes de entrada menos los volúmenes de salida.

La ecuación de continuidad es la versión discreta de la ecuación de conservación de masa que es muy utilizada en la práctica.

Una versión más completa de la ecuación discreta de conservación de masa se obtiene describiendo con más detalle los volúmenes de entrada y salida obteniéndose la ecuación de balance como sigue:

$$\Delta v = (C_p + A_r + R + Im) - (E_v + A_b + U + Ex) \quad (15)$$

En donde los volúmenes de entrada son:

$C_p$ .- aportación por cuenca propia

$A_r$ .- aportación por cuenca tributaria o escurrimiento desde aguas arriba de la cuenca

$R$ .- retornos al sistema en función de diferentes usos

$Im$ .-Importación desde otras cuencas adyacentes que no necesariamente escurre por gravedad.

Los volúmenes de salida son:

$E_v$ .- evaporación de los cuerpos de agua (esta variable es despreciable cuando la cuenca no tiene cuerpos de agua).

$Ab$ .- volumen de salida hacia aguas abajo

$U$ .- este volumen de salida es el que toman los diferentes usuarios para el consumo correspondiente.

$Ex$ .- exportación artificial del recurso hacia otras cuencas adyacentes.

Es necesario aclarar que el retorno corresponde a una parte del volumen de agua utilizada, por ejemplo: el usuario de generación de energía hidroeléctrica regresa prácticamente el 100% del agua que usa, mientras que los otros usuarios regresan un porcentaje del agua utilizada, a la cuenca.

El volumen por cuenca propia se determina mediante la siguiente expresión:

$$C_p = (A_b + E_v + Ex + Usos) + \Delta v - (A_r + R + Im) \quad (16)$$

En donde:

$C_p$ . El Volumen de aportación por cuenca propia o escurrimiento virgen que produce de manera natural la cuenca antes de cualquier extracción o uso y sin considerar otras entradas.

Cuando no se cuenta con información hidrométrica, el volumen por cuenca propia se obtiene con los métodos indirectos. Existe una gran cantidad de métodos indirectos para calcular el volumen de escurrimiento por cuenca propia o escurrimiento virgen, pero en términos prácticos todos conceptualmente involucran las mismas variables.

Ciertos métodos usan información adicional como tipo de suelo, cobertura vegetal, características del cauce principal como longitud y pendiente, además de las características fisiográficas de la cuenca.

### 5.4.1 Métodos para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural

#### Método directo

De acuerdo a la NOM-011-CONAGUA-2015, este método se aplica si en la cuenca en estudio existe un registro mínimo de 20 años consecutivos o no consecutivos; en caso de que falten datos en un máximo de cinco años para completar el periodo, el usuario calculará dichos años faltantes mediante algún método que le apruebe la Comisión Nacional del Agua. En el caso común de tener un sistema de cuencas interconectadas se debe elaborar un esquema de interconexión de la cuenca hidrológica en estudio con las cuencas vecinas, indicando los nombres de los cauces, dirección del flujo y, en su caso, la ubicación de los embalses naturales y artificiales.

El volumen medio anual de escurrimiento natural se determina mediante la siguiente expresión:

$$\begin{array}{r}
 \text{Volumen} \\
 \text{anual de} \\
 \text{escurrimiento} \\
 \text{natural de la} \\
 \text{cuenca} \\
 \text{(Cp)} \\
 = \\
 \text{Volumen} \\
 \text{anual de} \\
 \text{escurrimiento} \\
 \text{aforado de la} \\
 \text{cuenca hacia} \\
 \text{aguas} \\
 \text{abajo (V2)} \\
 + \\
 \text{Volumen} \\
 \text{anual de} \\
 \text{extracciones} \\
 \text{de agua} \\
 \text{superficial} \\
 \text{(U)} \\
 - \\
 \text{Volumen} \\
 \text{anual de} \\
 \text{escurrimiento} \\
 \text{aforado desde} \\
 \text{la cuenca} \\
 \text{aguas} \\
 \text{arriba (V1)} \\
 + \\
 \text{Volumen} \\
 \text{anual de} \\
 \text{exportaciones} \\
 - \\
 \text{Volumen} \\
 \text{anual de} \\
 \text{importaciones} \\
 - \\
 \text{Volumen} \\
 \text{anual de} \\
 \text{retornos}
 \end{array}$$

#### Método indirecto

Para calcular el escurrimiento utilizando información climatológica se pueden aplicar diferentes metodologías entre las que podemos destacar: Temez, Coutagne, Turc, Langbein, Smith y el coeficiente de escurrimiento. La totalidad de ellos contemplan expresiones algebraicas derivadas de analizar el comportamiento de una diversidad de cuencas.

Dado que la metodología establecida para el presente trabajo se basa en la NOM-011-CONAGUA-2015 (Anexo 2), en el caso de cuencas sin hidrometría se aplicó el método del coeficiente de escurrimiento.

Cabe recordar que el objetivo central de este trabajo es la determinación de una serie estadística de escurrimientos en un periodo que considere las temporadas de escasez y abundancia en la cuenca del Río Verde, para posibilitar el análisis de funcionamientos de vasos en cascada que cubran escenarios extremos como medida preventiva a posibles cambios climatológicos que causen efectos negativos, para prever el dimensionamiento de la infraestructura necesaria para lograr el aprovechamiento firme del 100 % del agua reservada para Jalisco y como sustento para fijar las reglas de operación para la distribución del agua superficial de esta cuenca, en apego a la NOM-011-CONAGUA-2015.

En razón de ello, se analizaron prácticamente los últimos sesenta y nueve años de la lluvia aceptando que no pueden ser estrictamente iguales los valores para cada año de registro, porque se obtiene un coeficiente de escurrimiento promedio de esos registros, y no para las condiciones actuales de las cuencas.

Debido a que en la norma se establece que los elementos considerados en el balance se deben ajustar a un periodo común, en el presente estudio se obtuvo información de todas las variables que intervienen en el cálculo en el periodo de 1945 a 2013. Sin embargo, es importante mencionar que existía, en algunos casos carencia de información, por lo que se tuvo que implementar el uso de métodos de cálculo estadísticos alternos aplicados a la información disponible, lo que permitió complementar la información.

### **Estimación del volumen total de lluvia**

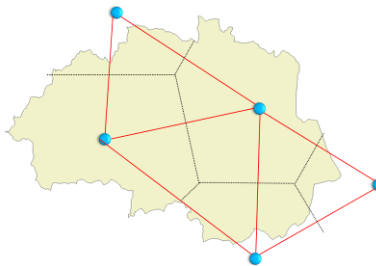
Para obtener el escurrimiento a partir de registros de precipitación es necesario calcular el volumen precipitado en la cuenca, mismo que se obtiene del producto que resulta de la altura de precipitación multiplicado por la superficie, por lo que se debe cuantificar el valor de precipitación media anual del periodo en un área determinada (en este caso las cuencas).

La norma propone dos metodologías para estimar el volumen de lluvia: Isoyetas y polígonos de Thiessen, que se describen a continuación:

- *Método de las Isoyetas.* Con la información climatológica (precipitación) en la red de estaciones ubicadas dentro y en la periferia de la zona en estudio, se procede a trazar las curvas de igual lámina de precipitación (isoyetas), **interpolando** la información de referencia y considerando la ubicación de cada una de las estaciones.

Para este estudio se utilizó como método de interpolación el IDW (Inverse Distance Weighted), que presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra. En la actualidad esta metodología se ha simplificado con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este método permite obtener una buena estimación del volumen de lluvia.

- *Métodos de los Polígonos de Thiessen.* Utiliza la misma red de estaciones climatológicas disponibles y consiste en obtener el área de influencia de cada una de ellas dentro de la zona en estudio que consiste en:
  1. Unir con líneas rectas las estaciones que tiene influencia en la zona de estudio
  2. Trazar mediatrices a las líneas que unen las estaciones.
  3. Prolongar dichas mediatrices hasta el contorno de la cuenca.



$$\sum_{i=1}^n \left( P_i \cdot \frac{A_i}{A} \right)$$

Figura 5.64 Generación de polígonos de Thiessen

4. Calcular el área de influencia de cada una de las estaciones, para hacerlo, se debe conocer el área total de la cuenca y sacar la relación de cada polígono con respecto a ella.
5. Cada estación tiene un valor de precipitación medido que se multiplica por el porcentaje de área que le corresponde para obtener la precipitación media de la zona.

Con cualquiera de los dos métodos descritos anteriormente se estima el volumen total precipitado que posteriormente puede describir a la lluvia como una lámina de precipitación promedio para un intervalo de tiempo dado. Para este estudio se optó por el uso de la metodología de Isoyetas aplicando la interpolación con el método IDW utilizando el ArcGIS como herramienta.

El volumen medio anual de escurrimiento natural se determina indirectamente, mediante la siguiente expresión:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Volumen anual de} & & \text{Precipitación} & & \text{Área de} & & \text{Coeficiente de} \\ \text{escurrimiento natural} & = & \text{anual de la} & * & \text{la cuenca} & * & \text{escurrimiento} \\ \text{de la cuenca} & & \text{cuenca} & & & & \end{array}$$

#### 5.4.2 Cálculo disponibilidad de agua superficial

El cálculo de la disponibilidad de agua superficial según la **Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, "Conservación del recurso Agua"**, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas superficiales nacionales de escurrimiento superficial.

Tomando como punto de partida la Ecuación de la Continuidad (Ec. Gral.), donde:

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{VARIACIÓN DE ALMACENAMIENTO}$$

$$(C_p + A_r + R + I_m) - (A_b + U + E_v + E_x) = DV$$

El escurrimiento virgen se obtiene con la ecuación:

$$C_p = A_b + E_x + E_v + U - A_r - I_m - R - DV$$

Por consiguiente la estimación de disponibilidades por cuenca se resume en los siguientes tres pasos:

##### *I. Escurrimiento aguas abajo (análisis y calculo)*

$$A_b = (C_p + A_r + R + I_m) - (E_x + E_v + U) + DV \quad (20)$$

##### *II. Distribución de las demandas hacia aguas arriba*

$U + E_v + \text{Vol. Comprometido aguas abajo} = \text{Vol. Reservado o comprometido por derechos existentes}$

Con la finalidad de reservar el volumen que demanden los usuarios de las cuencas bajas.

Para ello se consideran:

$$\begin{aligned} C_p + A_r + R + I_m &= \text{oferta real (entradas a la cuenca)} \\ U + E_v + A_b + E_x &= \text{Salidas} \\ U + E_v + R_{xy}A_b + R_{xy}E_x &= \text{Salidas (Considerando volúmenes reservados)} \end{aligned}$$

### III. Cálculo de la disponibilidad superficial

La *disponibilidad media anual* de agua superficial en cuenca propia se calcula con la expresión:

$$D_{xx} = (C_{px} + R_x) - R_{xx} \quad (21)$$

En otras palabras, la disponibilidad en cuenca propia es igual al *volumen de la cuenca propia + volumen de retornos – el volumen reservado por cuenca propia* (que es el escurrimiento reservado por cuenca propia a partir del volumen de agua producido en la misma cuenca).

La *disponibilidad media anual* de agua superficial hacia aguas abajo se calcula con la expresión:

$$D_{xy} = A_{bx} - R_{xy} \quad (22)$$

Es decir, la disponibilidad hacia aguas abajo es el *volumen de la cuenca hacia aguas abajo – el volumen reservado comprometido aguas abajo*.

Los tres pasos anteriores son los que se aplican de manera general para el cálculo de la disponibilidad de agua superficial.

Para entender mejor la interconexión entre cuencas de la subregión hidrológica del Río Santiago se presenta el siguiente diagrama.

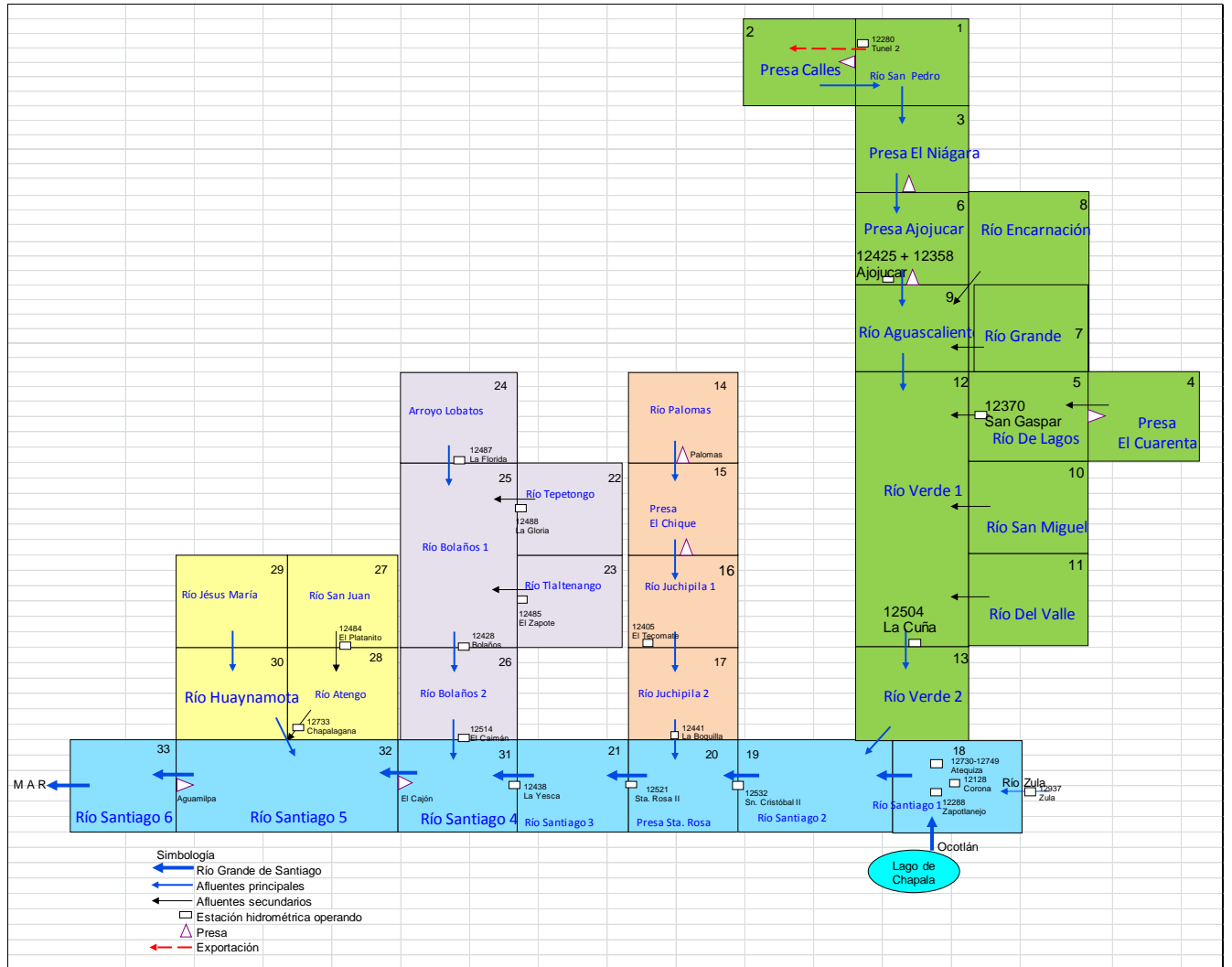


Figura 5.65. Diagrama de conexión integral de la cuenca del río Santiago.

El esquema de interconexión para la zona hidrológica del Río Verde se muestra en la figura siguiente:

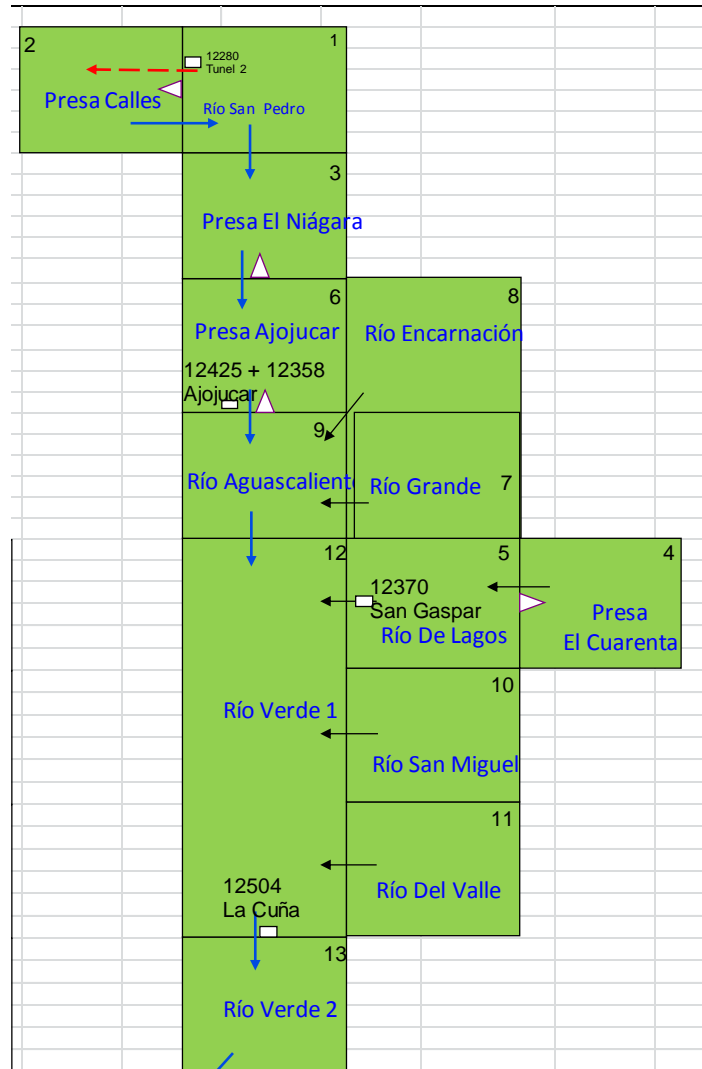


Figura 5.66. Diagrama de conexión integral de la Cuenca del río Verde

Con base en el diagrama de interconexión se determinaron, mediante la aplicación de las formulas descritas anteriormente, las distintas variables ordenadas para el cálculo del escurriendo disponible en la cuenca (Anexo 5.12).



La disponibilidad de agua superficial para el periodo 1945-2013 sin considerar las reservas del decreto de 1997 se muestra en la tabla siguiente:

CH	Nombre	Cp	Ar	U	R	Im	Ex	Ev	$\Delta v$	Ab	Rxy	Ab - Rxy	Dxy
1	Río San Pedro	55.43	37.09	75.13	7.62	-	16.89	3.49	-	4.63	4.62	0.00	0.003
2	Presa Calles	39.40	-	3.74	0.53	16.89	-	14.10	1.89	37.09	37.09	0.00	0.0012
3	Presa El Niágara	52.66	4.63	53.43	6.66	-	-	8.25	0.22	2.05	2.01	0.05	0.05
4	Presa El Cuarenta	58.60	-	25.94	2.75	-	-	3.78	0.34	31.28	30.42	0.86	0.86
5	Río de Lagos	131.18	31.28	46.52	5.09	-	-	11.89	-	109.14	104.55	4.58	4.58
6	Presa Ajojuar	38.51	2.05	14.34	1.51	-	-	2.17	-	25.57	24.61	0.96	0.96
7	Río Grande	32.24	-	1.26	0.16	-	-	0.46	-	30.68	29.53	1.15	1.15
8	Río Encarnación	113.69	-	26.93	2.86	-	-	14.09	-	75.53	72.70	2.82	2.82
9	Río Aguascalientes	36.64	131.77	16.78	2.69	-	-	2.13	-	152.20	145.80	6.39	6.39
10	Río San Miguel	76.01	-	4.26	0.70	-	-	2.30	-	70.15	67.20	2.95	2.95
11	Río del Valle	58.91	-	12.85	9.18	-	-	15.08	-	40.17	38.48	1.69	1.69
12	Río Verde 1	131.75	371.65	24.66	3.17	-	-	4.54	- 0.16	477.52	456.24	21.28	21.28
13	Río Verde 2	189.49	477.52	23.50	5.89	-	-	4.93	-	644.47	614.49	29.99	29.99

La disponibilidad de agua superficial para el periodo 1945-2013 con las reservas publicadas en el del decreto de 1997 se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 5.27. Disponibilidad media anual de agua superficial en la Cuenca Río Verde

CH	Nombre	Cp	Ar	U	R	Im	Ex	Ev	$\Delta v$	Ab	Rxy	Ab - Rxy	Dxy
1	Río San Pedro	55.43	37.54	75.13	7.62	-	16.89	3.49	-	4.63	4.63	0.00	0.0003
2	Presa Calles	39.40	-	3.74	0.53	16.89	-	14.10	1.89	37.09	37.09	0.00	0.0001
3	Presa El Niágara	52.66	35.65	53.43	6.66	-	-	8.25	0.22	2.05	2.05	0.00	0.004
4	Presa El Cuarenta	58.60	-	25.94	2.75	-	-	3.78	0.34	31.28	31.20	0.08	0.08
5	Río de Lagos	131.18	42.51	46.52	5.09	-	-	11.89	-	109.14	108.71	0.43	0.43
6	Presa Ajojuar	38.51	59.72	14.34	1.51	-	-	2.17	-	25.57	25.48	0.09	0.09
7	Río Grande	32.24	-	1.26	0.16	-	-	0.46	-	30.68	30.57	0.11	0.11

CH	Nombre	Cp	Ar	U	R	Im	Ex	Ev	$\Delta v$	Ab	Rxy	Ab - Rxy	Dxy
8	Río Encarnación	113.69	-	26.93	2.86	-	-	14.09	-	75.53	75.26	0.26	0.26
9	Río Aguascalientes	36.64	212.08	16.78	2.69	-	-	2.13	-	152.20	151.60	0.60	0.60
10	Río San Miguel	76.01	-	4.26	0.70	-	-	2.30	-	70.15	69.87	0.28	0.28
11	Río del Valle	58.91	-	50.70	9.18	-	-	15.08	-	2.32	2.31	0.01	0.01
12	Río Verde 1	131.75	505.85	24.66	3.17	-	119.84	4.54	- 0.16	319.83	317.99	1.84	1.84
13	Río Verde 2	189.49	627.53	370.40	5.89	-	-	4.93	-	139.88	136.92	2.96	2.96

En el Anexo 5.12, están los archivos que se usaron para el cálculo de disponibilidad de agua superficial para la zona hidrológica del Río Verde y cuyos resultados se muestran en la tabla indicada arriba.

## 5.5 Revisión de la disponibilidad de agua superficial con respecto al cambio climático

El clima es un sistema complejo por lo que su comportamiento es *difícil de predecir*, comprende la atmósfera, océano, tierra, criósfera (nieve y hielo) y biosfera, y su variabilidad se ve influenciada por la actividad del sol; cambios en la atmósfera, biosfera y criósfera; el movimiento de los océanos y la tierra; las actividades antropogénicas; y la flora y fauna por mencionar algunas.

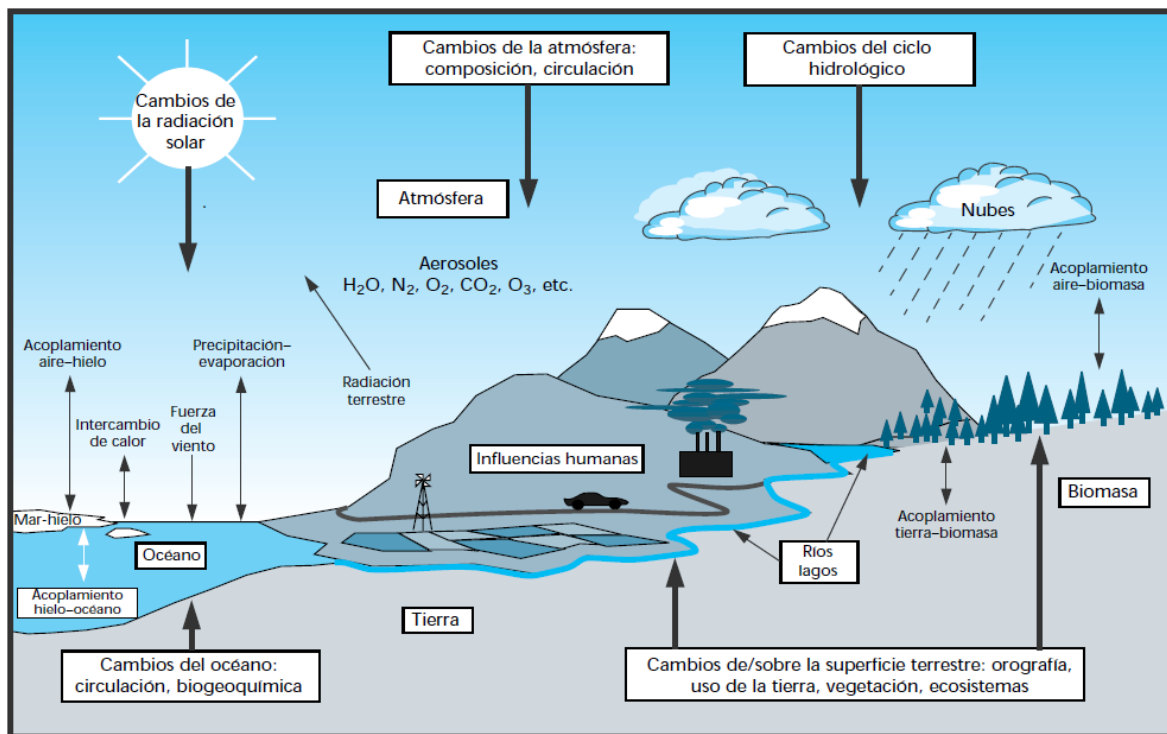


Figura 5.67. Esquema del sistema climático

Antes de presentar cualquier tipo de escenario o proyección a futuro en cuanto a la variabilidad climática es importante conocer la historia de la región, por lo que es necesario contar con la mayor cantidad de información observada de las variables de interés.

Estas variables son precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, dicha información fue generada tal como se describe en la sección 5.1.1 para el periodo 1945-2012.

### 5.5.1 Análisis de registros históricos

A continuación se describe de manera resumida el resultado del análisis de la información obtenida de los registros históricos de las variables de precipitación y temperatura.

#### Temperatura mínima y máxima

En cuanto a la variable de temperatura, se utilizó la información diaria registrada en las 550 estaciones climatológicas de la base de datos CLICOM, para cada una de las cuencas de la región, con dicha información se calculó el dato mensual y anual.

La información se almacenó en una hoja de Excel (Anexo 5.13) en donde se pueden consultar los datos mensuales y anuales de manera tabular y gráfica para cada una de las cuencas

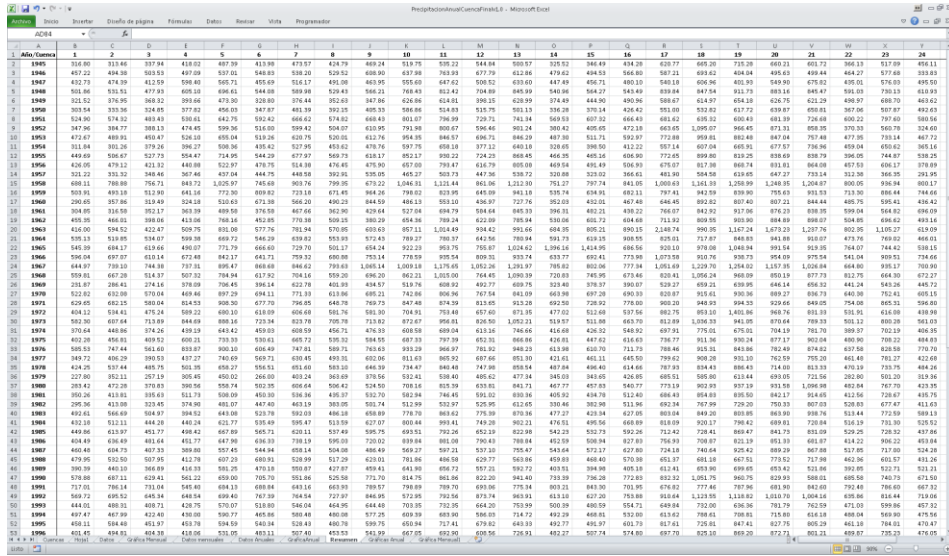


Figura 5.68. Reporte de información anual por cuenca

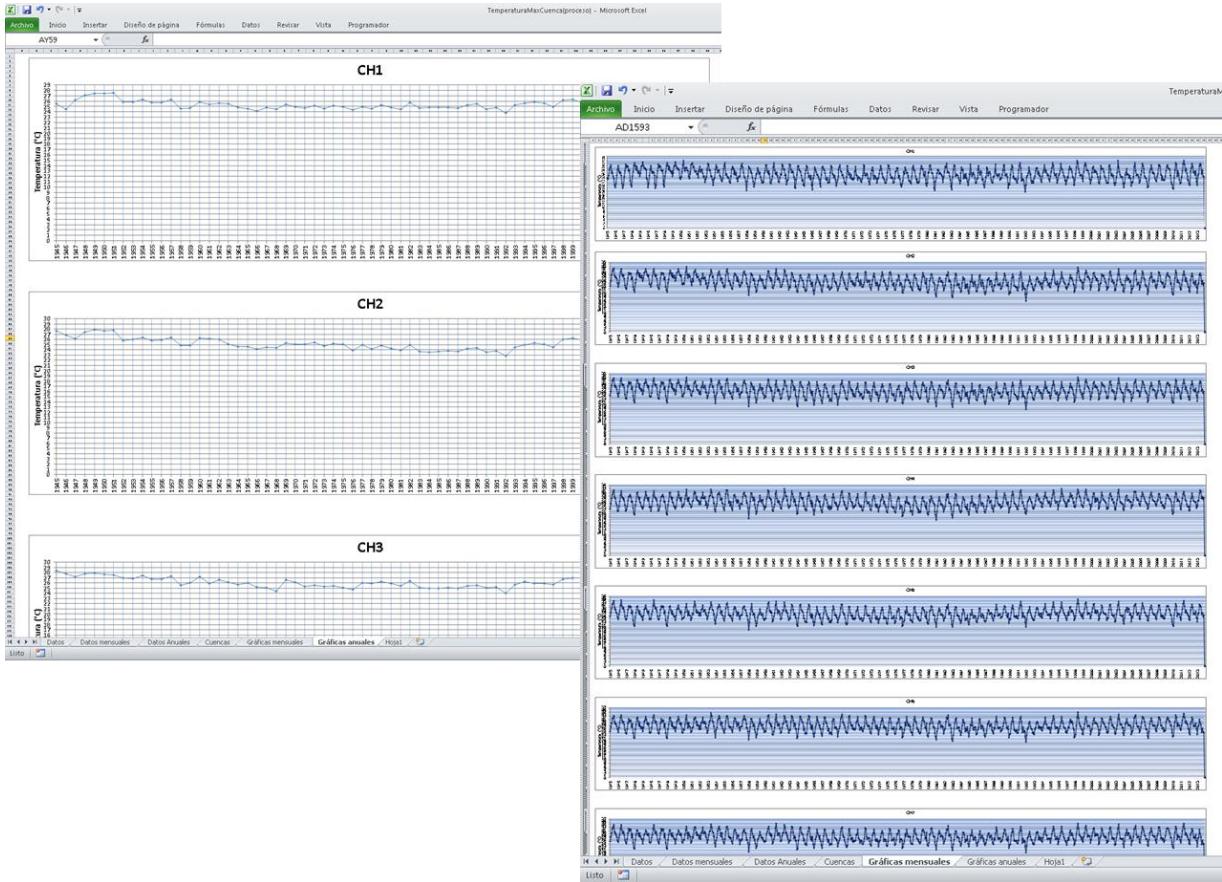


Figura 5.69. Gráficas con información mensual y anual.

Para analizar la información de temperatura mínima, máxima y promedio, fue necesario graficar los datos anuales por cuenca. A continuación se muestra un ejemplo.

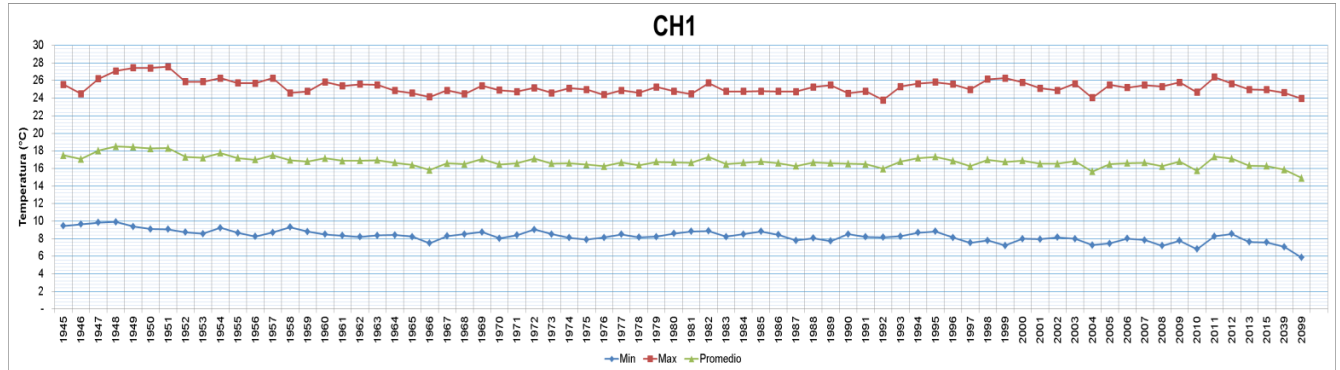


Figura 5.70. Gráfica de temperatura anual, CH1

Para cada una de las cuencas se integró en una tabla la información de temperatura máxima, mínima y su promedio. En la tabla siguiente se muestran los datos correspondientes a la cuenca 1, la información de las demás cuencas puede consultarse en el Anexo 5.13 en el archivo correspondiente.

Tabla 5.28. Temperaturas anuales de la CH1

Año/Cuencas	Temperatura (°C)			
	Variable	Min	Max	Promedio
1945		9.45	25.55	17.50
1946		9.64	24.50	17.07
1947		9.83	26.20	18.02
1948		9.90	27.10	18.50
1949		9.39	27.45	18.42
1950		9.11	27.43	18.27
1951		9.07	27.56	18.31
1952		8.74	25.87	17.30
1953		8.57	25.86	17.21
1954		9.25	26.27	17.76
1955		8.66	25.71	17.19
1956		8.26	25.70	16.98
1957		8.70	26.29	17.49
1958		9.31	24.59	16.95
1959		8.81	24.76	16.79
1960		8.49	25.83	17.16
1961		8.36	25.39	16.87
1962		8.20	25.58	16.89
1963		8.38	25.51	16.94
1964		8.43	24.87	16.65
1965		8.23	24.56	16.40
1966		7.48	24.15	15.81
1967		8.30	24.88	16.59
1968		8.51	24.47	16.49
1969		8.76	25.41	17.09
1970		8.04	24.91	16.47
1971		8.40	24.75	16.57

Año/Cuencas	Temperatura (°C)			
	Variable	Min	Max	Promedio
1972		9.05	25.17	17.11
1973		8.53	24.60	16.57
1974		8.10	25.12	16.61
1975		7.89	24.98	16.44
1976		8.13	24.38	16.25
1977		8.49	24.89	16.69
1978		8.17	24.59	16.38
1979		8.23	25.26	16.75
1980		8.60	24.79	16.70
1981		8.82	24.48	16.65
1982		8.88	25.72	17.30
1983		8.24	24.76	16.50
1984		8.52	24.77	16.65
1985		8.82	24.78	16.80
1986		8.45	24.77	16.61
1987		7.81	24.75	16.28
1988		8.08	25.28	16.68
1989		7.74	25.49	16.62
1990		8.51	24.54	16.53
1991		8.22	24.78	16.50
1992		8.16	23.79	15.97
1993		8.28	25.31	16.79
1994		8.68	25.66	17.17
1995		8.84	25.82	17.33
1996		8.14	25.59	16.87
1997		7.53	24.97	16.25
1998		7.80	26.16	16.98
1999		7.22	26.28	16.75
2000		7.98	25.79	16.88
2001		7.95	25.13	16.54
2002		8.17	24.88	16.53
2003		7.99	25.65	16.82
2004		7.28	24.04	15.66
2005		7.46	25.51	16.49
2006		8.02	25.20	16.61
2007		7.85	25.47	16.66
2008		7.20	25.31	16.26
2009		7.78	25.80	16.79
2010		6.83	24.67	15.75
2011		8.29	26.39	17.34
2012		8.56	25.65	17.10

También se generaron las gráficas mensuales donde se pueden observar las diferencias existentes entre la temperatura máxima y mínima por cuenca y se les aplicó una línea de tendencia con la cual se obtuvieron sus ecuaciones de regresión. Con estas ecuaciones se puede observar que se tienen cuencas con temperaturas máximas y mínimas que tienen a incrementarse o a disminuirse.

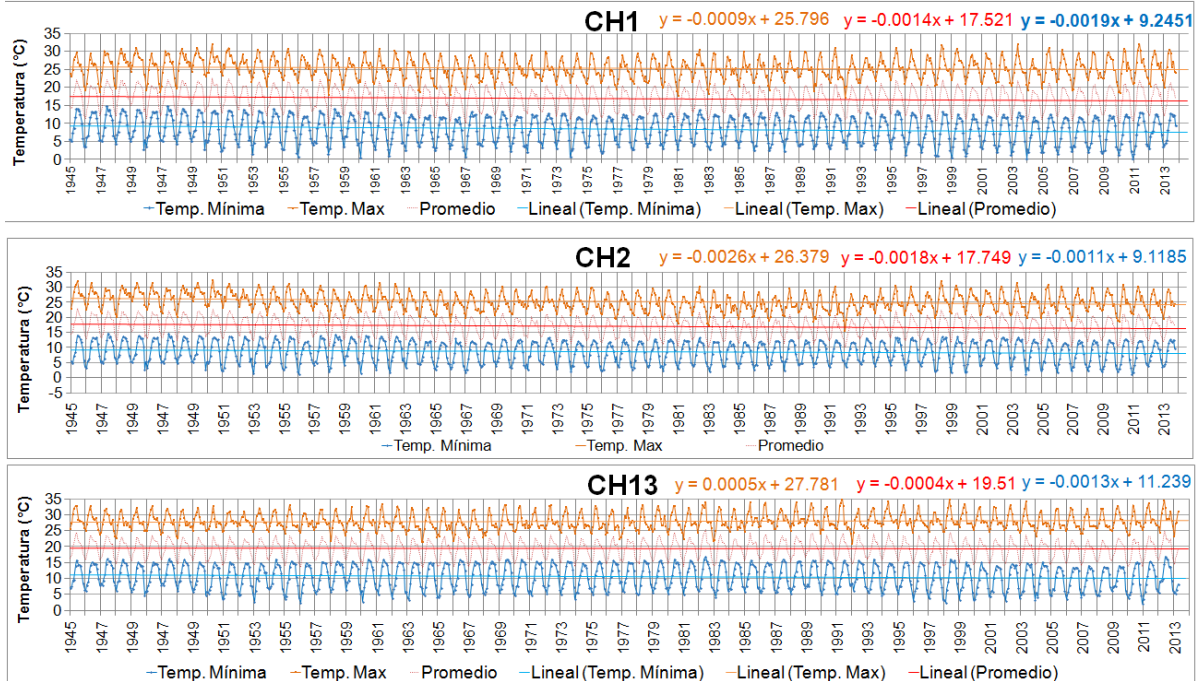


Figura 5.71. Gráfica de temperaturas mensuales

También se realizó el análisis de tendencia aplicando regresión lineal de las temperaturas máximas y mínimas medias anuales, y se obtuvieron las ecuaciones correspondientes.

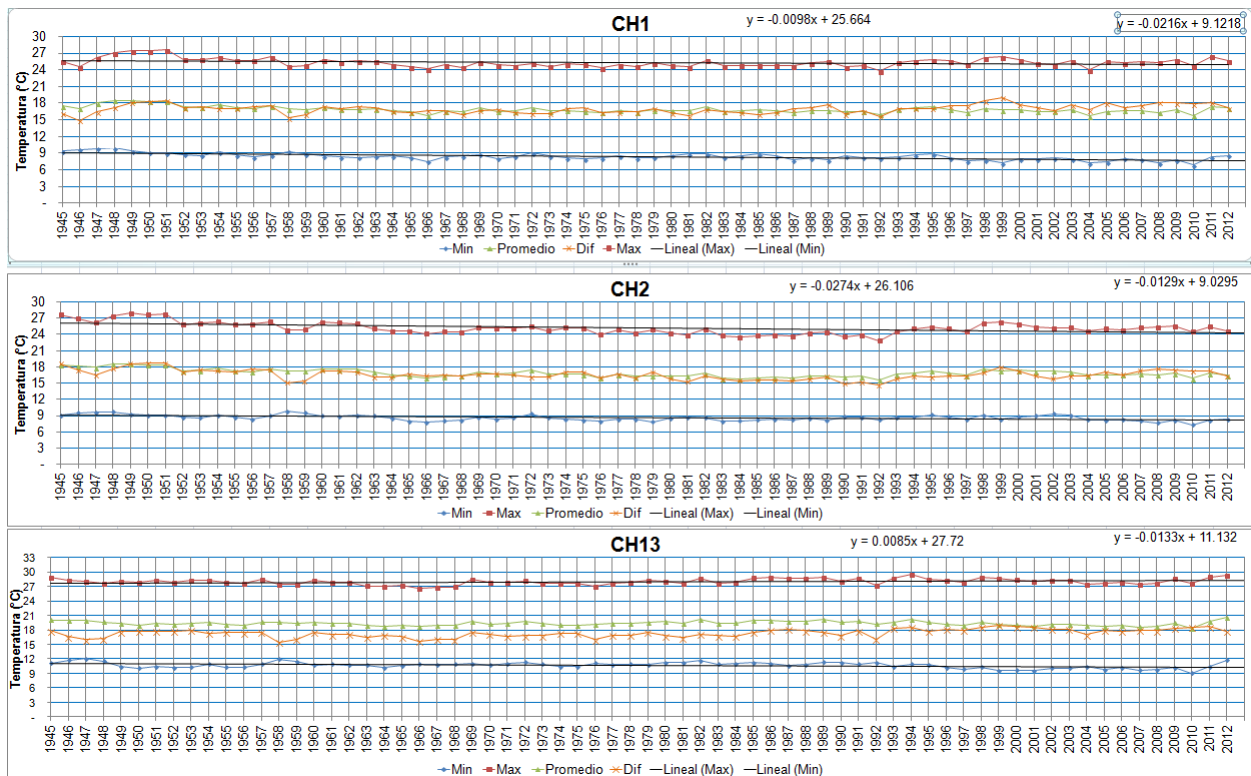


Figura 5.72. Gráfica de temperaturas anuales

En la siguiente figura se muestran las pendientes obtenidas (primer término de la ecuación lineal) de las temperaturas mensuales y anuales, con este valor se puede tener una primera aproximación del comportamiento histórico a partir de 1945 y hasta el 2012, es decir, se puede visualizar si en este periodo las temperaturas tienden a incrementarse o a disminuir. En el gráfico siguiente, las barras con valores positivos indican que las temperaturas se han incrementado en el periodo analizado, y las barras con valores negativos indican que las temperaturas han disminuido.

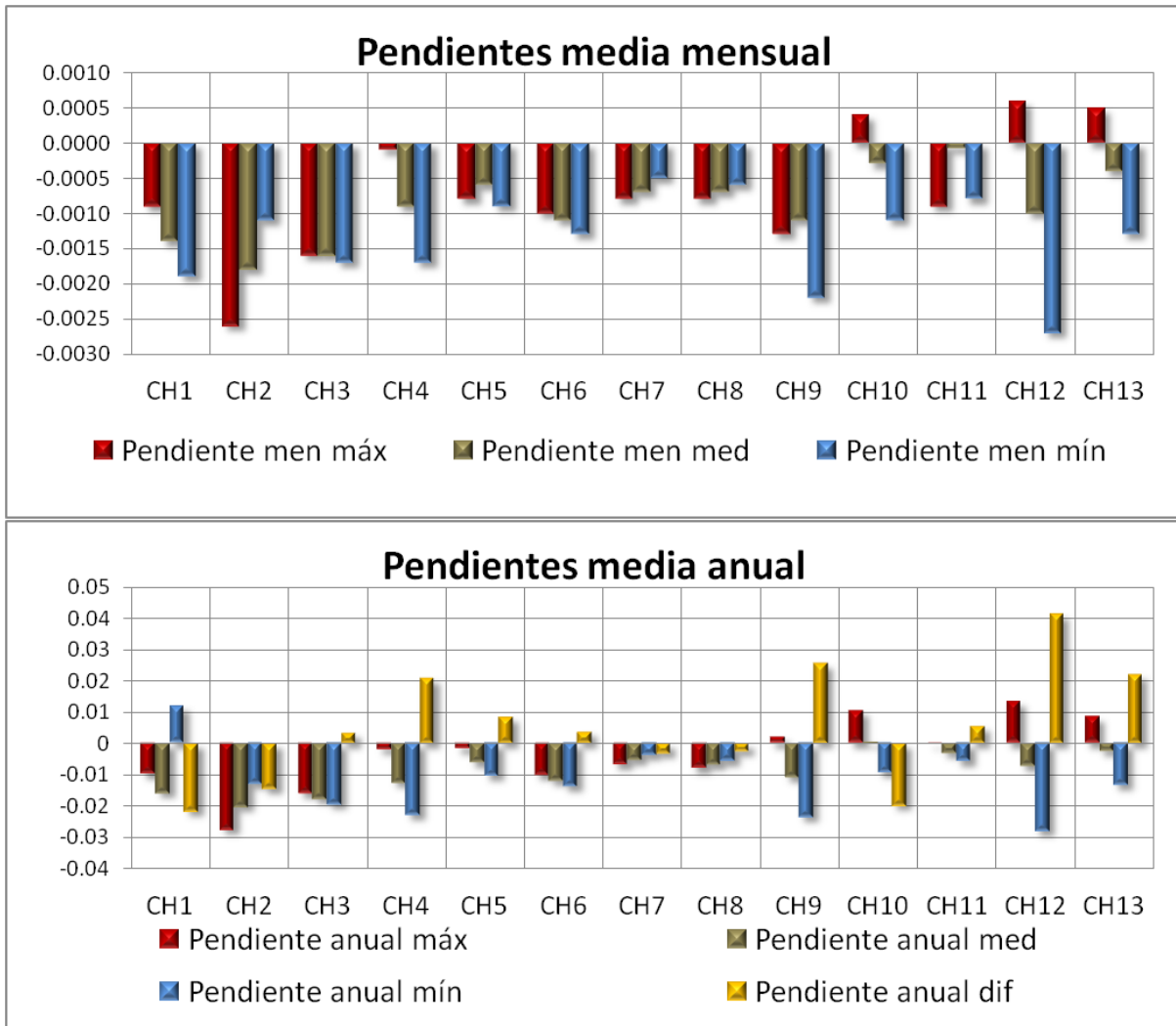


Figura 5.73. Pendientes mensuales y anuales de temperaturas por cuenca

Además del análisis anterior, para cada una de las cuencas, se revisó el comportamiento de la temperatura máxima por mes en el periodo 1945-2012 y se obtuvieron los valores de las pendientes. Para el caso de la cuenca CH2 se puede observar que en todos sus meses, excepto en mayo, el valor de la pendiente resultó negativo. Las 2 figuras siguientes muestran los resultados de este análisis.



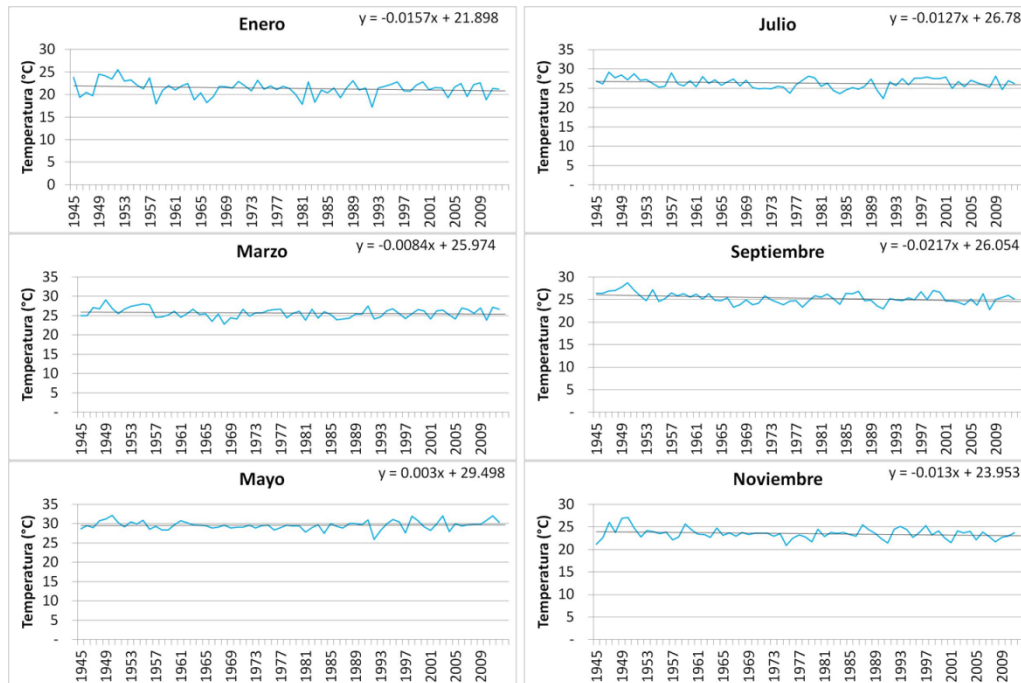


Figura 5.74. Pendientes de temperatura máxima por mes del periodo 1945-2012 de la cuenca CH1

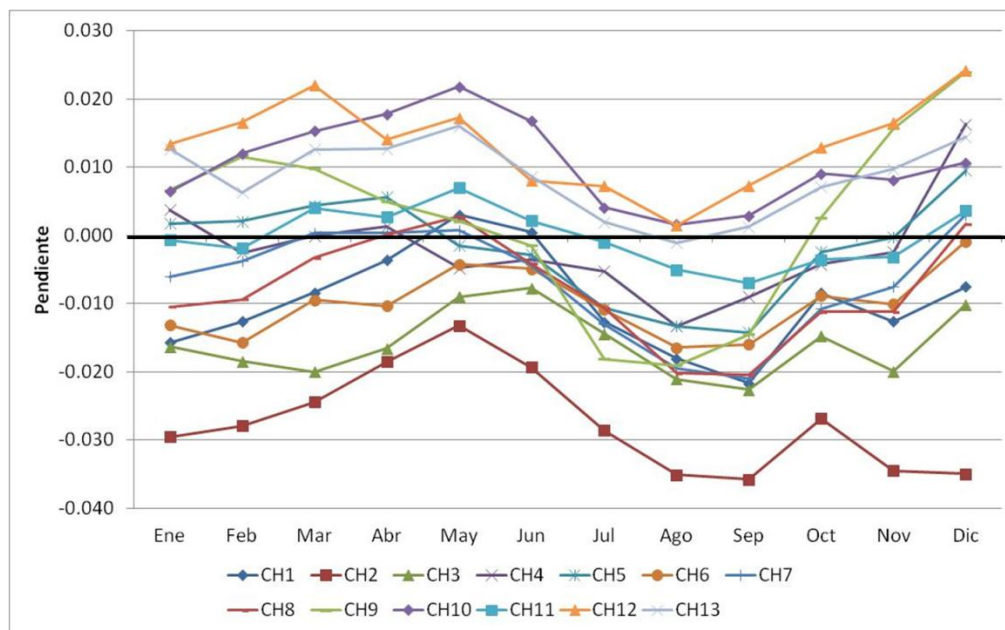


Figura 5.75. Pendientes de temperatura máxima por mes del periodo 1945-2012 por cuenca

El análisis anterior se realizó buscando alguna tendencia en el periodo 1945-2012. Debido a la variabilidad y el bajo ajuste que mostró la línea de tendencia con los valores registrados, se optó por realizar un análisis de tendencias decenal, es decir, se aplicó la línea de tendencia a periodos de 10 años a partir de 1945, el resultado de dicho análisis arrojó que existe una gran variabilidad en las temperaturas máximas, ya que se puede observar que en un mismo decenio algunas cuencas incrementaron su temperatura y en otras tiende a decrecer.

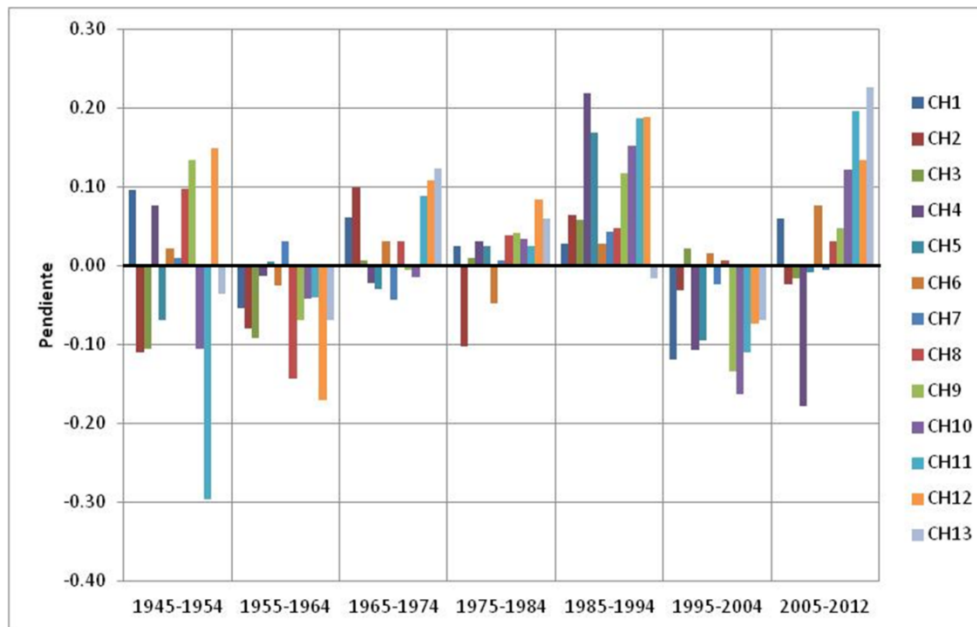


Figura 5.76. Pendientes de temperatura máxima por periodos decenales por cuenca

Como parte del análisis de la temperatura a través de la historia, se revisó el comportamiento de la temperatura mínima por mes en el periodo 1945-2012 y se obtuvieron los valores de las pendientes. Como resultado se observó que en la mayoría de las cuencas las pendientes resultaron negativas, excepto en tres, en donde en el mes de febrero se muestra un ligero incremento.

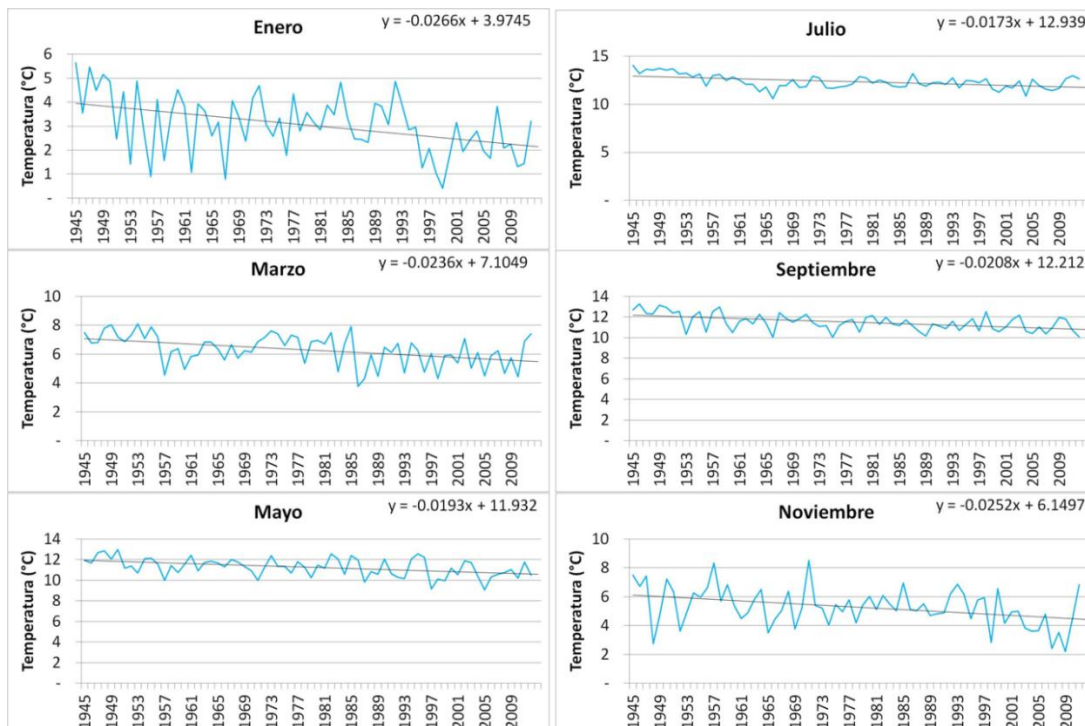


Figura 5.77. Pendientes de temperatura mínima por mes del periodo 1945-2012 de la cuenca CH1

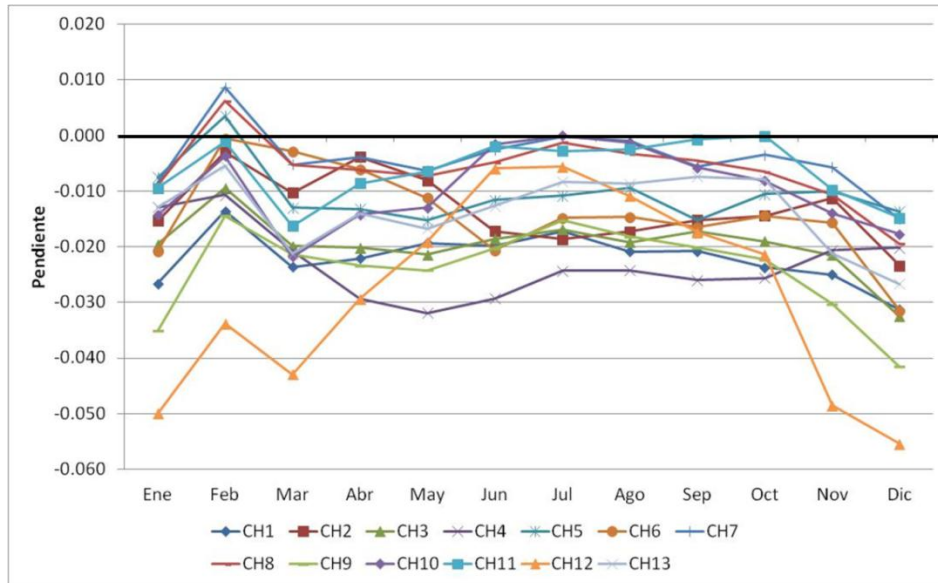


Figura 5.78. Pendientes de temperatura mínima por mes del periodo 1945-2012 por cuenca

También se analizó la tendencia decenal para la temperatura mínima a partir de 1945. En el último periodo 2005-2012 las tendencias se incrementaron hasta en un 0.50 del valor de su pendiente, sin embargo hasta antes de este periodo la tendencia decenal fue muy variable.

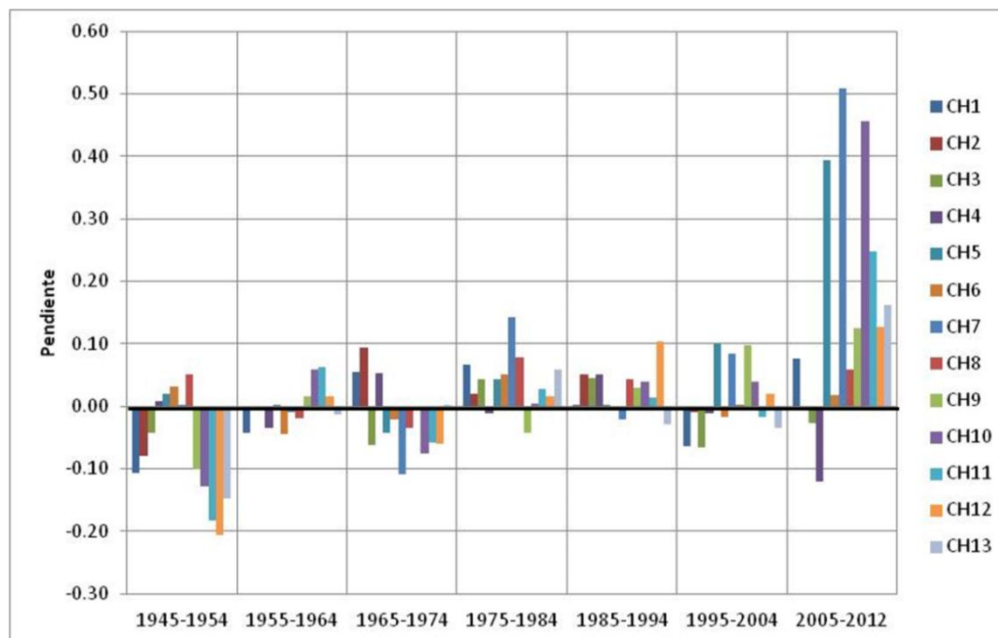


Figura 5.79. Pendientes de temperatura mínima por periodos decenales por cuenca

Los resultados de tendencias anteriores se realizaron con los valores absolutos de las temperaturas máximas y mínimas.

El análisis anterior se realizó buscando alguna tendencia en el periodo 1945-2012. Sin embargo, se observa una gran *variabilidad* en los datos y *bajo ajuste* con base en los valores registrados.

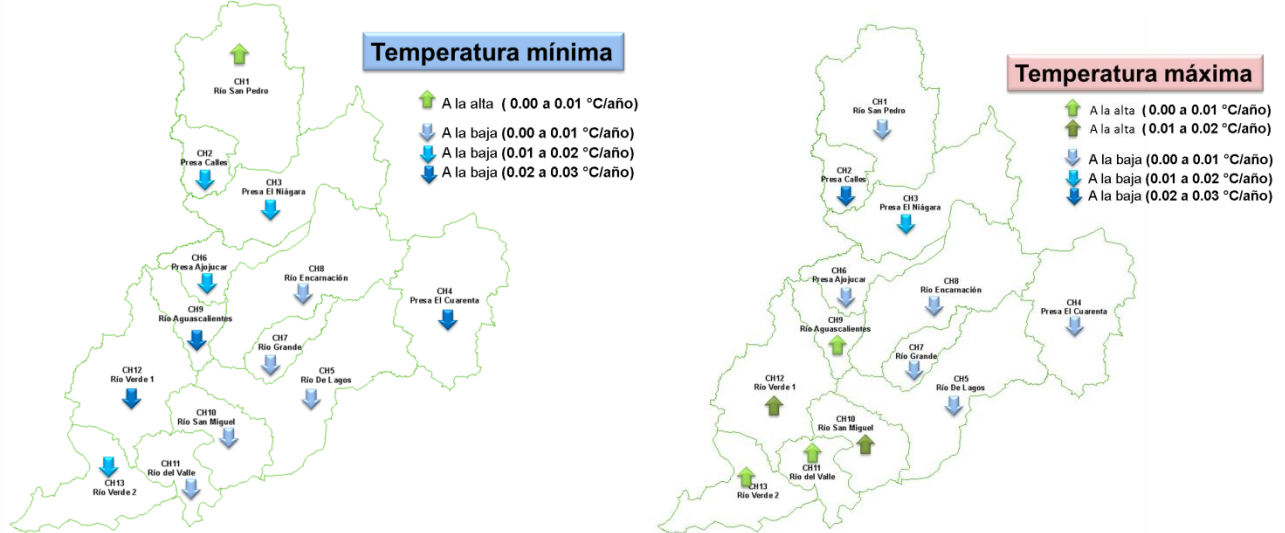


Figura 5.80. Comportamiento de las temperaturas anuales por cuenca (regresión lineal)

Un proceso adicional fue el análisis de las anomalías con respecto a la media del periodo 1945-2012, es decir, el incremento de la temperatura con respecto al valor medio de ese periodo.

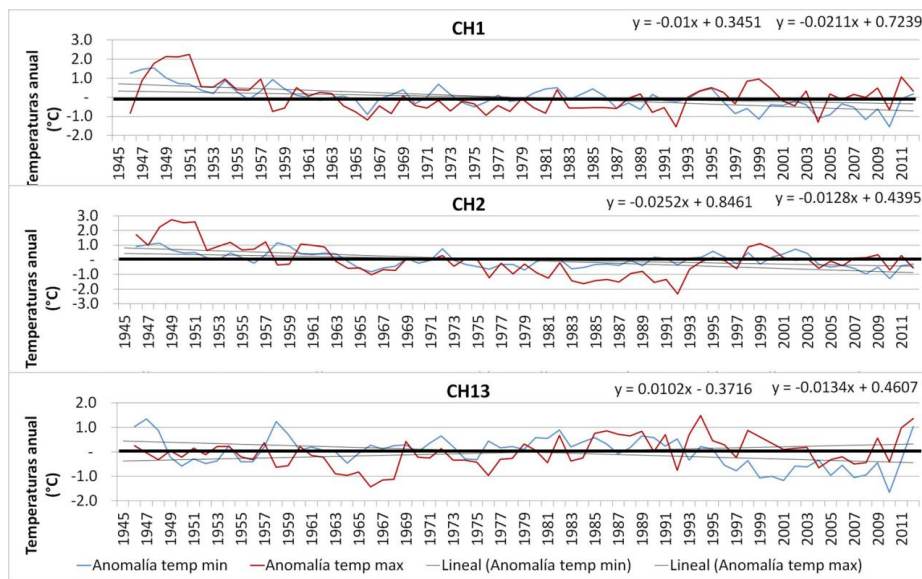


Figura 5.81. Anomalía de temperatura máxima y mínima anual respecto al promedio en el periodo 1945-2012

En la siguiente figura se muestran los valores de las pendientes de las anomalías por cuenca, en ella se observa que para la temperatura mínima la pendiente tiende a la baja en todas las cuencas, sin embargo, para la temperatura máxima en las cuencas CH5, CH9, CH10, CH11, CH12 y CH13 se presenta una tendencia a la alza.

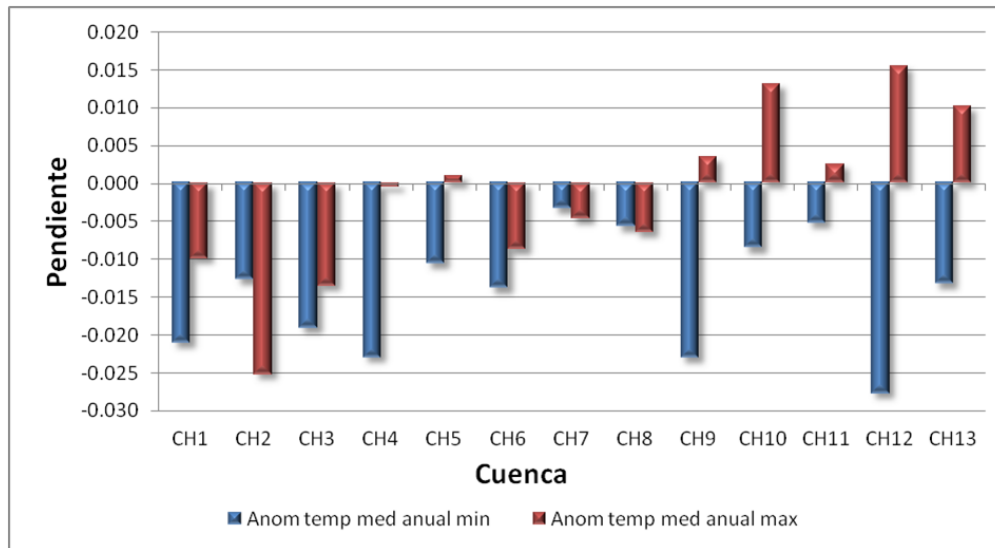


Figura 5.82. Tendencias de las anomalías de temperatura máxima y mínima anual respecto al promedio en el periodo 1945-2012

Finalmente utilizando la información anterior, se obtuvo la proyección al año 2039 y 2099, ya que estos son los años que se utilizan en los escenarios de cambio climático al futuro cercano (2015-2039) y futuro lejano (2075-2099) que se verán más adelante. En los siguientes gráficos se aprecia el cambio a los años proyectados de la temperatura máxima y mínima. Es necesario resaltar que estas proyecciones tienen una muy baja probabilidad de ocurrencia.

Si aplicamos las pendientes antes obtenidas a los registros históricos, se podría visualizar que se esperan descensos de la temperatura máxima en las cuencas de la 1 a la 8 e incrementos de la 9 a la 13. Sin embargo, para la temperatura mínima, bajo ese mismo esquema, se proyectan descensos en todas las cuencas (1 a 13), particularmente, en la cuenca 12 el descenso podría ser de hasta  $-3.4^{\circ}\text{C}$  al año 2099.

Es importante mencionar que estos valores proyectados son producto de las ecuaciones de *tendencias lineales con muy bajo grado de ajuste*, debido a la gran *variabilidad* de temperaturas, las cuales no mostraron tendencias significativas.

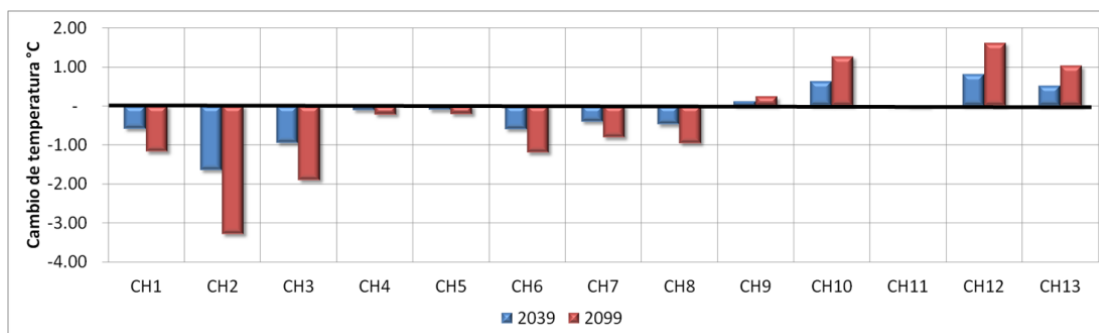


Figura 5.83. Tendencia de temperatura máxima al 2039 y 2099

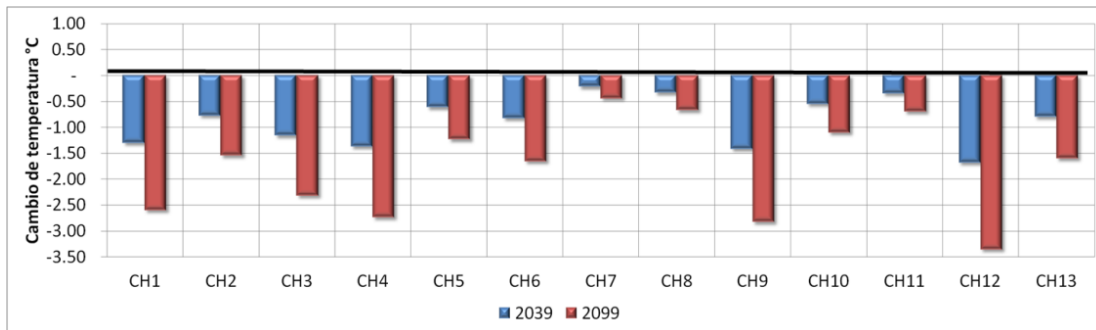


Figura 5.84. Tendencia de temperatura mínima al 2039 y 2099

Es importante mencionar que estos valores proyectados son producto de las ecuaciones de *tendencias lineales con muy bajo grado de ajuste*, debido a la gran *variabilidad* de temperaturas, las cuales no mostraron tendencias significativas.

### Precipitación

Se procesó la información de precipitación en cuanto a la lluvia acumulada mensual y la acumulada anual, generando en cada una de las series una línea de tendencia y obteniendo su ecuación de regresión lineal (Anexo 5.13).

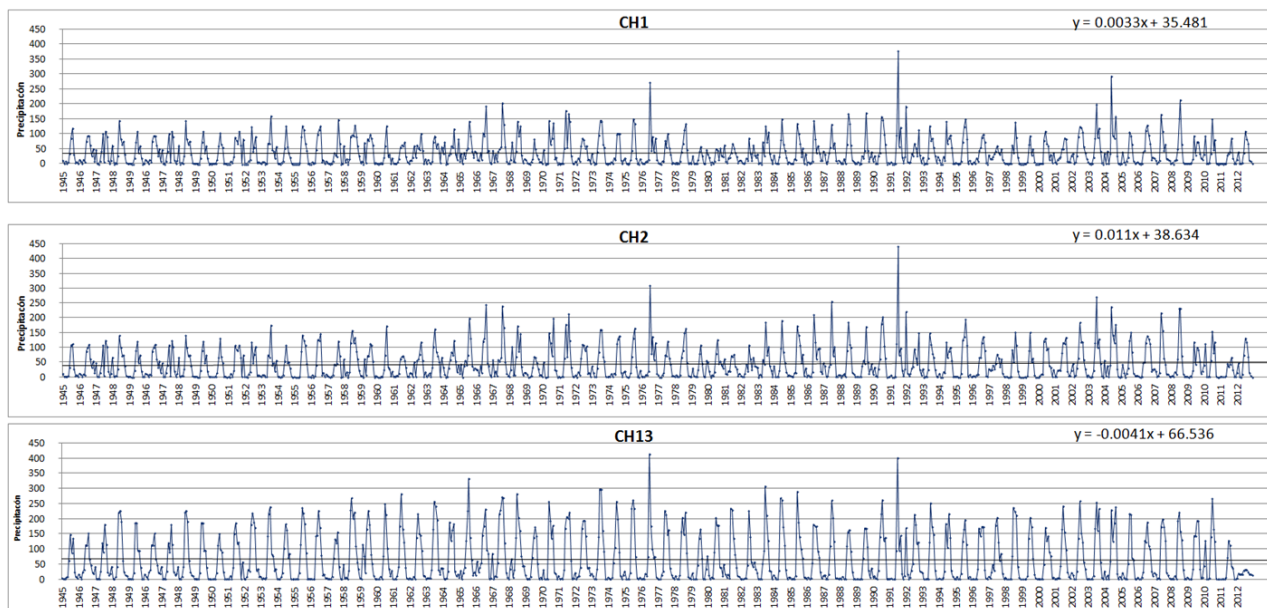


Figura 5.85. Precipitación media mensual (mm) 1945-2012

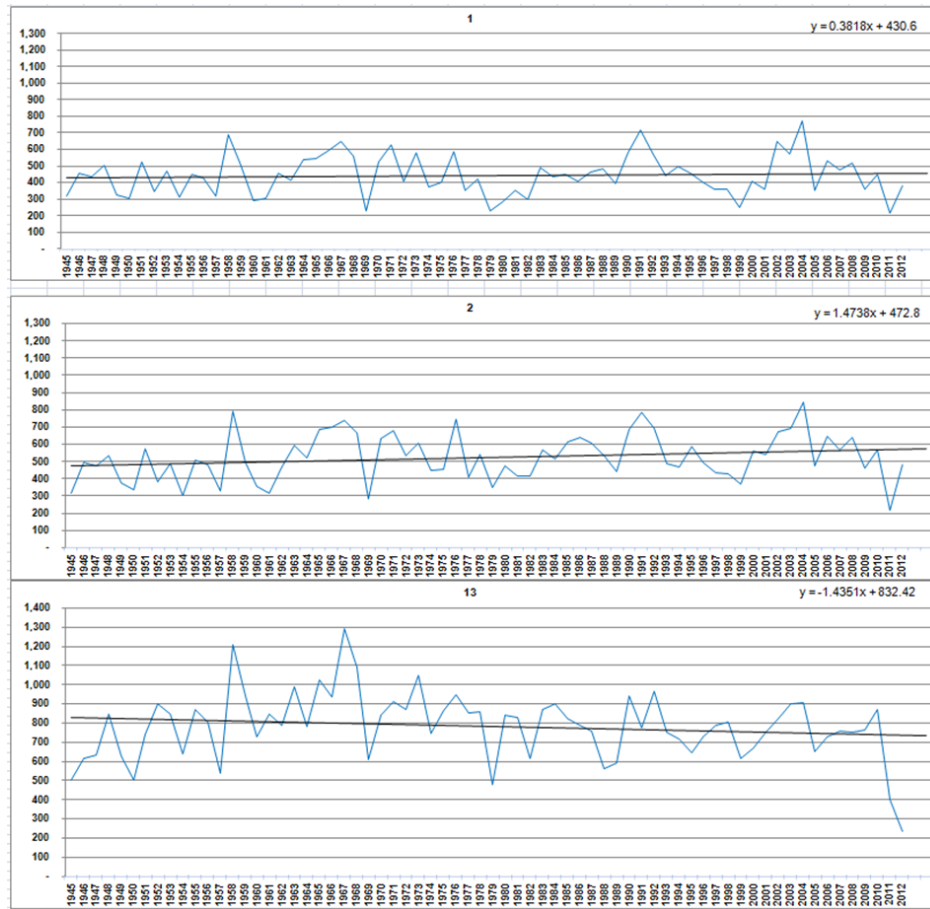


Figura 5.86. Precipitación media anual (mm) 1945-2012

De la ecuación generada por regresión lineal, se obtuvo el valor del primer término de la ecuación de las series anuales, esto con el objeto de visualizar la tendencia de la variable. Basados en dicha información se pudo observar que el comportamiento en las cuencas CH1, CH2, CH3, CH6 y CH12 la precipitación tiene una pendiente positiva (incremento en la precipitación) mientras que en el resto es negativa.

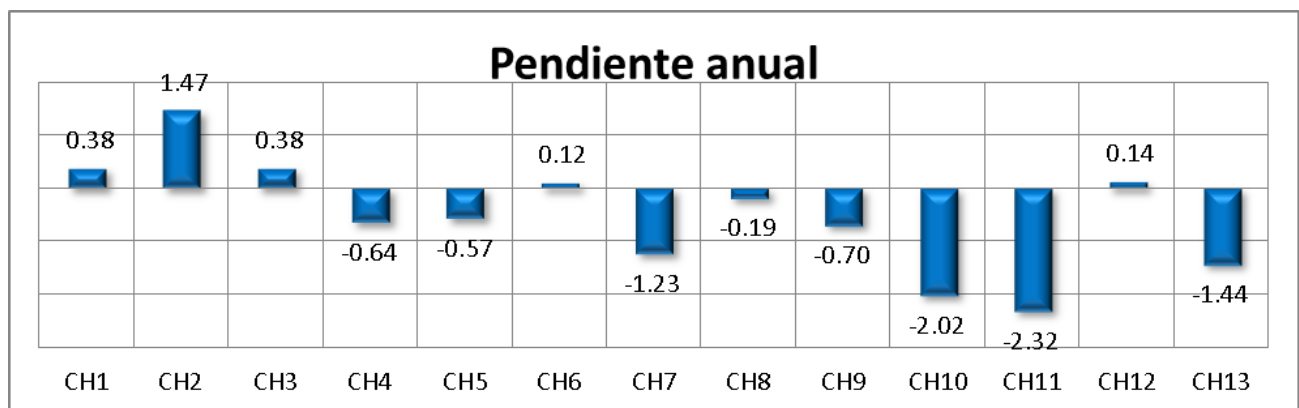


Figura 5.87. Pendiente de precipitación media mensual y anual 1945-2012

Los valores anteriores se obtuvieron utilizando datos de precipitación media anual.

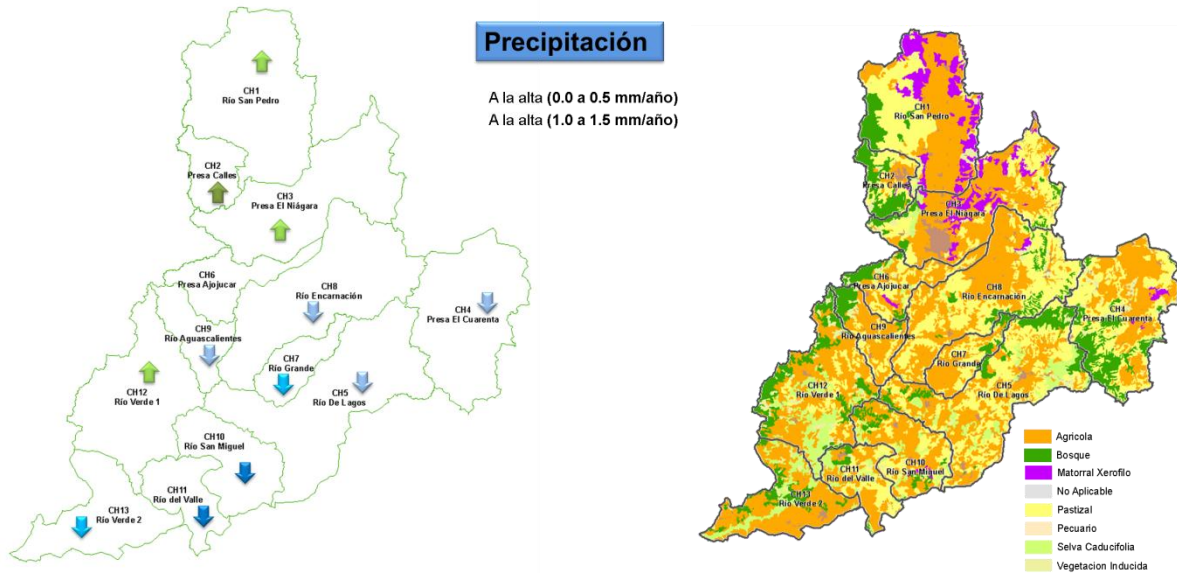


Figura 5.88. Comportamiento de las temperaturas anuales por cuenca (regresión lineal)

Por otro lado, se analizó el comportamiento de la lluvia en cada mes en el periodo 1945-2012. A estas series mensuales también se les ajustó una línea de tendencia con regresión lineal dando como resultado un ajuste muy bajo, lo cual indica que la precipitación ha sido totalmente variable en este periodo.

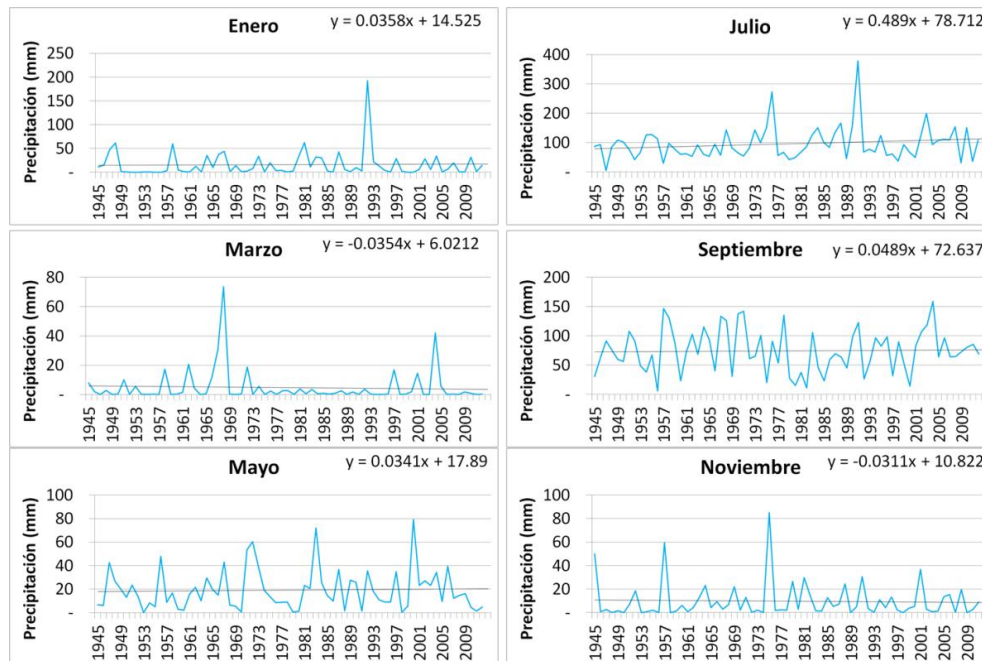


Figura 5.89. Precipitación por mes del periodo 1945-2012 para la cuenca CH1



Con el ajuste de tendencia de la precipitación por mes se obtuvo el valor de la pendiente. Como ejemplo se tiene que el mes de Julio muestra una tendencia a la alza para la mayoría de las cuencas.

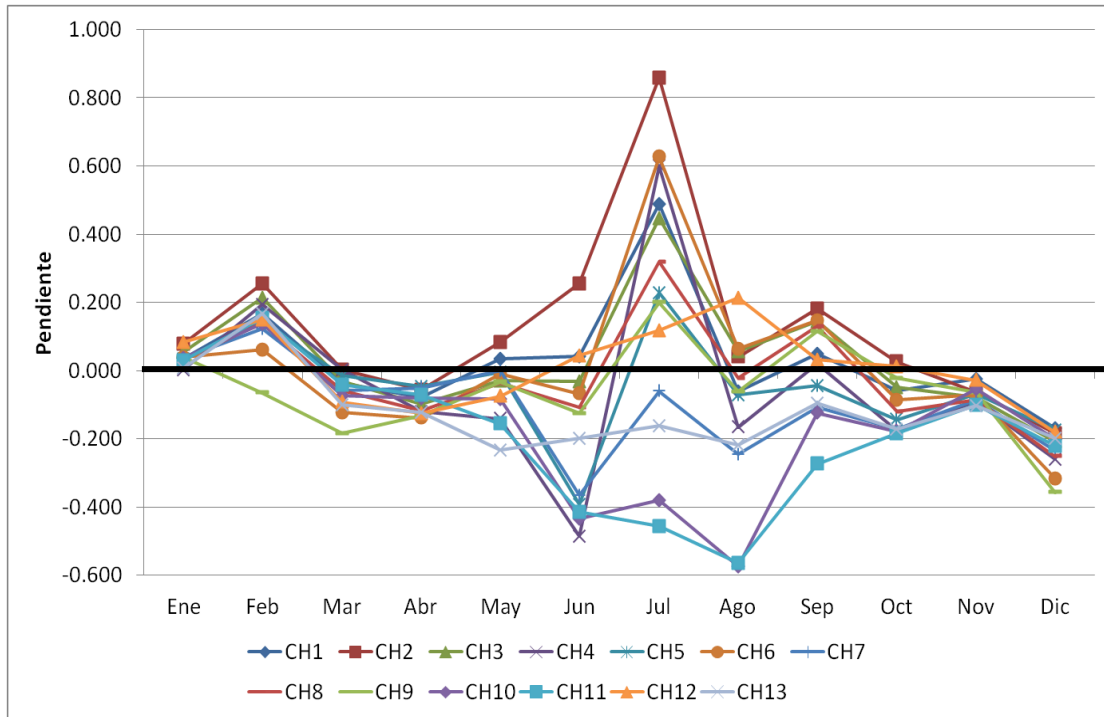


Figura 5.90. Pendiente de precipitación por mes en el periodo 1945-2012

Tal como se hizo con las temperaturas máximas y mínimas se realizó el análisis tendencial de la precipitación por decenio.

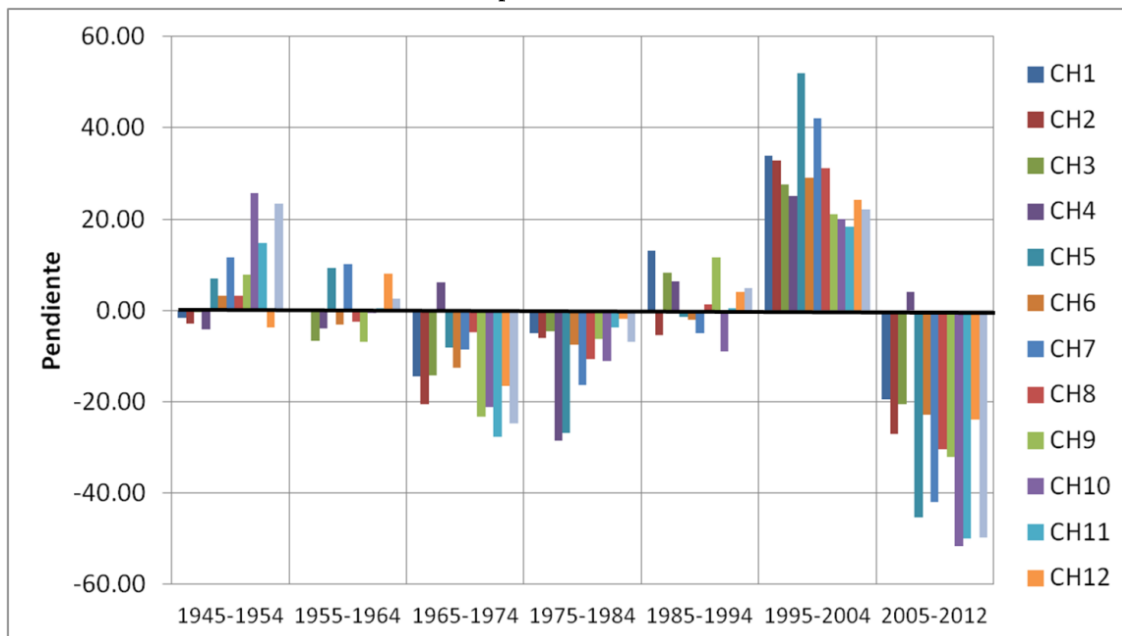


Figura 5.91. Pendiente de precipitación media anual por periodos decenales y por cuenca

Finalmente, utilizando la información anterior, se obtuvo la proyección al año 2039 y 2099, ya que estos son los años que se utilizan en los escenarios de cambio climático al futuro cercano (2015-2039) y futuro lejano (2075-2099) que se verán más adelante. En los siguientes gráficos se aprecia el cambio a los años proyectados (estimados con baja probabilidad de ocurrencia) de la precipitación.

Si aplicamos el resultado del análisis anterior para la precipitación, sólo en las cuencas 1, 2, 3, 6 y 12 se esperarían incrementos en el valor, como se observa en la siguiente figura.

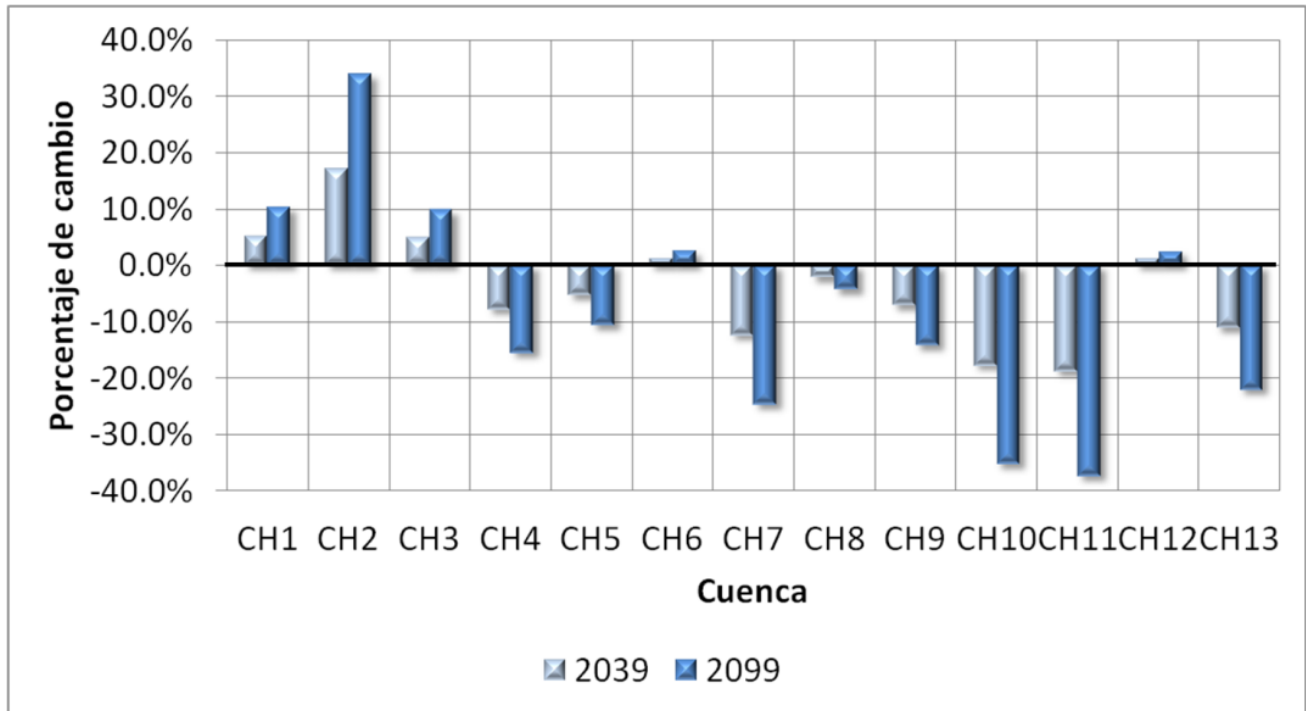


Figura 5.92. Tendencia de precipitación al 2039 y 2099

Es importante mencionar que estos valores proyectados son producto de las ecuaciones de tendencias lineales con muy bajo grado de ajuste, debido a la gran variabilidad de precipitación, las cuales no mostraron tendencias significativas.

### Evapotranspiración

Antes de analizar la evapotranspiración (ET) se debe tomar en cuenta que esta variable permite evaluar o medir en forma conjunta dos fenómenos que son parte del ciclo hidrológico: la evaporación y la transpiración. Además, es conveniente mencionar lo siguiente:

- La evaporación y la transpiración son difíciles de medir por separado. Para los estudios de disponibilidad de agua superficial es de mayor interés conocer la cantidad total de agua que se pierde a la atmósfera, ya que el volumen de agua disponible está dado por lo que llueve menos lo que se evapotranspira.

Existen dos tipos de evapotranspiración: potencial y real, las cuales se describen a continuación.

- La evapotranspiración potencial (ETP) se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas (suelo húmedo y desarrollo vegetal).
- La evapotranspiración real (ETR) es condicionada por la disponibilidad de agua, cuando ésta es suficiente su valor es el de la ETP; cuando hay déficit hídrico la ETR es inferior a la ETP.

Entre los factores que influyen en la ET se pueden mencionar la radiación solar; la temperatura ( en relación estrecha con la anterior pero más sencilla de medir); la humedad (menos humedad => más evaporación); la presión atmosférica altitud en relación con ella (a menor presión y/o mayor altitud => más evaporación); y el viento (más viento => más evaporación).

En la NOM-011-CNA-2000 se establece que uno de los métodos indirectos para calcular el volumen por cuenca propia (Cp) es el método de TURC. Este método es apropiado para el cálculo de Cp bajo los escenarios de cambio climático ya que considera la variación en las temperaturas.

El método de TURC establece que para calcular el volumen por Cp en milímetros se debe obtener la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración dada por la ecuación:

$$E = P - ETR \quad (24)$$

Donde:  $E$  = Esgurrimiento específico anual, en mm  
 $P$  = Precipitación anual, en mm  
 $ETR$  = Evapotranspiración real en la cuenca, en mm

La  $ETR$  se calcula con la siguiente expresión:

Si  $P > 0.31L$  entonces

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \quad (25)$$

Donde  $L$  se obtiene como:

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad (26)$$

Donde a su vez:  $P$  = Precipitación anual, en mm  
 $T$  = Temperatura media, en °C

Si  $P < 0.31L$  entonces

$$ETR = P \quad (27)$$

El volumen medio anual de esgurrimiento natural (Cp), en m<sup>3</sup>, se obtiene con la expresión:

$$Cp = E A$$

Donde:  $A$  es el área de la cuenca, en m<sup>2</sup>  
 $E$  = Esgurrimiento específico anual, en m

Con el método de TURC se estimó la evapotranspiración real histórica (Anexo 5.13) utilizando la temperatura media (producto de la temperatura máxima y mínima) y la precipitación.

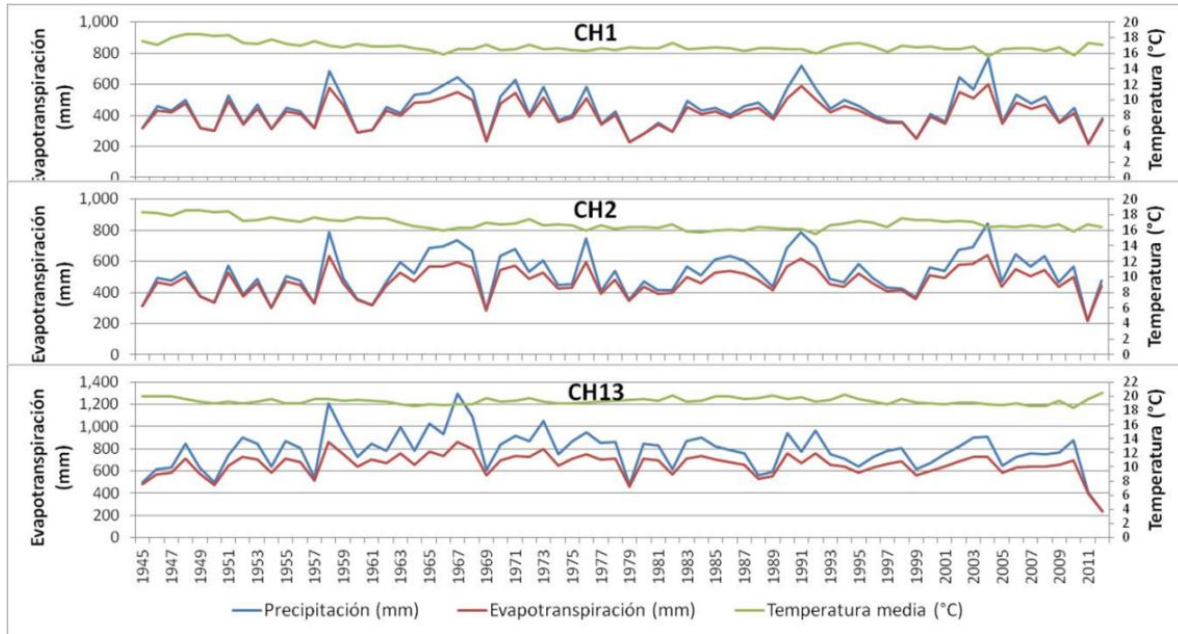


Figura 5.93. Evapotranspiración real en el periodo 1945-2012, método de TURC

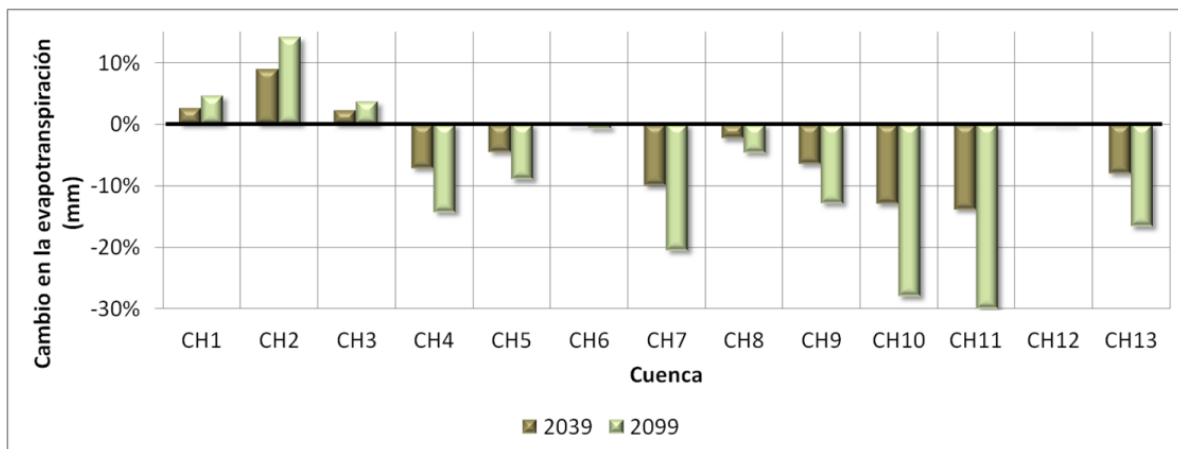


Figura 5.94. Tendencia de evapotranspiración al 2039 y 2099

Finalmente, con los datos obtenidos se realizó una proyección de los registros históricos al año 2039 y 2099, sin embargo al ser la evapotranspiración muy dependiente de la precipitación (dada la forma de la ecuación de TURC) se observa un mismo comportamiento.

Es importante mencionar que estos valores proyectados son producto de las ecuaciones de tendencias lineales con muy bajo grado de ajuste, debido a la gran variabilidad de precipitación y temperaturas, las cuales no mostraron tendencias significativas.

### Cuenca propia

Se aplicó la ecuación del método de TURC a la serie de datos (1945-2012) de precipitación anual y temperaturas medias anuales, con ello se obtuvo una serie histórica de volumen por cuenca propia de todo el periodo.

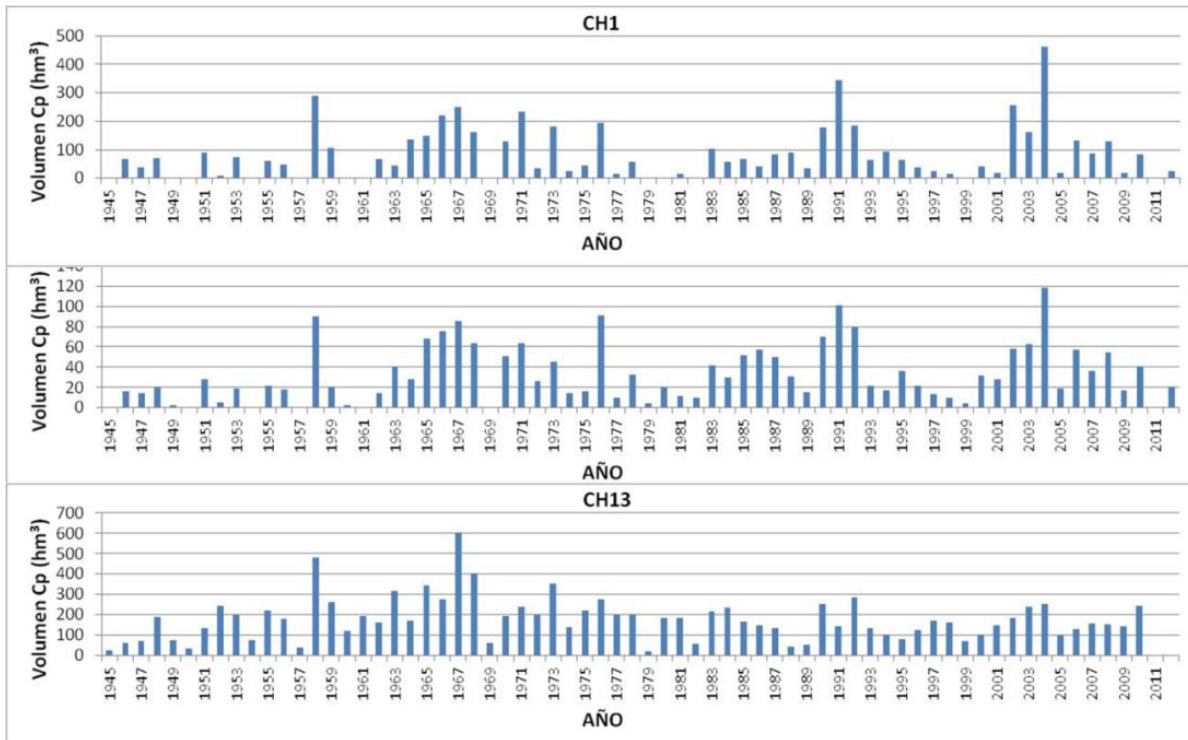


Figura 5.95. Volumen por cuenca propia estimado con el método de TURC

Por otro lado, para el cálculo del volumen de cuenca propia (Cp) promedio del periodo se obtuvo el valor promedio de precipitación y temperatura media de la serie de registros históricos de 1945 a 2012 y se aplicó la ecuación del método de TURC. Los resultados obtenidos pueden visualizarse en el gráfico siguiente.

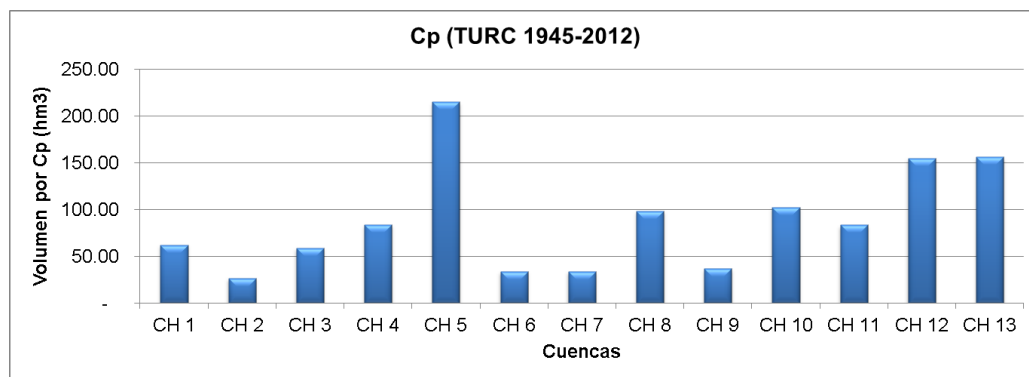


Figura 5.96. Volumen de Cp obtenido por el método de TURC

### 5.5.2 Cambio Climático

De acuerdo con el *Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, por "cambio climático" se entiende como un **cambio de clima** atribuido directa o indirectamente a la **actividad humana** que altera la composición de la atmósfera mundial y que se **suma** a la **variabilidad natural del clima** observada durante períodos comparables.

Por otra parte, en el *Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, la **variabilidad climática** es definida como las **variaciones** del estado **promedio** y otros datos estadísticos del **clima** en escalas temporales y espaciales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos puntuales.

#### Antecedentes

Como parte de las investigaciones relacionadas al cambio climático en México, se cuenta con el 4° y 5° Reporte Intergubernamental de Cambio Climático. En el 4° Reporte se presenta los cambios en las temperaturas, en el nivel del mar y en la cubierta de nieve del hemisferio norte considerando un periodo de 1850 al 2005 en el cual se aprecian incrementos en la temperatura y en el nivel del mar y decrementos en la cubierta de nieve.

Cambios en la temperatura, en el nivel del mar y en la cubierta de nieve del Hemisferio Norte

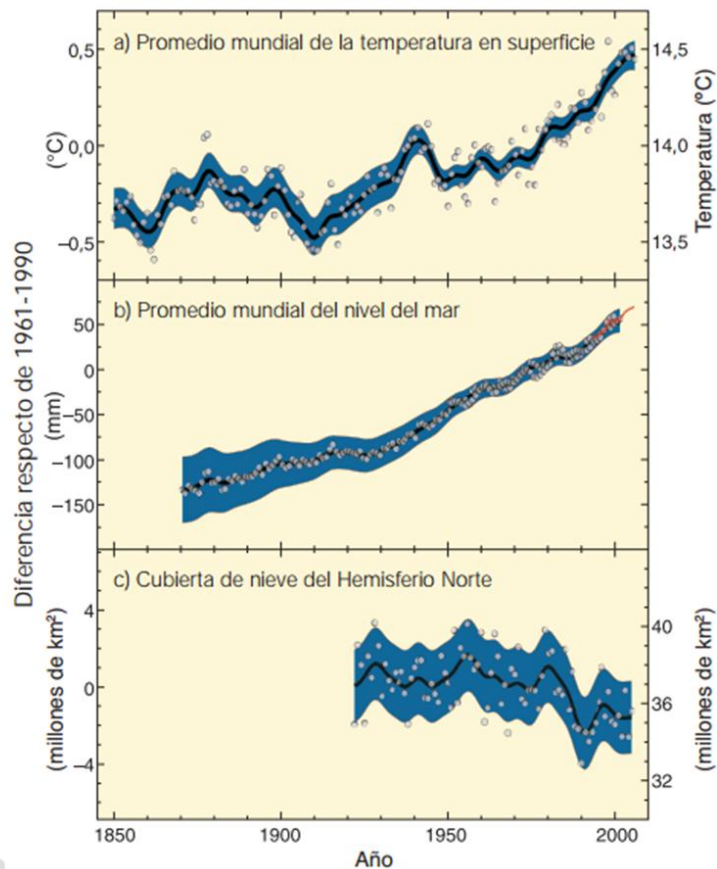


Figura 5.97. Tendencias de temperatura, nivel del mar y cubierta de nieve, 4° reporte de Cambio Climático

En el 5° Reporte se menciona que las condiciones prevalecen, a excepción del incremento en las temperaturas, las cuales a partir de 2000 se estacionaron, es decir, se mantuvieron en el mismo orden de anomalía.

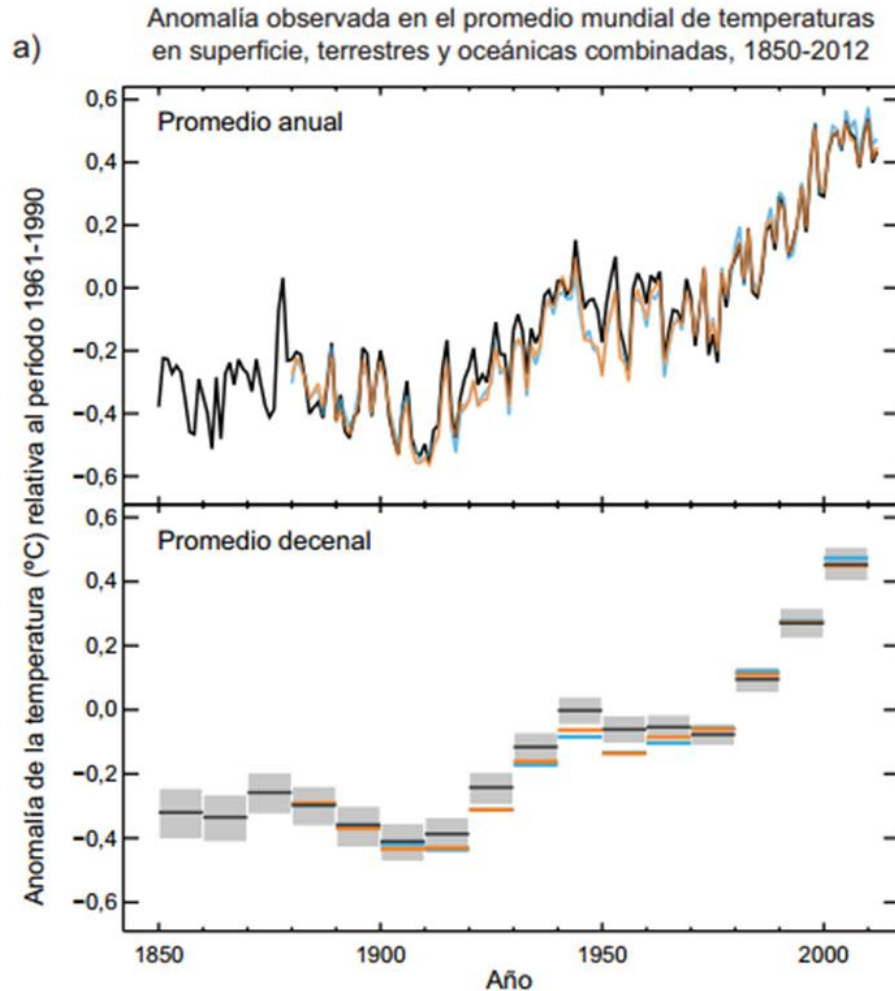


Figura 5.98. Tendencias de temperatura, nivel del mar y cubierta de nieve, 5° Reporte de Cambio Climático

Una de las diferencias observadas en el 4° Reporte con respecto al 5° fue el periodo considerado para la obtención de las anomalías a partir de los valores medios. En el 4° Reporte las anomalías se obtuvieron en el periodo 1980-1999 y en el 5° en el periodo 1961-2000.

Tomando en cuenta lo anterior y considerando que en el presente estudio se contaba con información histórica del periodo de 1945 a 2013, se realizó el ejercicio de obtener las tendencias (pendientes) de los registros históricos de la temperatura media usando datos del periodo 1961-2000.

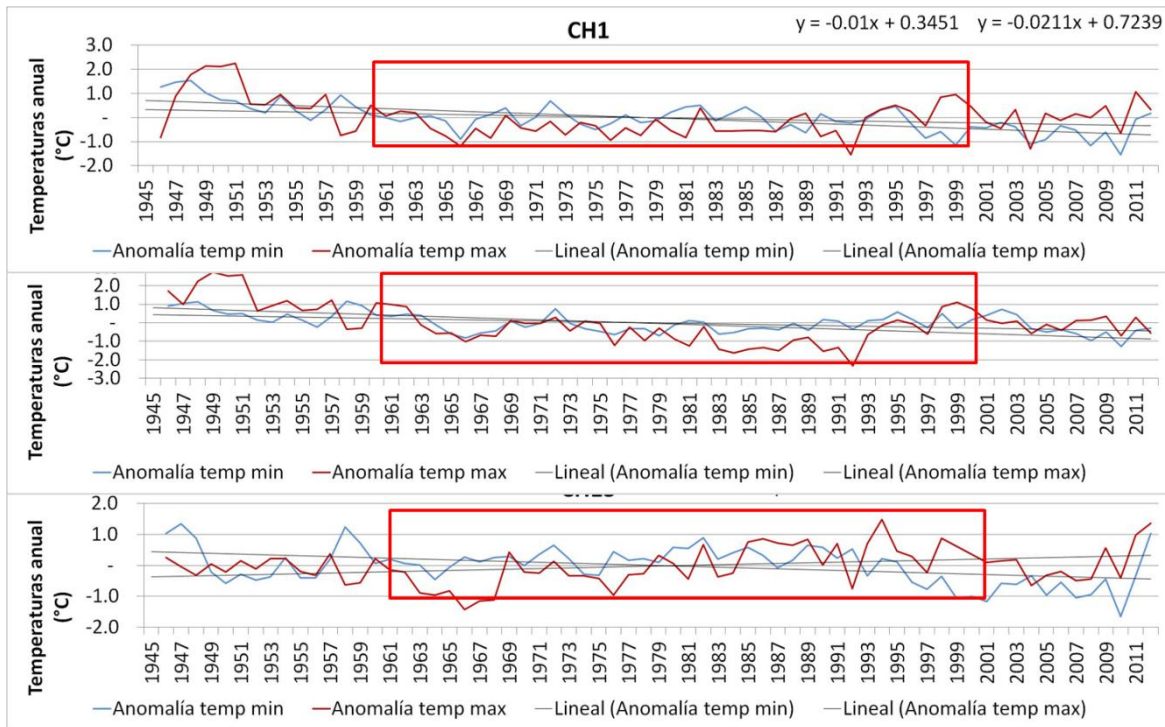


Figura 5.99. Datos del periodo 1961-2000 para obtención de pendientes de temperatura

Al comparar los resultados, se observó que las pendientes cambian, esto es, al cambiar el periodo de análisis de 1945-2012 a 1961-2000 las pendientes se invierten o disminuyen, presentándose ahora, en la mayoría de los casos, pendientes positivas.

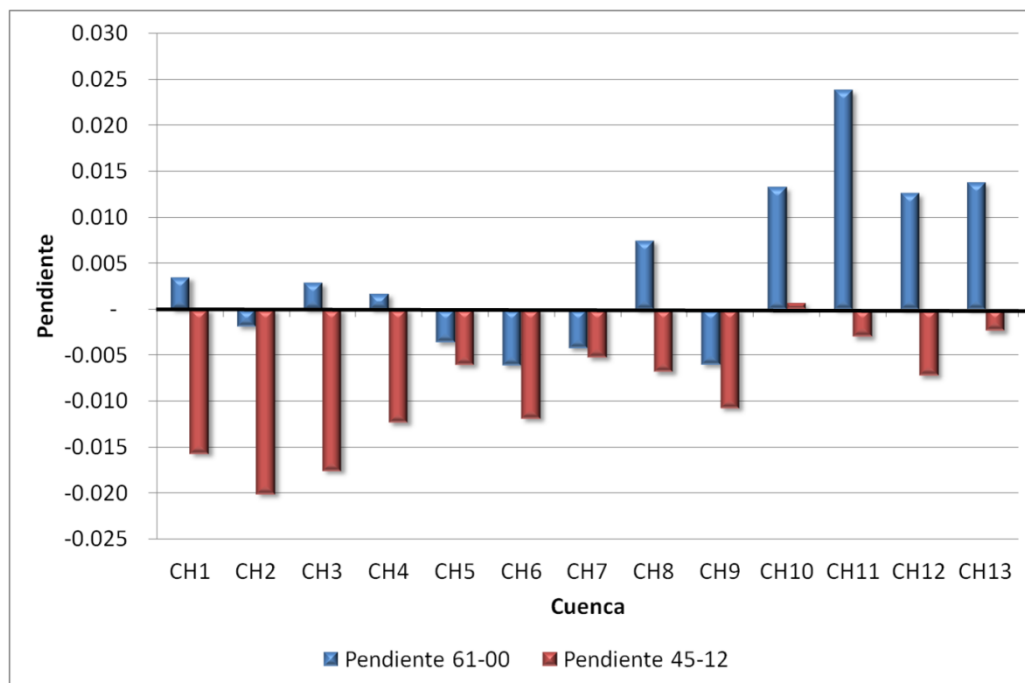


Figura 5.100. Pendientes de temperatura media, periodos 1961-2000 y 1945-2012



En virtud de lo anterior, se puede mencionar lo siguiente:

Las proyecciones dependen del punto de partida:

- Si partimos del periodo 1945-2012, las tendencias en las temperaturas anuales, en la mayoría de las cuencas son negativas.
- Si partimos del periodo 1961-2000, las tendencias en las temperaturas anuales, en la mayoría de las cuencas son positivas.

Las gráficas de anomalías en temperaturas mostradas en los resultados de cambio climático parten de 1850, año en el cual finalizó la pequeña edad de hielo que fue un período frío que abarcó desde comienzos del siglo XIV hasta mediados del XIX, poniendo fin a una era extraordinariamente calurosa llamada óptimo climático medieval. Se define como un periodo frío entre 1550 y 1850 con tres periodos particularmente fríos: uno comenzando en 1650, otro en 1770 y el último en 1850.

Antes de iniciar con la exploración de los escenarios de cambio climático se extrajeron algunos fragmentos del documento *El Cambio Climático y el Agua* (Documento técnico VI del IPCC. Junio 2008. <https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp.pdf>) que se mencionan a continuación:

- Los cambios proyectados varían de un modelo a otro.
- Los modelos concuerdan entre sí conforme se disminuye la escala espacial.
- Consideraciones teóricas sugieren que podría ser difícil detectar la influencia del aumento de gases invernadero sobre el promedio de la precipitación.
- En términos espaciales, el cambio, es muy poco uniforme, por ejemplo, durante 1993-2003 el ritmo de aumento fue en algunas regiones varias veces superior al promedio mundial, mientras que en otras los niveles del mar descendieron.
- En los últimos decenios se han observado tendencias decrecientes en los escasos registros de evaporación en cubeta, las tendencias pueden deberse a una disminución de la radiación solar en superficie (en EU, Europa y Rusia) y a un menor número de horas de insolación en China, posiblemente relacionadas con un aumento de la polución del aire y de los aerosoles atmosféricos y con el aumento de la cubierta de nubes.
- Por una parte, una mayor concentración de CO<sub>2</sub>, puede reducir la transpiración, ya que los estomas foliares, a través de los cuales tienen lugar la transpiración de las plantas, no necesitan abrirse tanto para absorber la misma cantidad de CO<sub>2</sub> que necesitan para la fotosíntesis. Inversamente, un aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> puede estimular el crecimiento de las plantas, dando lugar a una mayor superficie foliar y, por consiguiente, a un aumento de la transpiración.
- La incertidumbre asociada a la modelización de varios modos de variabilidad climática y de distribución de la precipitación en términos de episodios intensos o leves sigue siendo grande.
- Sigue habiendo un desajuste entre los resultados a escala de cuenca de captación, que es la más importante para la gestión hídrica.

## Escenarios de Cambio Climático

Actualmente en México se están desarrollando escenarios climáticos regionales del periodo histórico y de las proyecciones de 15 modelos de circulación global (MCG) a futuro cercano (2015-2039) y futuro lejano (2075-2099) incorporados en el 5° Reporte de evaluación del IPCC (CICESE, IMTA, CCA-UNAM, INECC).

Se consultó el sitio web del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) para descargar la información correspondiente a los escenarios de cambio climático para México en donde se recalca que los datos que se pueden descargar de dicha página son *proyecciones climáticas* bajo los diferentes escenarios de radiación (RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5), y *no pronósticos*.

Para este trabajo se descargó la información histórica de la zona en estudio y se realizó una selección de los puntos de malla que se utilizaron para el recorte de la misma, obteniendo información nacional correspondiente a los modelos CNRM, CSIRO, REA y CRU de las variables precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, del periodo 1961-2000 en forma mensual (Anexo 5.13).

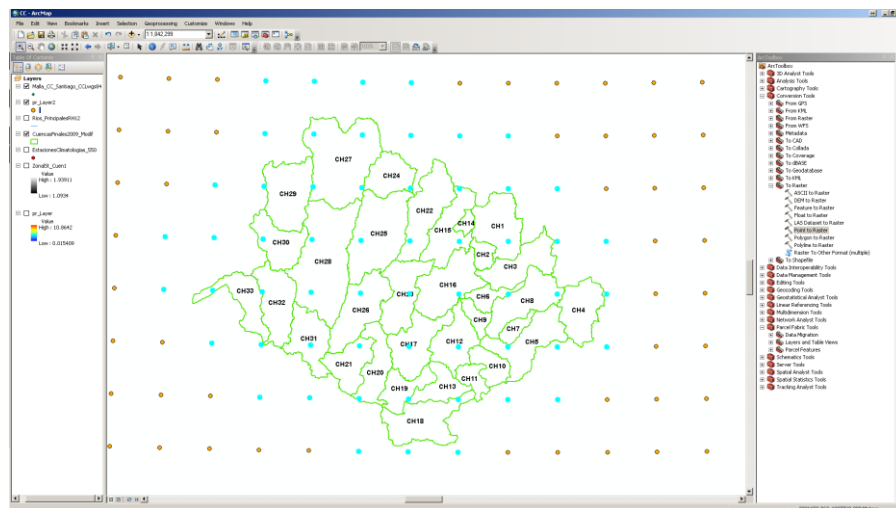


Figura 5.101. Selección de la malla para la extracción de la información

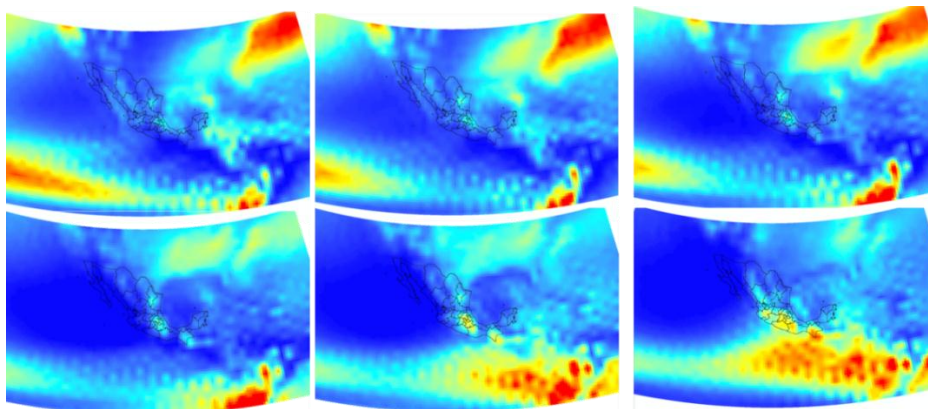


Figura 5.102. Ejemplo de “raster” de precipitación

La información fue pasada a los puntos de malla y se seleccionaron aquellos con influencia en la zona.

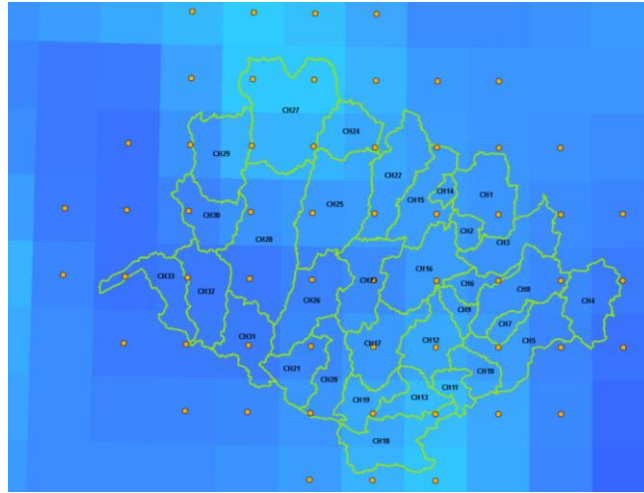


Figura 5.103. Selección de puntos con influencia en la zona  
Posteriormente con el método IDW se generó el “raster” de cada variable correspondiente a la zona, dicho método realiza una interpolación tomando en cuenta los datos de cada punto.

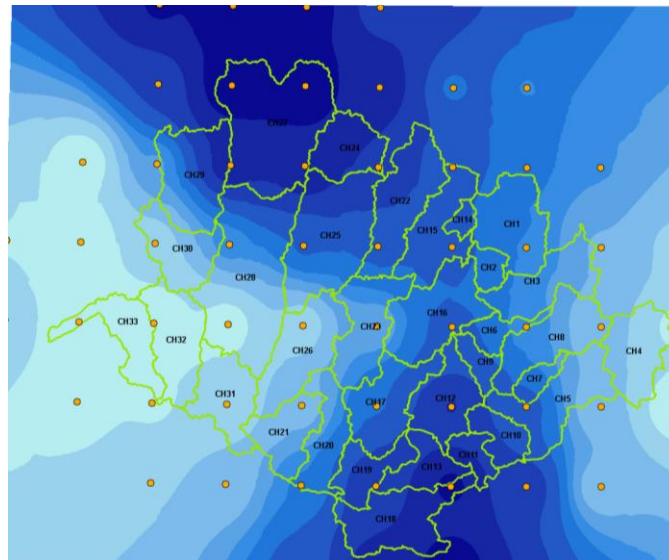


Figura 5.104. Interpolación por el método IDW

Finalmente se obtuvieron los valores medios de las tres variables por cada una de las cuencas en la zona de estudio (Anexo 5.13).

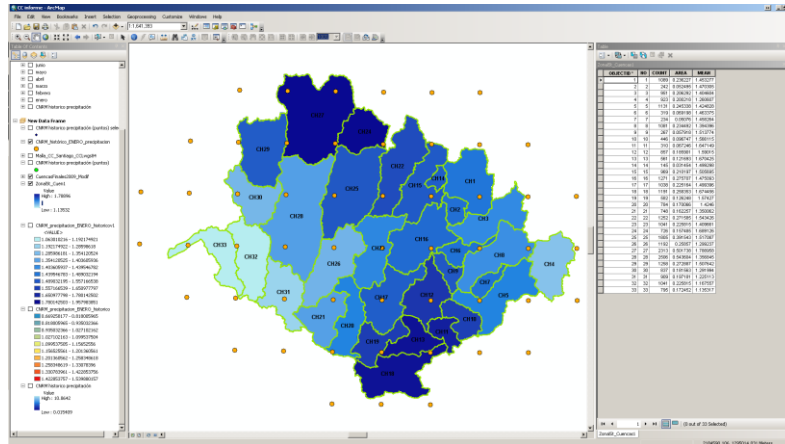


Figura 5.105. Precipitación por cuenca, mes ENERO

Cada modelo contaba con información mensual, por lo que se repitió la extracción de datos para los 12 meses del año.

La información media de las tres variables por cuenca se comparó con los registros históricos en dos periodos 1945-2012 y 1961-2000. En los gráficos siguientes se puede observar lo siguiente:

- El valor del CRU es muy cercano a los registros históricos en sus dos periodos,
- El REA histórico dio como resultado valores de precipitación superiores a los registrados por las estaciones convencionales.

La figura siguiente muestra estos resultados.

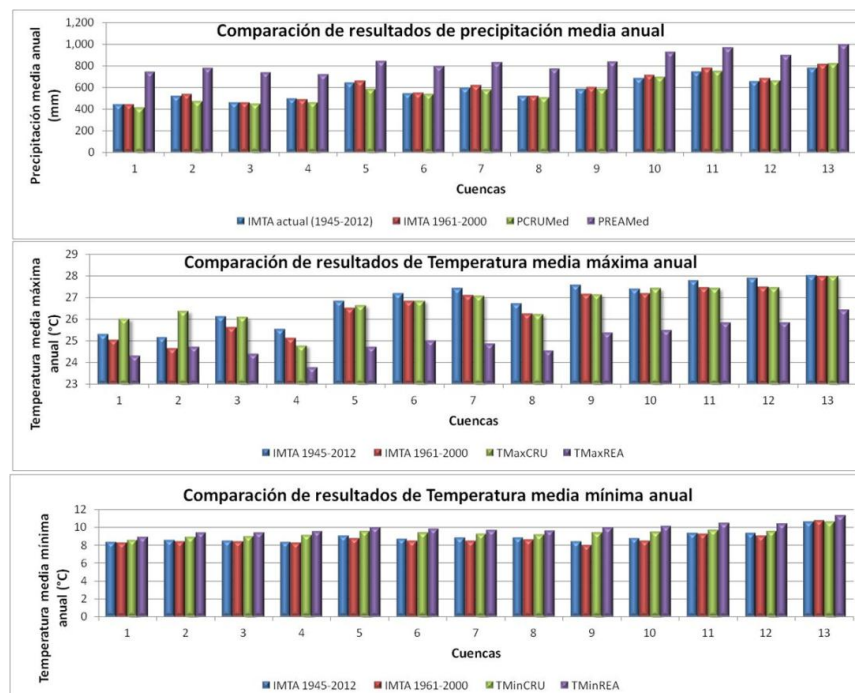


Figura 5.106. Comparación entre registros observados y los obtenidos con los modelos CRU y REA

Adicionalmente, del sitio web del INECC también se descargaron los resultados de los modelos CNRM, CSIRO y REA en dos escenarios, el RCP 4.5 W/m<sup>2</sup> y 8.5 W/m<sup>2</sup> por ser los dos más extremos, tanto para el futuro cercano (2015-2039) como para el futuro lejano (2075-2099).

Para la precipitación se obtuvo el porcentaje de cambio que muestran los diferentes escenarios del REA con respecto al REA histórico (1961-2000) y se aplicó al promedio histórico (1961-2000) registrado por las estaciones convencionales. Para las temperaturas se aplicaron directamente los cuatro escenarios al promedio de 1961-2000 histórico registrado.

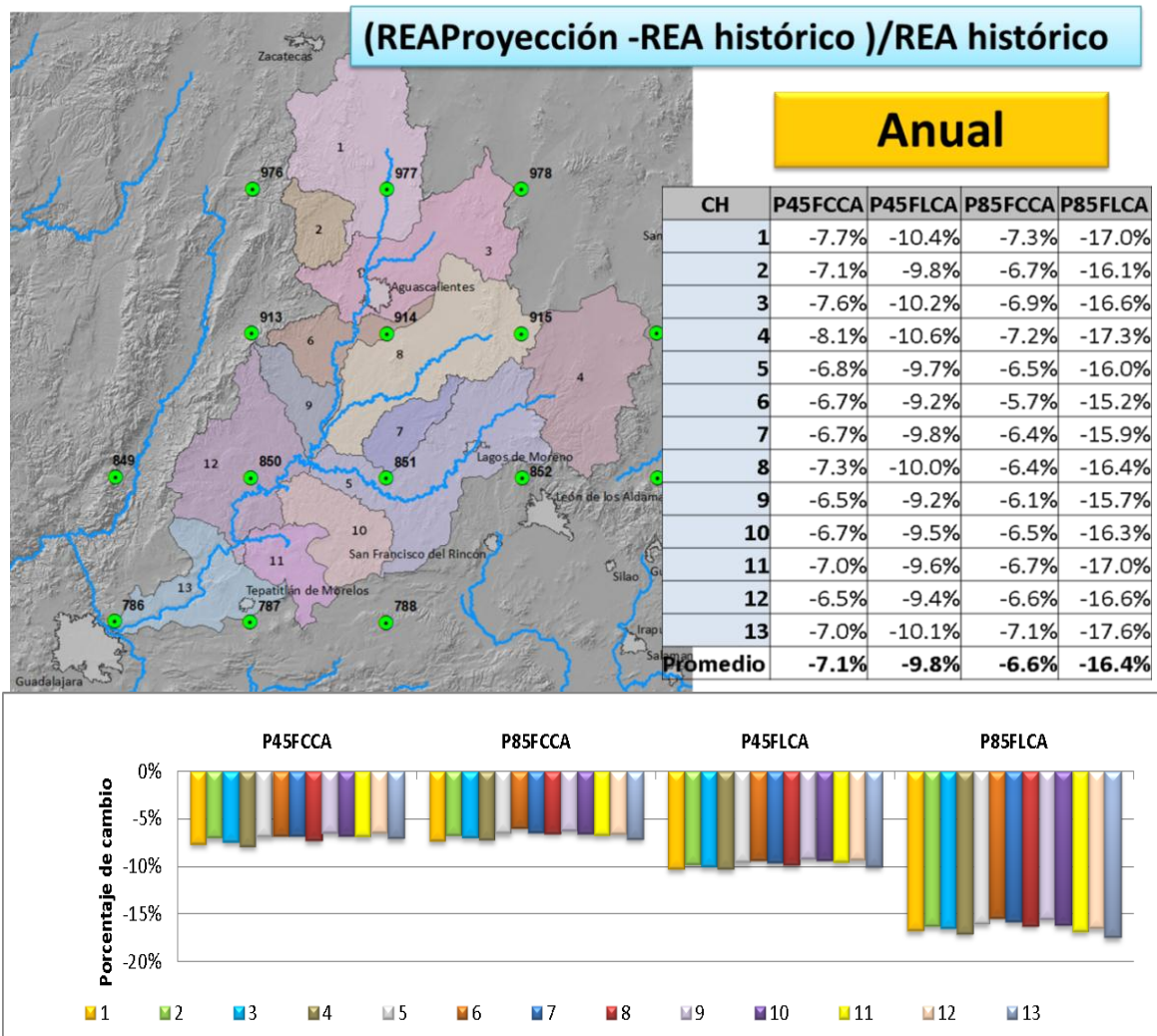


Figura 5.107. Cambio en porcentaje de la precipitación para los diferentes escenarios de cambio climático

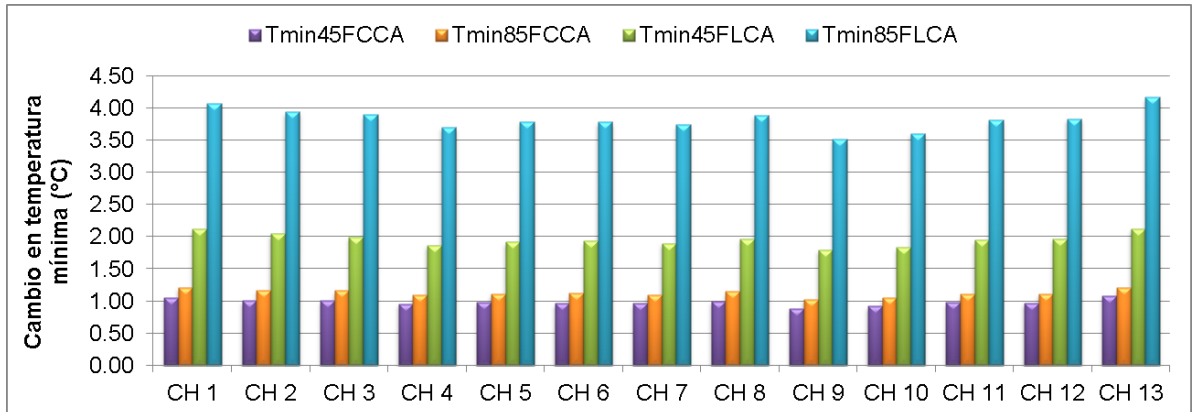


Figura 5.108. Cambio de la temperatura mínima por cuenca para los dos escenarios, futuro cercano y futuro lejano. Por ejemplo, 45FC significa escenario 4.5 W/m<sup>2</sup> futuro cercano

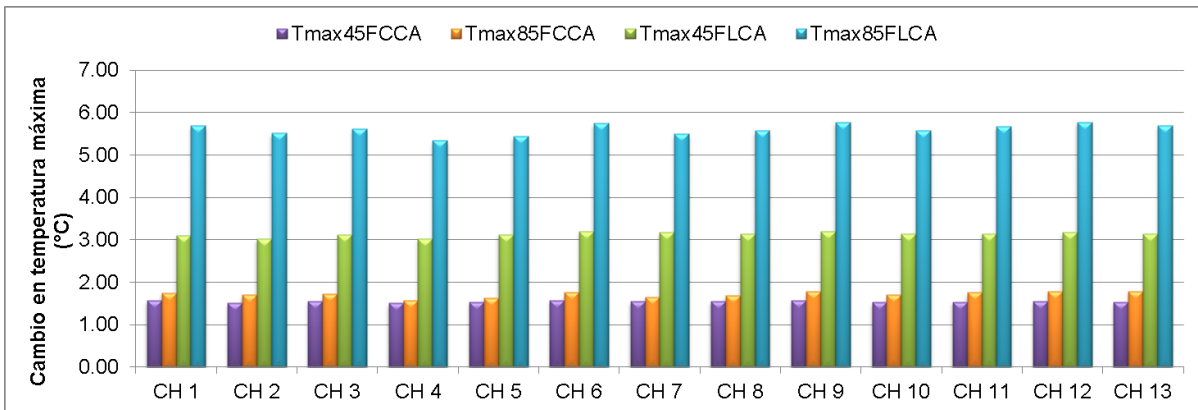


Figura 5.109. Cambio de la temperatura máxima por cuenca para los dos escenarios, futuro cercano y futuro lejano. Por ejemplo 45FC significa escenario 4.5 W/m<sup>2</sup> futuro cercano

### 5.5.3 Comparación de registros históricos contra lo proyectado de CC

Se compararon los promedios de los datos históricos registrados por las estaciones convencionales en el periodo 1961-2000 con los obtenidos de los escenarios de cambio climático. A continuación se presentan las comparaciones de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.

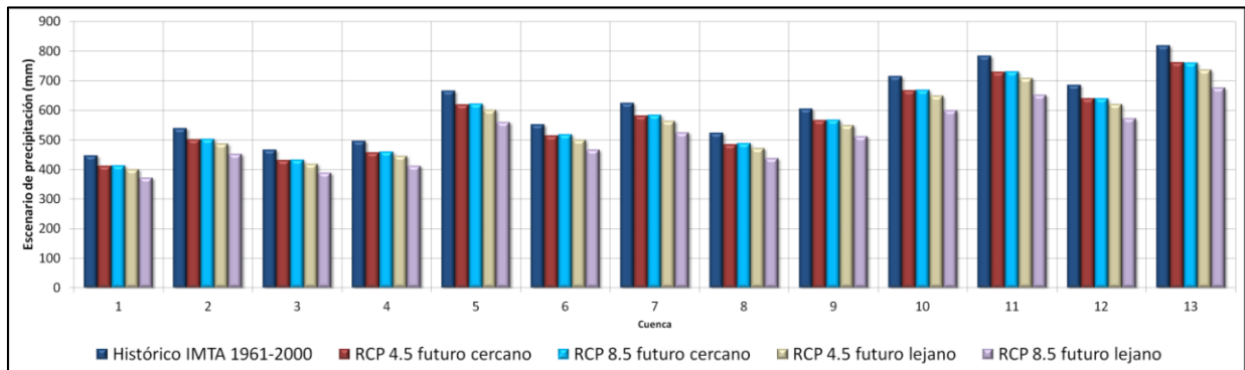


Figura 5.110. Comparación entre escenarios de precipitación y registros históricos

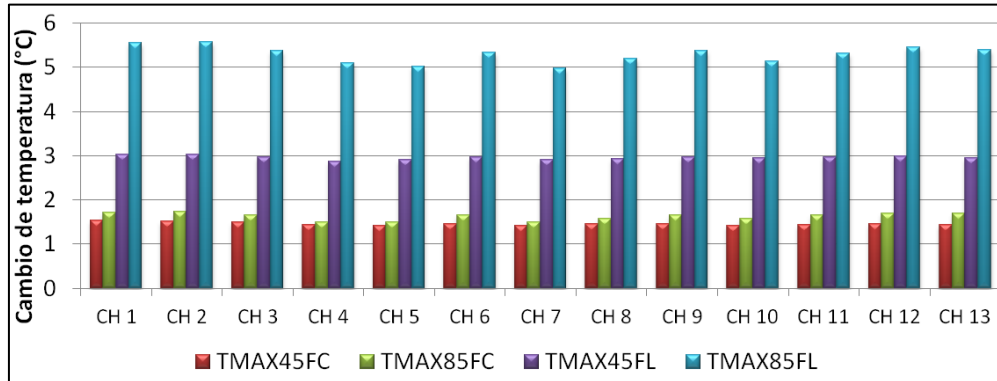


Figura 5.111. Comparación entre escenarios de temperatura máxima, registros históricos y tendencias

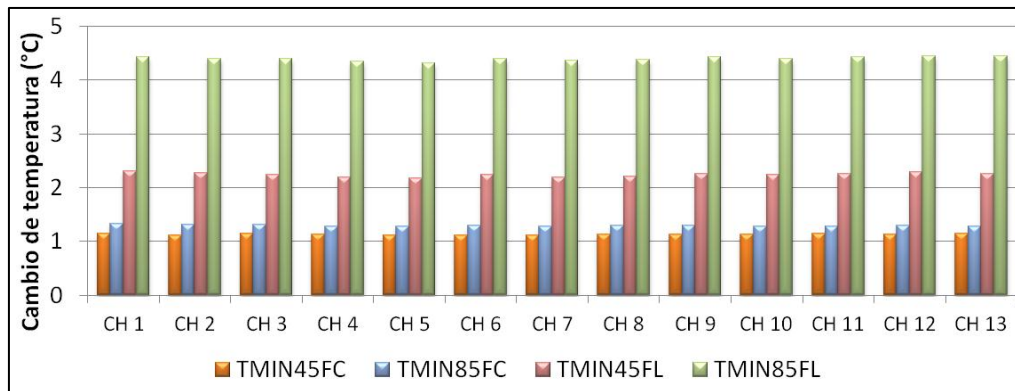


Figura 5.112. Comparación entre escenarios de temperatura mínima, registros históricos y tendencias

#### 5.5.4 Volumen por cuenca propia con escenarios de cambio climático y tendencias históricas

Con los datos de precipitación y temperatura obtenidos utilizando los escenarios de cambio climático se realizó el cálculo de volumen por cuenca propia ( $C_p$ ) por el método de TURC. Adicionalmente, a los valores obtenidos por tendencia lineal para 2039 y 2099, se le aplicó el mismo método para el cálculo de  $C_p$ . En la gráfica siguiente se pueden observar los resultados.

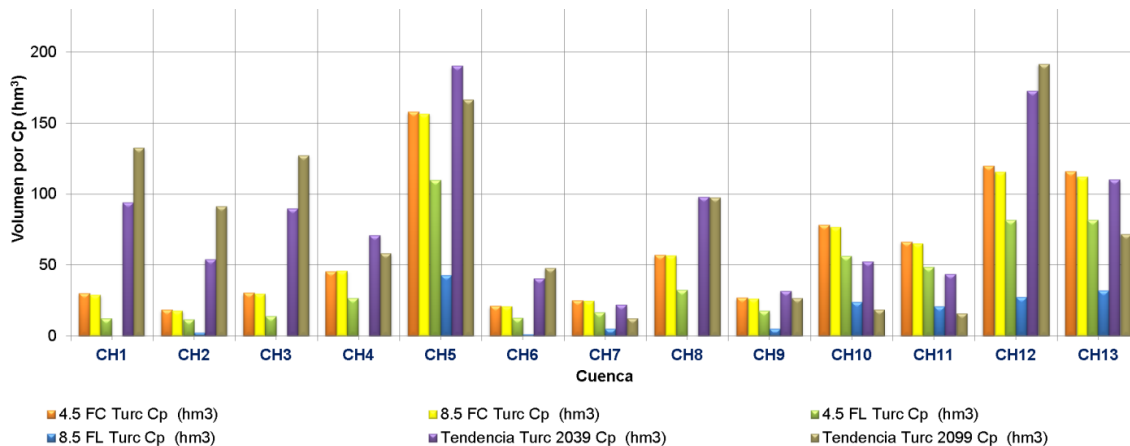


Figura 5.113. Volumen por cuenca propia con escenarios de cambio climático y tendencias históricas

### 5.5.5 Escenarios de escurrimiento aguas abajo

Finalmente, aplicando la NOM-011-CNA-2000 y suponiendo que las variables de usos, exportaciones, importaciones, retornos, evaporación en vasos y diferencias en niveles de los almacenamientos se mantienen constantes se determinó el volumen de aguas abajo para las 13 cuencas con los escenarios de cambio climático y los registros históricos, tal y como se muestra en las siguientes gráficas.

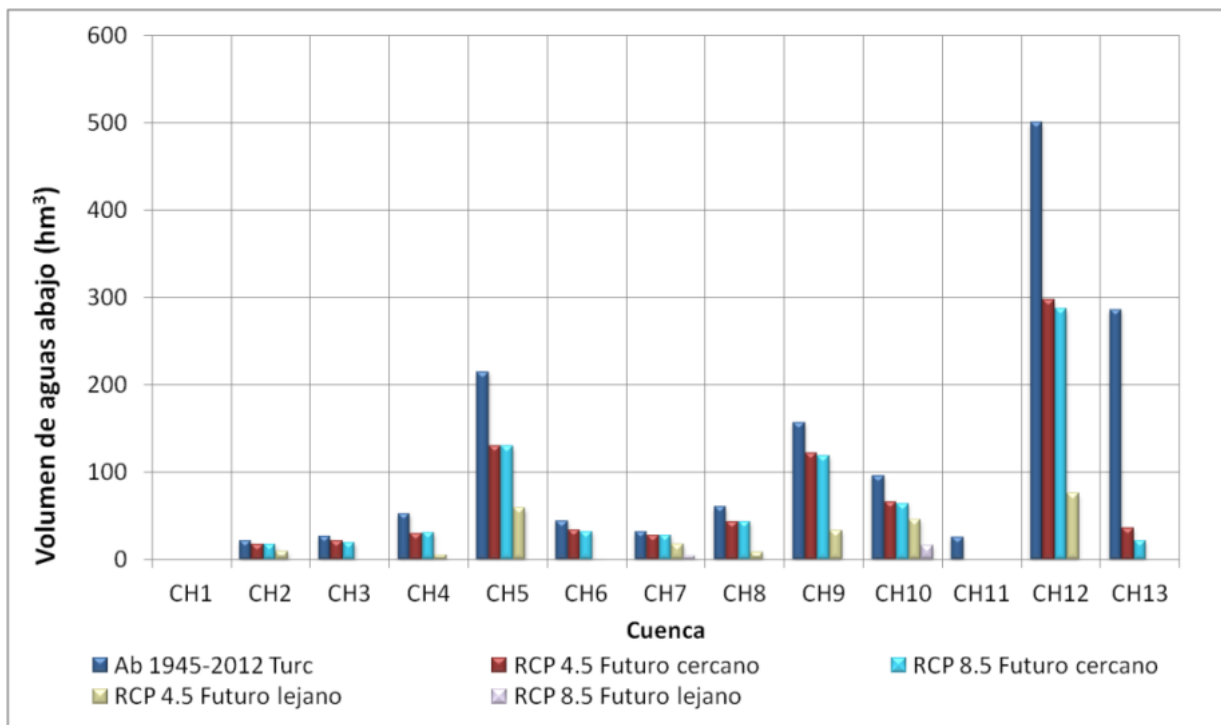


Figura 5.114. Volumen de aguas abajo (escenarios de cambio climático e históricas)

En la gráfica se aprecia que la cuenca 1 no cuenta actualmente con volumen de escurrimiento aguas abajo (Ab), pero lo mismo para los escenarios de cambio climático (CC). La cuenca 11 que actualmente mantiene un escurrimiento Ab, con los escenarios de CC desciende a cero  $hm^3$ . Otro punto observable es que en todas las cuencas con el escenario RCP 8.5  $w/m^2$  al futuro lejano el volumen de Ab se torna nulo.

### 5.6 Propuesta de la optimización de los usos del agua por sector

El agua se ve comprometida por el incremento del consumo de agua para satisfacer las actividades agropecuaria, doméstico-comercial y la industria y por la entrega de agua hacia cuencas vecinas. Todas estas actividades están influidas por la evolución socioeconómica de la cuenca y sus alrededores, lo que implica un crecimiento en la asignación del volumen anual para satisfacer las crecientes necesidades de cada sector económico. Tomando en cuenta que la cantidad de agua generada en una cuenca depende del comportamiento climático y su futuro estará en función de las condiciones climáticas. El consumo depende de la dinámica climática de su entorno, así como de su desarrollo socioeconómico.



Desde el punto de vista socioeconómico, el agua se distribuye entre la sociedad para diferentes usos, de los cuales los consuntivos más importantes, por su volumen se pueden agrupar en: agropecuario, el doméstico, el comercial y la pequeña industria conectada a la red.

#### *Análisis del consumo doméstico municipal*

Se estimaron los consumos promedio tanto para los centros urbanos como para los rurales, expresados en litros por habitante servido al día (l/h/d). La información procesada fue la publicada anualmente por la Conagua de 2006 al 2014.

Se procuró recabar aquella relacionada con sistemas de servicio de agua potable de los municipios ubicados en la cuenca y se clasificaron en aquellos municipios con más de 5,000 habitantes, para estimar el consumo de la denominada población urbana, y aquellos con menos de 5000 se les consideró como consumo rural. Estos criterios, para estimar la tendencia del consumo doméstico, se sustenta en el mismo utilizado por el INEGI para identificar entre núcleos de población rurales y urbanos. El proceso de estimación de los promedios de consumo, se realizó para cada estado de los involucrados en la zona hidrológica del Río Verde. Los resultados destacables fueron los siguientes:

- **Aguascalientes.** Prácticamente todo el Estado se encuentra dentro de la zona hidrológica del Río Verde, a excepción del municipio de Calvillo, el cual tenía según el conteo de INEGI hecho en 2005, el 4.7% de la población total del Estado, por lo que su peso en cuanto a las estimaciones de tendencia, como las de crecimiento de la población o el crecimiento económico se considera irrelevante. En este Estado se encontró un consumo mayor (11.6%) en las comunidades menores a 5,000 habitantes. Los consumos promedio, según el tamaño de comunidad.
- **Guanajuato.** Para el consumo doméstico urbano, se analizó exclusivamente la información reportada por el organismo operador de San Felipe, pero para estimar el consumo en comunidades rurales, se utilizó información de comunidades del Estado con población menor a 5,000 habitantes.
- **Zacatecas.** Para este Estado en los sistemas de agua, correspondientes a los municipios ubicados en la zona hidrológica del Río Verde, se obteniendo resultados semejantes tanto para los núcleos de población servida mayor de 5000 habitantes, como para los rurales.
- **Jalisco.** Para este Estado, de manera semejante a Zacatecas, en los sistemas de agua, correspondientes a los municipios ubicados en la zona hidrológica del Río Verde, se obtuvieron resultados semejantes tanto para los núcleos de población servida mayor de 5,000 habitantes, como para los rurales. Es notable que el consumo regional prácticamente duplique el consumo promedio del Estado.

Tabla 5.29. Dotación media (L/hab/día), en la porción de la Cuenca de Río Verde

Estado	+ 5000 hab	-5000 hab	Promedio estatal
<b>Aguascalientes</b>	332	377	333
<b>Guanajuato</b>	372	427	299
<b>Zacatecas</b>	264	427	286
<b>Jalisco</b>	488	466	258

### Análisis agropecuario

Para el caso agrícola se buscaron las máximas superficies sembradas en cada municipio entre los años 1995, 2000, 2005, 2010 y 2012, para establecer la superficie de riego máxima de cada municipio. Posteriormente se hizo el ajuste del área existente, conforme a la superficie del municipio dentro de la cuenca. Jalisco y Aguascalientes son los estados predominantes.

Tabla 5.30. Superficie de riego

Estado	Superficie municipal (ha)	Superficie en la cuenca (ha)
<b>Aguascalientes</b>	48,546	47,740
<b>Guanajuato</b>	15,395	3,129
<b>Jalisco</b>	63,723	48,096
<b>Zacatecas</b>	23,409	16,873
<b>Totales</b>	<b>171,053</b>	<b>115,837</b>

En el caso de la información pecuaria se recurrió a los resultados del Censos Agropecuario 2007, realizado por el INEGI. Los principales resultados se resumen en la Tabla 8, en ella se puede observar como la población de aves de corral es de gran impacto en el consumo de agua, solamente superada por el consumo bovino y porcino.

Tabla 5.31. Existencia de animales (unidades).

ESTADO/Tipo	Bovino		Porcino	Ovino	Caprino	Equino	Gallináceas
	Carne	Leche					
<b>Aguascalientes</b>	127,459	85,637	88,329	114,489	11,837	12,829	19,097,623
<b>Jalisco</b>	502,139	511,703	2,403,640	75,153	62,210	11,582	63,591,166
<b>Guanajuato</b>	59,968	12,195	17,096	77,709	13,830	14,891	71,155
<b>Zacatecas</b>	60,756	12,104	12,424	41,857	10,050	7,292	7,091,688
<b>Total</b>	<b>750,322</b>	<b>621,639</b>	<b>2,521,489</b>	<b>309,208</b>	<b>97,927</b>	<b>46,594</b>	<b>89,851,632</b>
<b>Consumos (L/animal/día)</b>	38	120	16	5.5	6.25	38	0.25
<b>Volumen (m<sup>3</sup>/año)</b>	10,406,966	27,227,788	14,725,496	620,735	223,396	646,259	8,198,961

Fuente: Elaborado con información de INEGI 2008, "Censo agropecuario 2007"

### Análisis industrial

Se estimó la productividad del agua en \$/m<sup>3</sup>, a partir del PIB y la extracción de agua de la industria, con información de la base de datos elaborada en el IMTA (López, 2015). Los valores se expresan en moneda corriente de 2005, para expresar su productividad y a partir de ella estimar el volumen global demandado en función del PIB de 2005, año base para proyectar la demanda.

Tabla 5.32. Productividad del agua (precios de 2005)

Estado	PIB 2004 (miles \$)	Extracción 2004 (hm <sup>3</sup> )	Productividad (\$/m <sup>3</sup> )	PIB 2005	Extracción 2005
<b>Aguascalientes</b>	71,471,481	27,858	<b>2,566</b>	76,322,054	29,748,500
<b>Guanajuato</b>	5,333,833	2,550	<b>2,091</b>	4,752,048	2,272,281
<b>Jalisco</b>	33,923,322	13,142	<b>2,581</b>	35,836,023	13,933,560
<b>Zacatecas</b>	8,634,387	2,594	<b>3,328</b>	7,189,441	2,233,435

Fuente: elaboración propia con información de la base de datos "Uso del agua en la industria 2004", IMTA.

### Resultados para la cuenca

Los resultados del algoritmo desarrollado para estudiar la tendencia de la demanda, se aprecian en la siguiente gráfica, Figura 3. En ésta se presentan las curvas de demanda total con dos modalidades, la primera es la equivalente a la suma de los consumos en los sectores: agropecuario, doméstico e industrial, la segunda incluye el volumen comprometido para enviarlo a otras cuencas. El modelo no toma en cuenta el gasto ecológico, pero toma en cuenta el volumen concesionado por el REPGA en 2010, el cual sirve como referente para establecer la base del consumo regional.

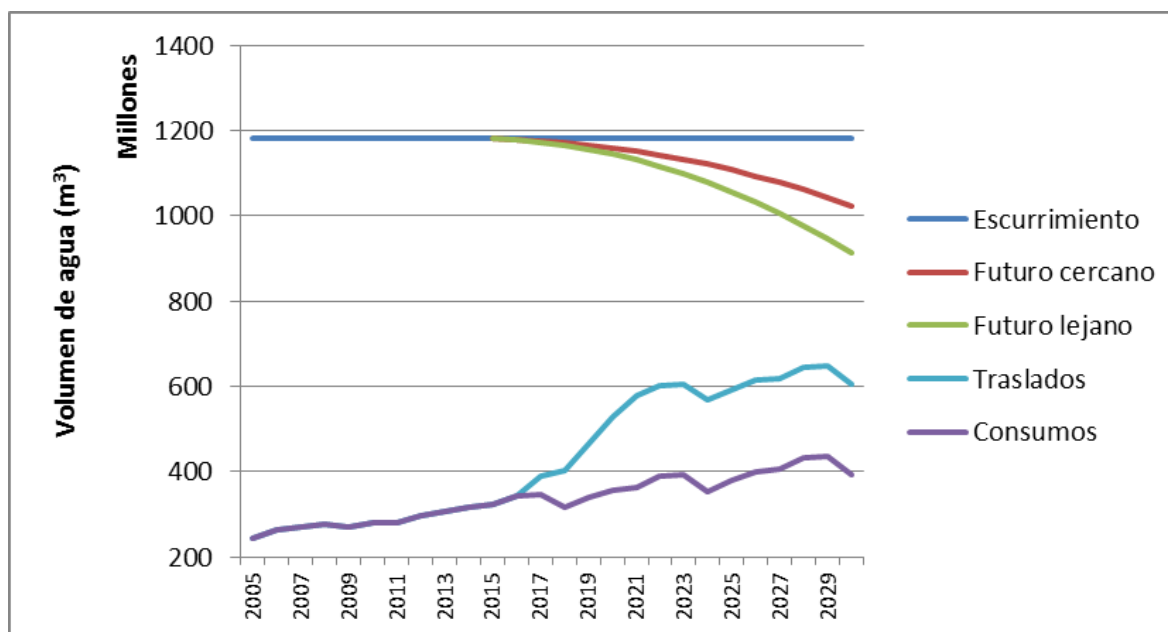


Figura 5.115. Gráfica del comportamiento futuro de la demanda con referencia ESCURRIMIENTO POR CUENCA PROPIA PROMEDIO

En la gráfica se puede observar como la proyección de la demanda para 2030 indica que habrá agua suficiente para cubrir la demanda regional, tomando en cuenta que se conservan las condiciones de crecimiento y las características de la demanda histórica, de manera semejante a las pasadas décadas. La base histórica se tomó del año de 1990 a 2005 o 2010. Con esta base histórica se hicieron proyecciones para el periodo 2011 a 2030.

La demanda de agua para riego puede ser un factor desestabilizador, en caso de que este aumenta su demanda de manera desproporcionada.

### Riesgo de estrés hídrico

El modelo arroja resultados positivos cuando se utilizan las reservas promedio ( $C_p$ ) de la cuenca como referente para cubrir la demanda.

Finalmente, las demás subcuencas no tienen ningún problema en cuanto a satisfacer sus necesidades de agua, en ellas la demanda de agua es menor al 20% de su total disponible.

### 5.6.1 Optimización de los usos del agua por sector

Pensar en la optimización del uso del agua es pensar en reducir el “despilfarro”, entendido éste como el uso descuidado del recurso, por lo que se generan grandes desperdicios o uso excesivo de agua. Las acciones gubernamentales, dirigidas hacia el uso prudente del agua, se realizan por medio de las políticas públicas. Estas deben diseñarse para lograr tal objetivo, entre otras se pueden citar: incentivar la reutilización del recurso, liberar agua de primer uso a partir del uso de agua residual tratada, impulsar patrones de cultivo menos demandantes de agua, promover la implantación de industrias poco consuntiva de agua o la imposición de actividades tecnológicas o económicas que lleven implícito reducir la demanda de agua. Todas estas son acciones, entre otras políticas públicas, que se deben impulsar para reducir el despilfarro.

Existe una gran demanda de agua en las cuencas del norte generando fuerte estrés hídrico, esto obliga a emprender acciones que por un lado reduzcan el consumo del recurso y por otro modifiquen el volumen concesionado a la baja. Acciones como la revisión del sector agrícola, principal consumidor y demandante de agua de la región, obligan a establecer políticas públicas que impulsen el cambio del actual patrón de cultivos, para eliminar aquellos productos fuertes demandantes de agua.

Pensar en mecanismos que permitan el cambio de la vocación de producción de lácteos por otros menos consumidores se hace patente, cuando se sabe que un hato ganadero, específicamente para producir leche, es fuerte consumidora de agua, también se debe considerar que además de su consumo directo está el indirecto, utilizado para producir el forraje necesario para su alimentación. La alfalfa requiere láminas superiores a 100 cm. La búsqueda de alternativas menos demandantes de agua es evidente, de otra manera es innegable que en el futuro el estrés hídrico generará graves conflictos sociales, impactando fuertemente el desarrollo económico de la región, una región de las actualmente más exitosas, económicamente hablando.

Es deseable establecer mecanismos de consejo de cuenca operable, para que sea la propia sociedad la que vaya encontrando la solución a los problemas conforme se presenten y con ello mitigar el conflicto social.

Hay cosas en las que el gobierno puede participar activamente para paliar los conflictos por el agua, pero no se debe olvidar que la participación social es clave. Corresponde a las autoridades generar los planes, previamente consensados con los actores involucrados de la cuenca, para garantizar su éxito. Tratar de implantarlos a contrapelo de la sociedad solamente generará fricción y conflicto social, ingredientes que garantizan el fracaso de las políticas públicas.

## 6. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

### 6.1 Implementación del SIH

Un sistema de información hidrológica (SIH) es un sistema de cómputo que se compone de una base de datos geográfica sobre el recurso hídrico de un área de interés y de herramientas para consulta, actualización y procesamiento de la información espacial y numérica almacenada en la base de datos.

#### 6.1.1 Diseño y generación de la interfaz de la herramienta SIH

El diseño y generación de la interfaz de la herramienta se basa en el uso de la metodología denominada “ciclo de vida en cascada” usada para el desarrollo del software, lo que facilitó el llevar un control y avanzar paso a paso en el desarrollo del mismo.

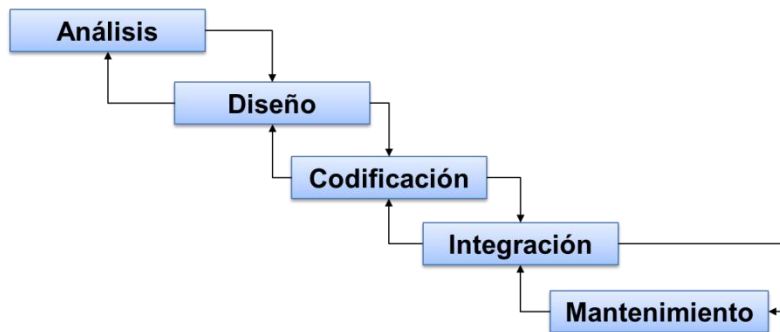


Figura 6.1. Módulos del SIH

#### Fase 1. Análisis

En el análisis de requisitos se estudiaron las necesidades de los usuarios, en esta fase se determinó la necesidad de hacer la aplicación informática para realizar el cálculo de la disponibilidad de agua superficial en la zona hidrológica del Río Verde. Por consiguiente, se realizaron reuniones con el personal de la Comisión Estatal del Agua (CEA) con quienes se afinaron los detalles del SIH, además se establecieron los requisitos funcionales y no funcionales de la herramienta siendo los siguientes:

1. La interfaz de visualización de información se realizará a través de ventanas de diálogo emergentes de iteración fácil para el usuario.
2. Los resultados deberán mostrarse de manera gráfica y tabular.
3. Los datos solicitados para realizar alguno de los procesos deberán ser desplegados en listas o en su defecto casillas seleccionables para minimizar al máximo los errores de captura de datos.
4. Las consultas de información se podrán hacer en diferentes periodos y diferentes cuencas.
5. Se deberá consultar la información de todas las variables utilizadas en el cálculo de la disponibilidad de aguas superficiales.

6. Deberá contar con una base de datos donde se almacena la información necesaria para el cálculo de disponibilidad y los resultados del mismo.
7. Deberá contar con un botón que indique si la información actualizada o modificada se enviará a la base de datos compartida

## Fase 2. Diseño

Debido a la facilidad en el manejo de la información georeferenciada por los SIG, para el desarrollo del SIH de la zona hidrológica del Río Verde, se utilizó dicha plataforma debido a que a través de ella se puede visualizar la información geográfica, permitiendo un mayor enfoque en cuanto a la zona, además el manejo de diferentes capas de información en un mismo proyecto. El SIG que se usó en este trabajo fue ArcGIS en nivel ArcInfo versión 10.1.



Figura 6.2. Características del ArcGIS

Los SIG permiten visualizar las capas contenidas en bases de datos geográficas, por lo que se generó un proyecto en el software de ArcGIS que se conecta a la base de datos geográfica del Río Verde (*SIH\_RH12Santiago.gdb*) lo cual permitió interactuar con la información de la misma.

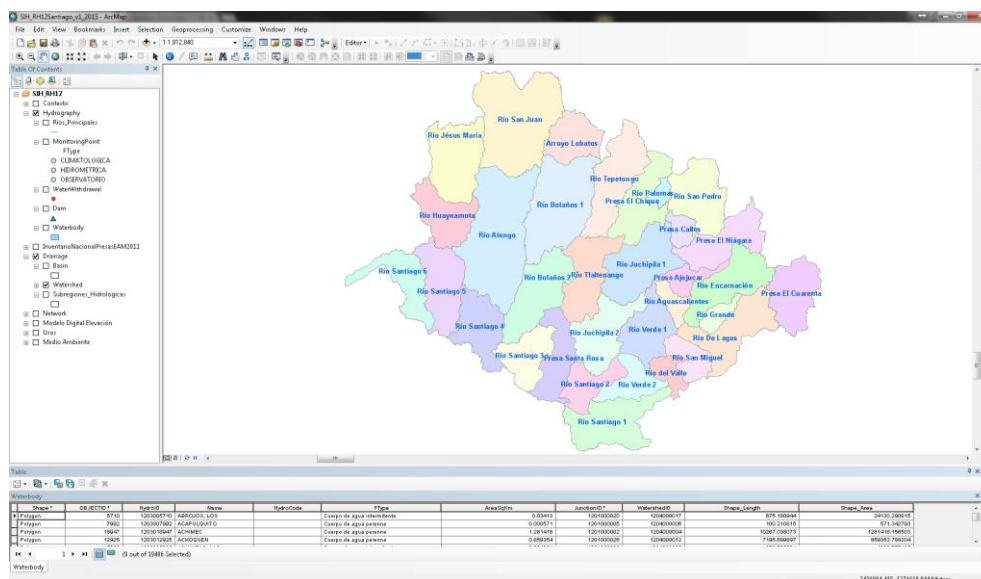


Figura 6.3. Proyecto ArcGIS

Debido a lo anterior, se definió que la herramienta SIH se conectaría a la base de datos geográfica monousuario con estructura del modelo de datos ArcHydro, la cual contiene información histórica de las variables para el cálculo de disponibilidad: precipitación diaria, evaporación, usos consuntivos, variación de volumen, exportaciones e importaciones por mencionar algunas.

Tomando en cuenta los requisitos indicados en el análisis y por ser una herramienta que podría crecer a futuro y actualizarse, se estableció la estructura global de la aplicación, descomponiéndola en partes (módulos, subsistemas) relativamente independientes que se describen a continuación.

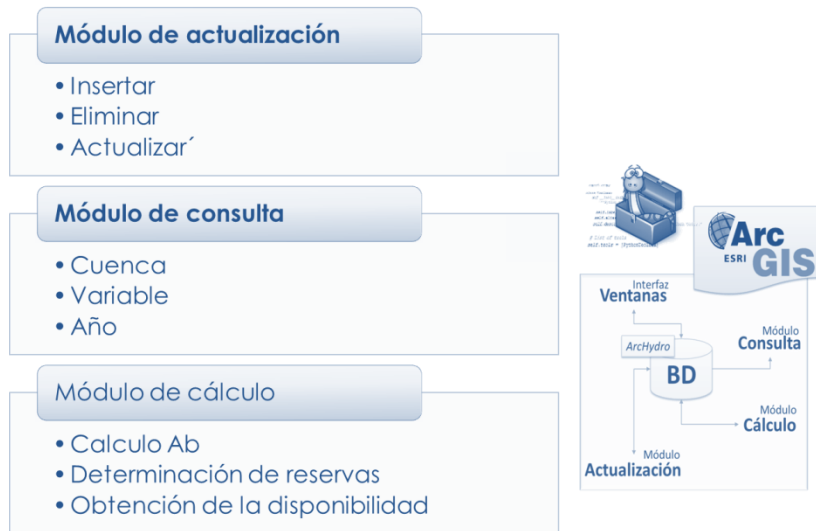


Figura 6.4. Módulo que componen la herramienta SIH implementada en ArcGIS

8. Módulo de actualización. Permitirá la actualización de la información de series de tiempo que se haya utilizado para el cálculo de la disponibilidad de manera anual. Dicha actualización se podrá realizar de tres formas:
  - ✓ Un solo dato. El usuario proporcionará el valor correspondiente a una variable, una cuenca y el año que desea actualizar. Para ello se desplegará una ventana solicitando dicha información la cual deberá estar pre-llenada usando las listas desplegables proporcionadas.

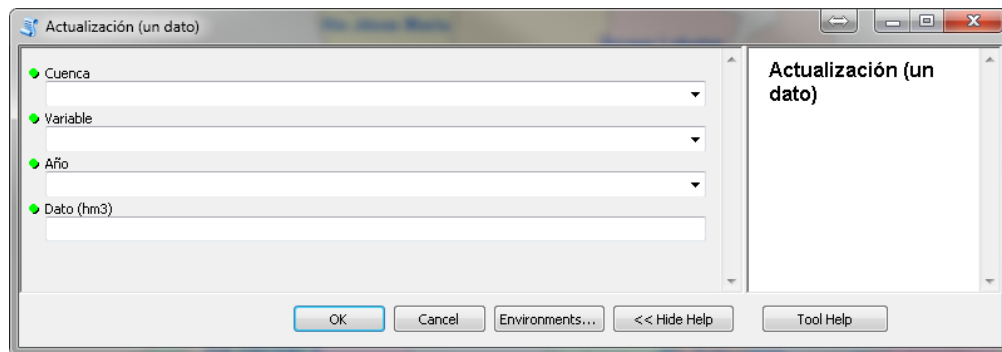


Figura 6.5. Ventana de actualización de un solo dato

- ✓ Una variable en todas las cuencas. Para realizar esta actualización el usuario deberá generar un archivo donde colocará los valores correspondientes a las cuencas indicadas y seleccionar de una lista desplegable la variable que desea actualizar.

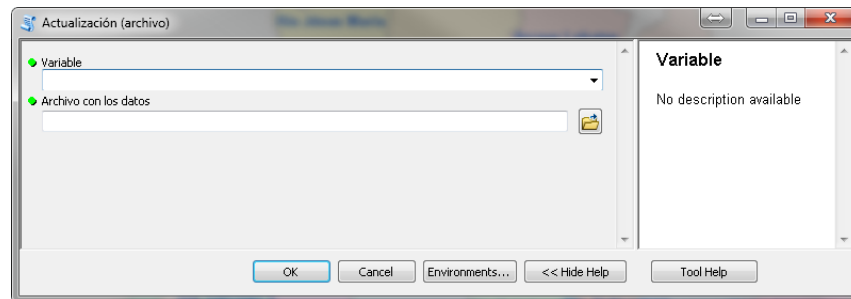


Figura 6.6. Ventana de captura de datos

- ✓ Un año en todas las cuencas (todas las variables). Para realizar esta actualización el usuario deberá generar un archivo donde colocará los valores correspondientes a las cuencas indicadas y seleccionar de una lista desplegable el año que desea actualizar.

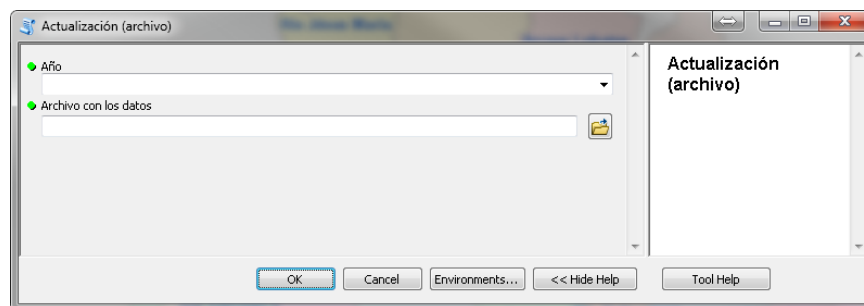


Figura 6.7. Ventana de actualización de una variable

- Módulo de consulta. Este módulo muestra de manera tabular y gráfica la información contenida en la base de datos correspondiente a las variables utilizadas para el cálculo de disponibilidad así como los resultados de la misma. Será posible realizar exportaciones de la información en formato Excel. Las consultas se podrán realizar de dos maneras:

- ✓ Por cuenca. Se podrá visualizar, de manera tabular y gráfica, las variables que se indiquen en la ventana de consulta de una sólo cuenca.

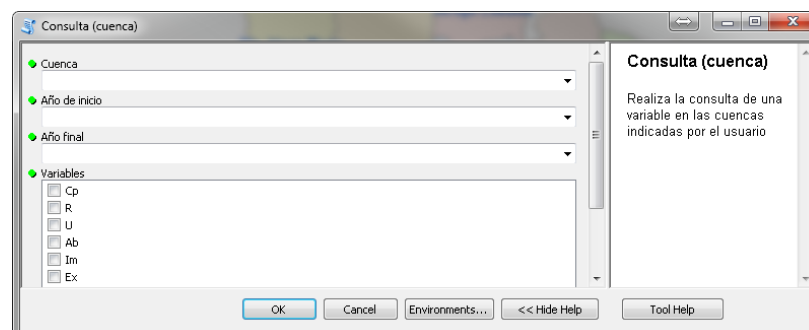


Figura 6.8. Ventana de actualización de todas las variables en todas las cuencas para un año



- ✓ Por variable. Permitirá la visualización de una variable indicada por el usuario correspondiente a una o más cuencas seleccionadas en la interfaz.

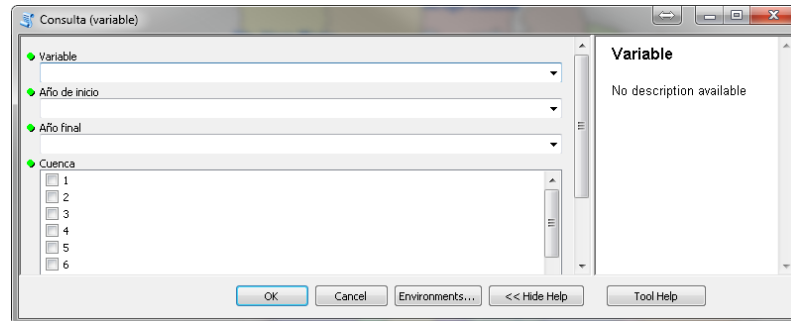


Figura 6.9. Ventana de consulta de datos por variable

10. Módulo de cálculo. Tendrá la posibilidad de realizar la estimación de disponibilidad de agua considerando las variables almacenadas en la base de datos. En este módulo no se reciben parámetros por parte del usuario debido a que los cálculos se realizan directamente con la información almacenada en la base de datos.

11.

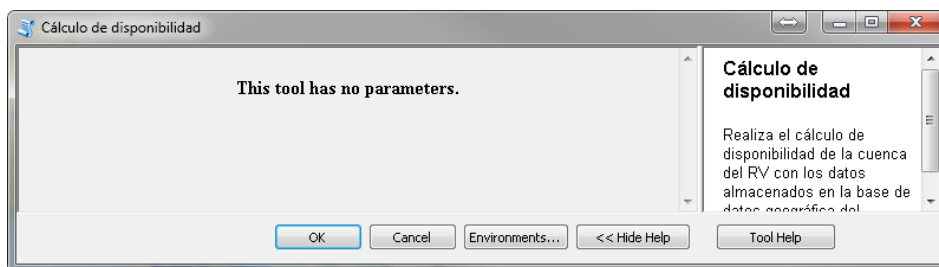


Figura 6.10. Interfaz para el cálculo de la disponibilidad

Todos los módulos mencionados anteriormente deben integrarse en una caja de herramienta (Toolbox) dentro del proyecto de ArcGIS.

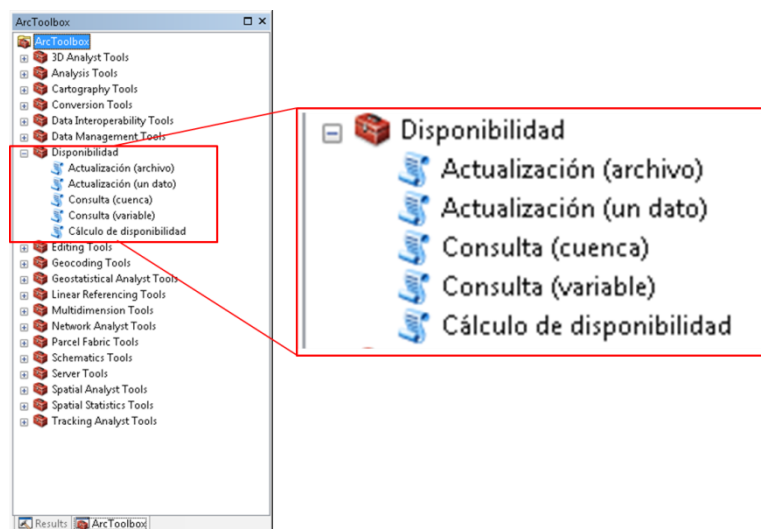


Figura 6.11. Diseño de la caja de herramientas que contiene los módulos de consulta y actualización del SIH

### Fase 3. Diseño detallado

En esta fase se diseñaron las funciones de cada módulo, con el detalle de su interfaz y se generó el código de declaración (o especificación) de cada módulo. Se diseñó además de la estructura de la base de datos que almacenaría los datos necesarios para el cálculo de disponibilidad de agua superficial.

#### Diseño de la estructura de la base de datos

Una base de datos es un conjunto de datos que pertenecen al mismo contexto almacenados sistemáticamente para su posterior uso.

Para el desarrollo del sistema fue necesario realizar el diseño de la base de datos siguiendo la estructura ArcHydro, la cual permite una mejor organización de la información lo que ayuda al acceso y manipulación de la misma.

Debido a que el sistema mostrará resultados a nivel cuenca, se asignó un identificador a cada una que permite asociar la cuenca con sus datos. Para ello se creó la tabla cuenca cuya estructura se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6.1. Estructura y contenido de la tabla “cuenca”

*CH	Nombre
1	Río San Pedro
2	Presa Calles
3	Presa El Niágara
4	Presa El Cuarenta
5	Río de Lagos
6	Presa Ajojucar
7	Río Grande
8	Río Encarnación
9	Río Aguascalientes
10	Río San Miguel
11	Río del Valle
12	Río Verde 1
13	Río Verde 2
14	Río Palomas
15	Presa El Chique
16	Río Juchipila 1
17	Río Juchipila 2
18	Río Santiago 1
19	Río Santiago 2
20	Presa Santa Rosa
21	Río Santiago 3
22	Río Tepetongo
23	Río Tlaltenango
24	Arroyo Lobatos
25	Río Bolaños 1

*CH	Nombre
26	Río Bolaños 2
27	Río San Juan
28	Río Atengo
29	Río Jesús María
30	Río Huaynamota
31	Río Santiago 4
32	Río Santiago 5
33	Río Santiago 6

\*Identificador único

Para almacenar la información original se generó una tabla llamada *tbVariableOrigen* la cual se compone de los siguientes campos:

- “Cuenca”. Identificador de la cuenca a la que pertenece la información
- “Año”. Año de registro
- “Valor”. Dato registrado
- “Unidades”. Unidades en las que se encuentra el dato
- “Tipo”. Define si el dato es registrado, medido o estimado.
- “Llegaa”. Especifica si el volumen de escurrimiento llega a una cuenca o termina en el mar.

Por otro lado, se debe contar con una tabla que defina la topología de la zona, es decir que nos indique el esquema de conexión que existe entre las cuencas que conforman la región en estudio.

Para ello se definieron los siguientes campos:

- Cuenca. Identificador de la cuenca.
- RecibeA. Indica la clave de la cuenca que se ubica aguas arriba de la cuenca en estudio.
- RecibeB. Indica la clave de la cuenca que se ubica aguas arriba de la cuenca en estudio.
- RecibeC. Indica la clave de la cuenca que se ubica aguas arriba de la cuenca en estudio.
- RecibeD. Indica la clave de la cuenca que se ubica aguas arriba de la cuenca en estudio.
- Entrega. Indica la clave de la cuenca que se ubica aguas abajo de la cuenca en estudio.

Debido a que se deben realizar dos cálculos: uno hacia aguas arriba y posteriormente otro de aguas hacia aguas abajo, se creó una tabla que almacena los resultados en cada paso, considerando que el sistema pueda crecer en un futuro se usó una estructura similar a la del modelo ArcHydro para almacenar estos datos.

- ClaveCuenca
- Variable
- Valor
- Unidad

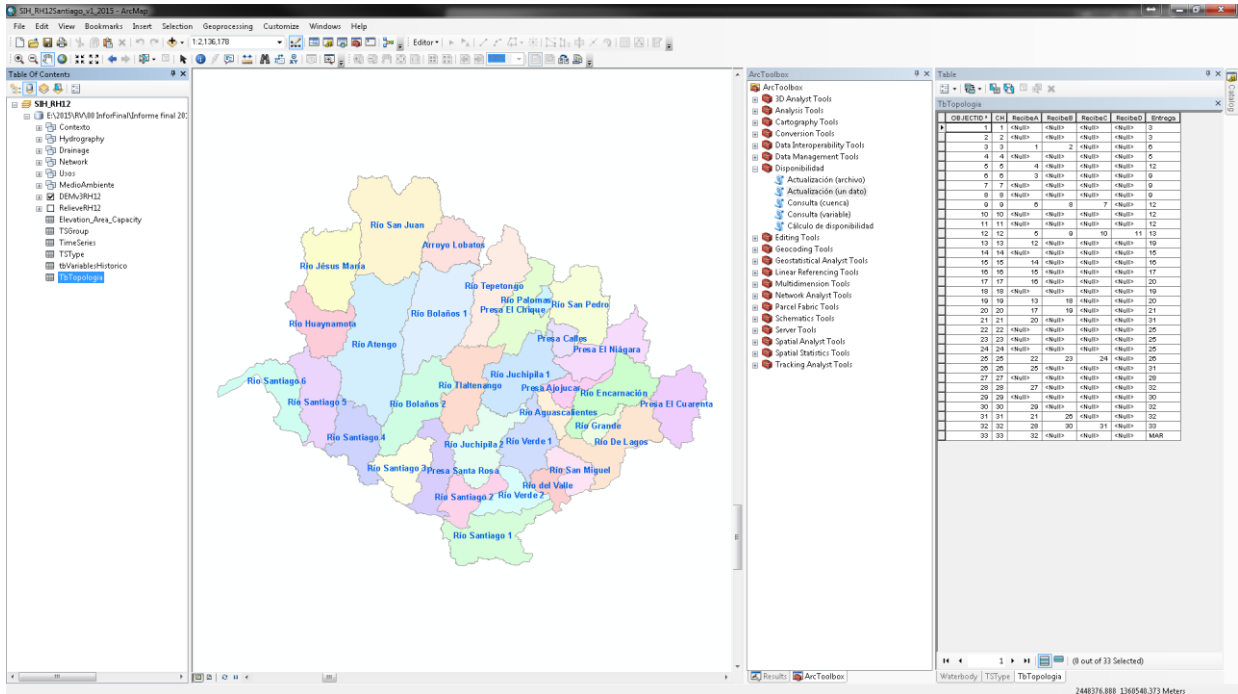


Figura 6.12. Tablas generadas dentro de la base de datos

## Diseño de los módulos de la herramienta de cálculo

Por otro lado, se definieron los pasos a seguir en cada uno de los módulos del proyecto, generando diagramas de flujo generales que proporcionaron la secuencia de operaciones que se deberían realizar.

## Módulo de cálculo

La secuencia de operaciones a realizar para el cálculo se describe a continuación:

1. Declaración del espacio de trabajo. En este punto se definió una variable que indicara como espacio de trabajo la base de datos, de esta manera el acceso a la información se realizaría de manera más directa.
2. Definición de variables. Se identificaron todas las variables que podrían almacenar datos comunes o cadenas de texto que se utilizarían dentro del código. Se inicializaron los arreglos que almacenarían la información de cada variable. Como buena práctica, el nombre de la variable indica la información que almacena, y la posición del arreglo corresponde al número de la cuenca - 1:

- ✓ R[] = retornos
- ✓ Cp[] = cuenca propia
- ✓ Im[] = importaciones
- ✓ U[] = usos
- ✓ EvP[] = evaporación en presas

- ✓ EvCA[] = evaporación en cuerpos de agua
- ✓ Ex[] = exportaciones
- ✓ DV[] = variación de volumen
- ✓ Ev[] = evaporación (suma de EvP y EvCA)

3. Obtención de la media o último año de las variables que intervienen en el cálculo de disponibilidad. A través de una consulta a la base de datos se almacena en una lista la información de cada una de las variables, y se clasifican de acuerdo al proceso de cálculo en “media” o “variable actual”. Para el caso de las que quedan dentro de la clasificación “media”, se obtiene mediante código el promedio de los datos históricos de las mismas.
4. Cálculo del volumen de escurrimiento aguas abajo (Ab) de las cuencas que no tiene cuencas localizadas aguas arriba de ellas. Se realiza una consulta a la a la tabla topología almacenada dentro de la base de datos, seleccionando todas aquellas cuencas que en su campo “RECIBEA” sea igual a <Null> y se obtienen las Entradas reservadas de acuerdo a la fórmula:  $C_p + R + I_m + A_r$ . Ejemplo: de acuerdo a dicha tabla la cuenca 2 no reciben de ninguna cuenca por lo que el cálculo se aplica a esta cuenca.
5. Cálculo de  $A_r$ . A través de una consulta a la base de datos se seleccionan aquellas cuencas que reciben un volumen de escurrimiento de las cuencas que se localizan aguas arriba de las mismas y se suma el volumen de Ab de acuerdo a la topología. Por ejemplo, de acuerdo a la tabla “*Topología*”, la cuenca 3 recibe de la cuenca 1 y 2, por lo que el volumen correspondiente a  $A_r$  será igual a la suma de Ab de la cuenca 1 y Ab de la cuenca 2.

Tabla 6.2. Topología de la cuenca 1, 2 y 3

Cuenca	Recibe A	Recibe B	Recibe C	Recibe D	Cuenca	Entrega
<b>1</b>	2				<b>1</b>	3
<b>2</b>					<b>2</b>	1
<b>3</b>	1				<b>3</b>	6

6. Cálculo del volumen de escurrimiento aguas abajo (Ab) del resto de las cuencas. Se realiza el cálculo de Ab de todas las cuencas aplicando la ecuación de continuidad.
7. Cálculo de las entradas reservadas del resto de las cuencas. Con el valor del volumen de escurrimiento aguas arriba obtenido en el paso anterior se obtienen las entradas reservadas para todas las cuencas del sistema.

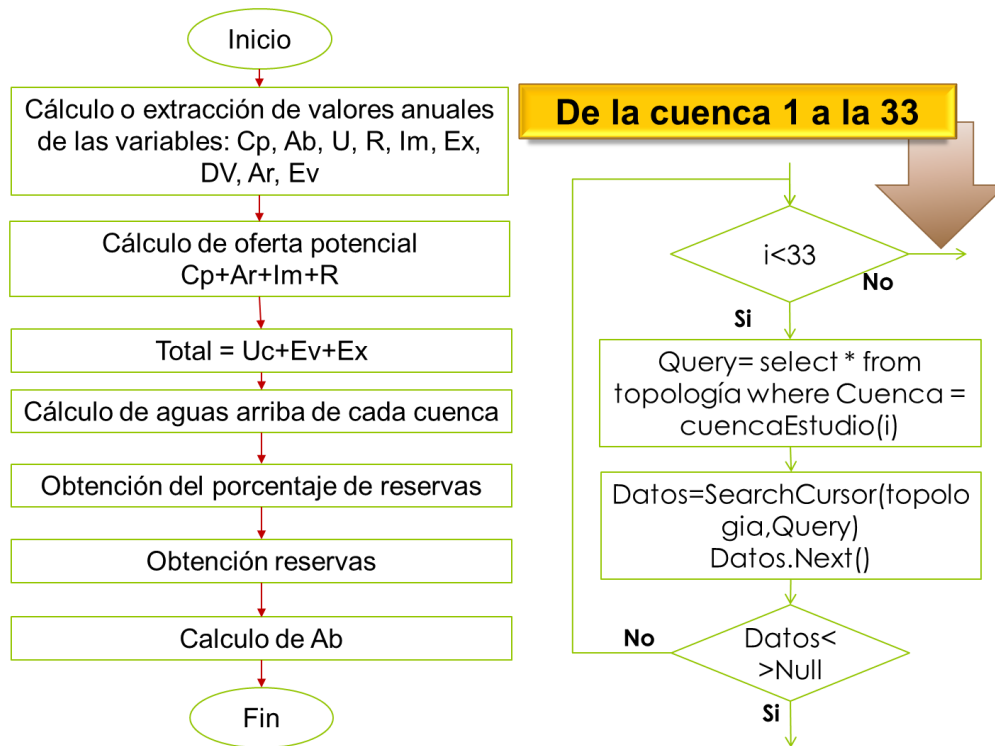


Figura 6.13. Diagrama de flujo correspondiente al cálculo de la variable Ab

8. Cálculo del porcentaje con respecto a las entradas reservadas: para cada cuenca. Se calcularon los porcentajes de Ar, Im y CpR correspondientes, para ello se divide el valor de la variable entre el total de las entradas reservadas.
9. Cálculo de reservas (Re1 y Re2). Tomando en cuenta la topología, se inicia el cálculo desde la última cuenca hacia la primera, en donde si la cuenca escurre hacia el “MAR” el cálculo de las aguas reservadas (Re1) se realiza multiplicando el volumen correspondiente a las salidas de la propia cuenca por el porcentaje que le corresponde CpR (cuenca propia + retorno) obtenido en el paso anterior. Para las demás cuencas, el cálculo se realiza aplicando el porcentaje correspondiente de Ar, Im y CpR al volumen reservado a la cuenca aguas abajo + su reserva 2.
10. Cálculo de disponibilidad. Para la cuenca 33 y 32, la disponibilidad se calculó restandole al valor de Ab el valor de Re2, para el resto de las cuencas se le restó el valor de Re1.

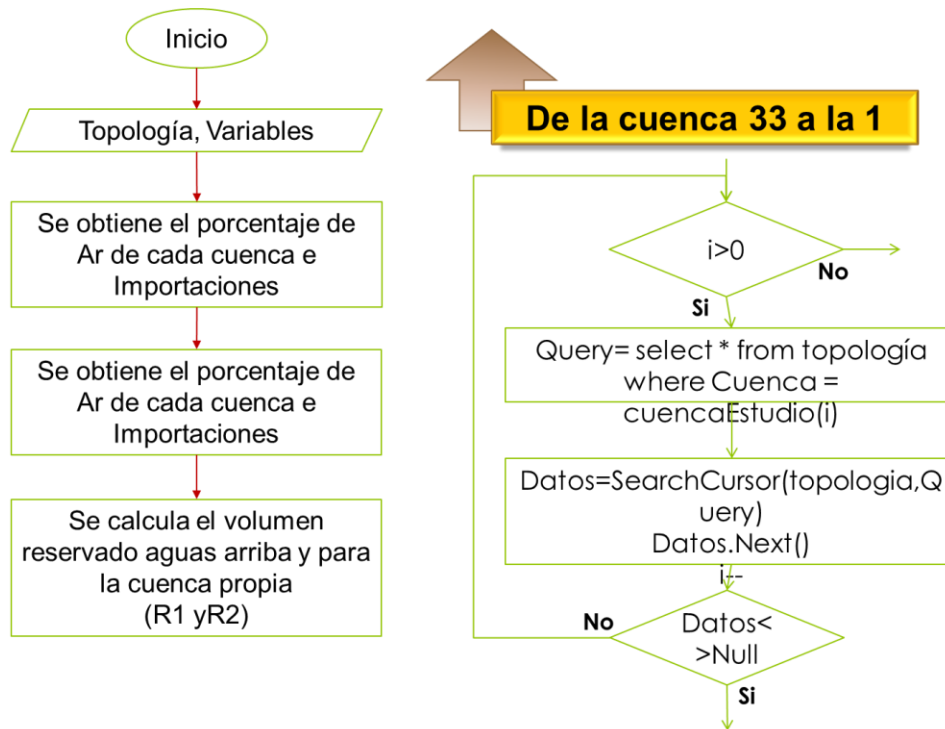


Figura 6.14. Diagrama de flujo correspondiente al cálculo de reservas

### Módulo de consultas

Como se mencionó en el diseño, la consulta se podría llevar a cabo por cuenca o por variable, por lo que se realizó un script con la secuencia de comandos siguiente:

1. Declaración del espacio de trabajo
2. Obtención de los datos de entrada. Se extraen de la interfaz indicada por el usuario y se almacenó en variables para que se aplicaran en la consulta a la base de datos.
3. Los datos generados como resultado de la consultan se almacenan en arreglos.
4. Se generaron dos funciones, una para crear una tabla y otra para crear una gráfica que recibe un arreglo para obtener los datos.

### Módulo de actualización

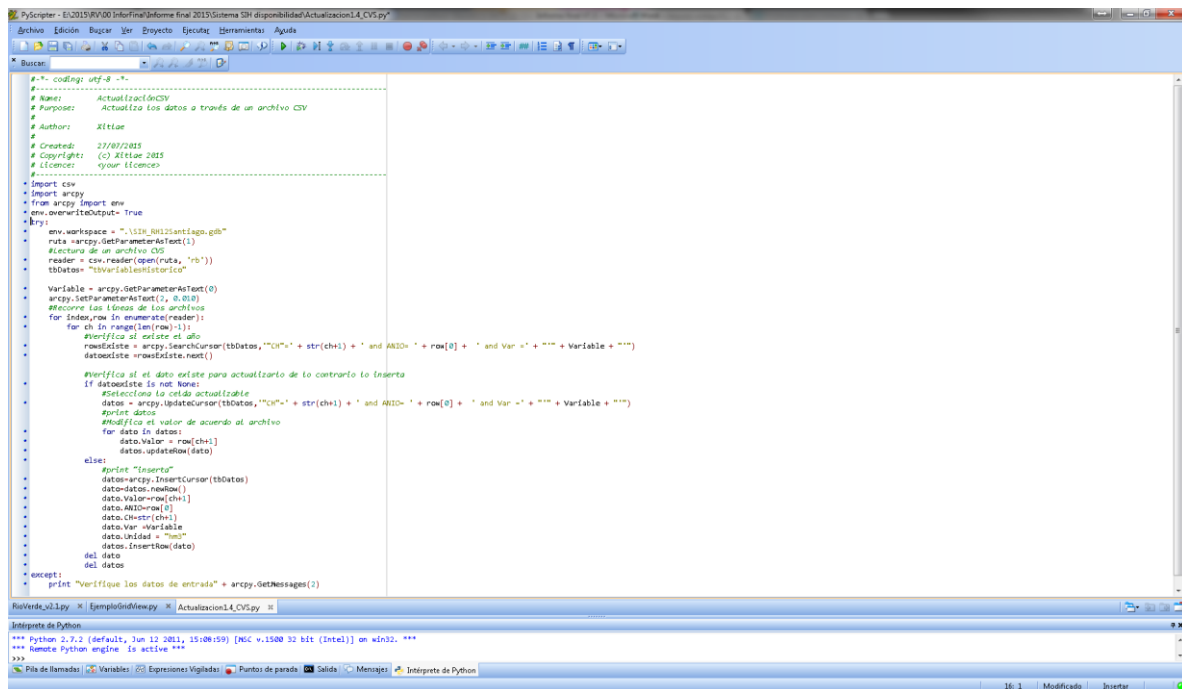
Para poder realizar diversos cálculos de disponibilidad la herramienta permite actualizar el valor de las variables, por lo que se programó un script que permite actualizar el valor de una variable específica, en el cual el usuario indica el nombre de la variable, el año, la cuenca y el valor a modificar. Para ello, se realiza la siguiente secuencia de instrucciones:

1. Declaración del espacio de trabajo
2. Realizar la búsqueda de la información aplicando como filtro las variables indicadas por el usuario, si el dato existe se aplica el cambio de la información, si no existe se indica al usuario que no se puede realizar la actualización debido a que se necesita introducir el valor de todas las variables en el año que se requiere actualizar.

## Fase 4. Codificación

Se utilizó el lenguaje de programación Python porque es un lenguaje interpretado cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorece un código legible. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional.

Por otro lado, un ambiente de desarrollo integrado o entorno de desarrollo interactivo, en inglés *Integrated Development Environment (IDE)*, es una aplicación informática que proporciona servicios integrales para facilitarle al desarrollador o programador el desarrollo de software. Para este proyecto se utilizó como IDE la aplicación PyScripter porque facilita el trabajo y reduce la posibilidad de introducir errores en nuestros programas, entre algunas de sus ventajas podemos mencionar que utiliza diferentes colores, identifica y comenta el código de modo rápido, es personalizable, tiene predictor de escritura. Las ventanas del IDE y de depuración ayudan al seguimiento del código durante la ejecución del script.



```

#-*- coding: utf-8 -*-
#-----
# Name: ActualizaciónCSV
# Purpose: Actualiza los datos a través de un archivo CSV
#
# Author: xitlax
#
# Created: 27/07/2015
# Copyright: (c) xitlax 2015
# License: gnu (licencia)
#-----
import csv
import arcpy
from arcpy import env
env.overwriteOutput = True
try:
    env.workspace = "I:\SH\011\entfago.gdb"
    ruta = arcpy.GetParameterAsText(1)
    #lectura de un archivo CSV
    reader = csv.reader(open(ruta, 'rb'))
    ttdatos = "tbVariableHistorico"
    Variable = arcpy.GetParameterAsText(0)
    arcpy.SetParameterAsText(2, 0.0)
    #recorre las líneas de los archivos
    for index,row in enumerate(reader):
        for ch in range(len(row)-1):
            #verifica si existe el año
            rowExiste = arcpy.SearchCursor(ttdatos, ""C@@" + str(ch+1) + " and ANID@@" + row[0] + " and Var = " + "" + Variable + """)
            datosExiste = rowExiste.next()
            #verifica si el dato existe para actualizarlo de lo contrario lo inserta
            if datosExiste is not None:
                #selecciona la celda actualizadla
                datos = arcpy.UpdateCursor(ttdatos, ""C@@" + str(ch+1) + " and ANID@@" + row[0] + " and Var = " + "" + Variable + """)
                #print datos
                #modifica el valor de acuerdo al archivo
                for dato in datos:
                    dato.valor = row[ch+1]
                    datos.updateRow(dato)
            else:
                #print "inserta"
                datos=arcpy.InsertCursor(ttdatos)
                (datos=datos.newRow()
                dato=datos.row[ch+1]
                dato.ANID=row[0]
                dato.C@@"=ch+1
                dato.Var =Variable
                dato.Unidad = "m3"
                datos.insertRow(dato)
                del dato
            del datos
        except:
            print "verifique los datos de entrada" + arcpy.GetMessages(2)

```

RunVerde\_v01.py | Ejemplo01Mevpy | Actualizacion4\_CSV.py

Intérprete de Python

```

*** Python 2.7.2 (default, Jun 12 2011, 15:08:59) [MSI v.1500 32 bit (Intel) on win32. ***
*** Remote Python engine is active ***
>>>

```

Pila de llamadas | Variables | Expresiones Vigiladas | Puntos de parada | Salidas | Mensajes | Intérprete de Python

16 | 1 | Modificado | Insertar

Figura 6.15. IDE PyScripter

Tomando en cuenta la secuencia de comandos establecida para cada módulo de la fase de diseño, se programaron las rutinas correspondientes y se crearon los script de cada uno de los módulos.

## Fase 5. Pruebas

Se realizaron pruebas de funcionalidad de cada módulo o grupo de módulos, donde se comprobó si cada módulo cumplía con su especificación de diseño detallado.



## Fase 6. Integración

Una vez generados cada uno de los scripts, se generó la caja de herramienta dentro de la Toolbox del proyecto de ArcGIS. Para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

1. Se abrió la ventana ArcTollbox
2. Se dio clic derecho en la raíz y se seleccionó del menú

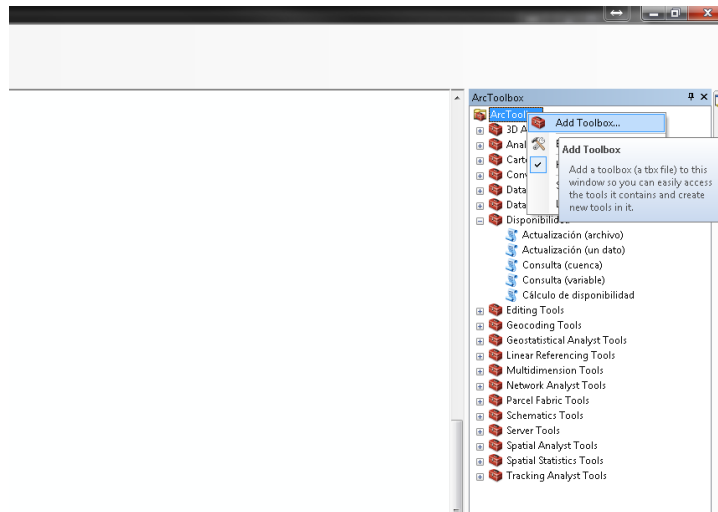


Figura 6.16. Generación de la caja de herramientas

3. Se creó la caja de herramientas dándole el nombre de “Disponibilidad”.
4. Se agregaron a ella cada uno de los scripts programados para los módulos de consulta, actualización y cálculo. Para ello se dio clic derecho sobre la caja de herramientas Disponibilidad y se fueron agregando cada uno de ellos.

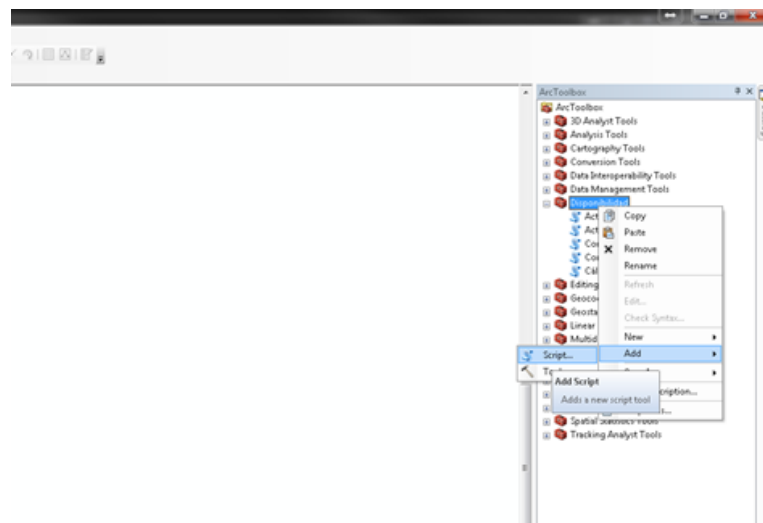


Figura 6.17. Agregado de los módulos de actualización, consulta y cálculo a la caja de herramientas.

- Se configuraron las variables de entrada necesarias para le ejecución de los scripts y la interacción con el usuario. Para ello, se dio clic derecho en el script y se definieron los campos cuenca, variable, año, dato o ruta del archivo que contuviera los datos.

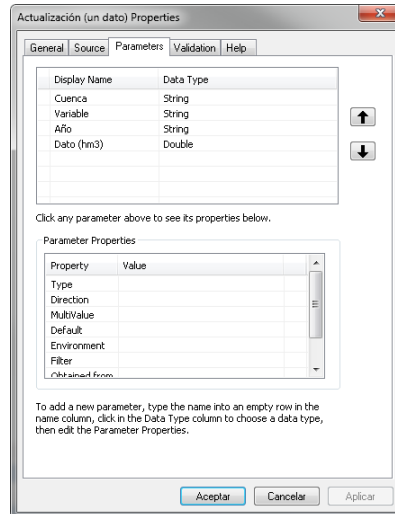


Figura 6.18. Ventana de configuración de variables del script

### 6.1.2 Uso de la interfaz de la herramienta SIH

La herramienta SIH se compone de los siguientes elementos:

- Base de datos **SIH\_RH12Santiago.gdb**
- Proyecto ArcGIS conectado a la base de datos: **SIH\_RH12Santiago\_v1\_2015.mxd**
- Scripts programados en Python (**varios \*.py**)
- Librerías necesarias para la ejecución de los scripts
- Caja de herramientas: **Disponibilidad.tbx**
- Manual de usuario

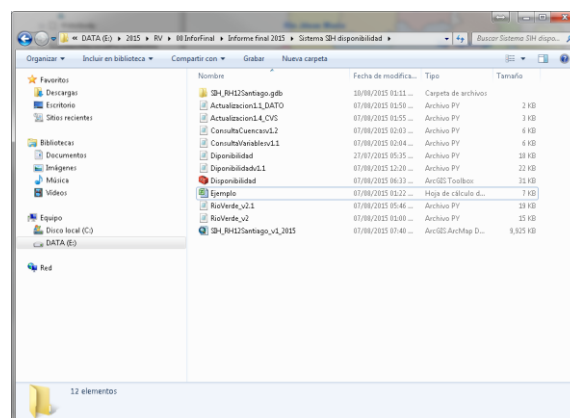


Figura 6.19. Contenido de la carpeta de SIH

## 6.2 Generación de la base de datos actualizada

### 6.2.1 Generalidades

A continuación se describen la Base de Datos Geográfica (Geodatabase, GDB) para almacenar y actualizar datos espaciales y series de tiempo asociados con el recurso hídrico superficial de la Región Hidrológica No. 12 Río Santiago, que proporcionará información para la estimación de la disponibilidad media anual de aguas superficiales.

La Geodatabase que almacena los datos geográficos e información tabular histórica para alimentar tanto al Sistema de Información Hidrológica (SIH) como al Sistema de Información de Consulta (SIC), se desarrolló de tipo monousuario (file geodatabase), basada en archivos y con la estructura del modelo de datos ArcHydro en su versión completa.

### 6.2.2 Generación y estructura de la base de datos

En su nivel básico, la Geodatabase es un contenedor que almacena datos espaciales y alfanuméricos, así como las relaciones existentes entre ellos. En una Geodatabase la información se almacena de manera estructurada, con el fin de constituir un conjunto integrado de datos mediante la definición de reglas, relaciones y asociaciones topológicas.

Existen tres tipos de Geodatabase: Personal, basada en archivos y Multiusuario. La Geodatabase Personal maneja los datos en formato Microsoft Access (\*.mdb), y puede almacenar hasta 2 Gigabytes de información, aunque es recomendable no superar los 500 Megabytes.

La Geodatabase basada en Archivos (file geodatabase, \*.gdb) utiliza un formato propio de ESRI, que integra los datos en un único directorio o carpeta. Ofrece mejor rendimiento que la Geodatabase Personal, almacena hasta 1 Terabyte por Dataset. Se puede consultar por varios usuarios de forma simultánea en modo de sólo lectura.

La Geodatabase Multiusuario requiere ArcSDE, funciona bajo Oracle, Microsoft SQL Server o IBM DB2. Puede ser consultada y editada por varios usuarios de forma simultánea. Sin límite de tamaño, pero se requiere una gran inversión de infraestructura para llevar a cabo su implementación, además de personal más calificado.

La estructura general de una Geodatabase contiene los siguientes elementos:

- Feature Class (capas vectoriales)
- Feature Dataset (agrupación de varias capas de información vectorial)
- “raster” Dataset (archivos “raster”)
- “raster” Catalog (agrupación de varios archivos “raster”)
- Relationship Class (relaciones entre capas espaciales y tablas)
- Tablas no espaciales (pero relacionadas a elementos geográficos)

A continuación se describen los principales elementos que se implementaron en la Geodatabase de trabajo:

- **Feature Class:** El Feature Class (Clase de Entidad) es un componente de la Geodatabase que agrupa datos que tienen una misma geometría, atributos y referencia espacial. Los Feature Class pueden existir en forma independiente dentro de la Geodatabase, o pueden agruparse dentro de un Feature Dataset.
- **Feature Dataset:** El Feature Dataset (Dataset de Entidades) almacena un grupo de Features Class, que deben poseer la misma referencia espacial (sistema de coordenadas y extensión espacial). Se deben agrupar en un mismo Feature Dataset aquellos elementos que mantienen una relación topológica (adyacencia, coincidencia o conectividad).
- **Tablas no espaciales:** Estas tablas contienen información que no tiene una referencia espacial (registros climatológicos, hidrométricos, curvas E-A-C, etc.) pero generalmente están vinculadas a algún objeto geográfico.
- **Modelo de datos ArcHydro:** es un modelo de datos geográfico, desarrollado por el Centro de Investigación y Recursos Hídricos (CRWR) de la Universidad de Texas, que propone una estructura estándar para almacenar en una base de datos geográfica, implementada con el software ArcGIS, la información asociada con el recurso hídrico de un área determinada. En particular, un modelo de datos geográfico es una representación del mundo real que puede ser usada en un sistema de información geográfico (SIG) para almacenar, consultar y analizar información espacial (Maidment, 2002).

El modelo ArcHydro proporciona dos tipos de estructuras de datos para almacenar y representar un sistema de recursos hídricos: la versión compacta (Framework) y la versión completa. La versión compacta organiza la información en una sola componente denominada ArcHydro, mientras que la versión completa del modelo ArcHydro organiza los datos del recurso hídrico en cinco componentes dentro de la base de datos de geográfica.

Los cinco componentes de la versión completa del modelo ArcHydro son: Network, Drainage, Hydrography, Channel y TimeSeries. Cada componente es un conjunto de capas.

El componente Network almacena las capas relacionadas con las cuales la red hidrográfica se modela como una red geométrica.

El componente Drainage permite almacenar áreas de drenaje definidas por criterios topográficos o administrativos, y líneas de corriente obtenidas a partir de modelos digitales de elevación.

El componente Channel proporciona capas para modelar canales.

El componente Hydrography incluye las capas definidas en la versión Framework y capas adicionales para representar (como puntos, líneas o polígonos) otros rasgos de la superficie terrestre de interés para la modelación como presas, puntos de descarga, puntos de retiro, etcétera. TimeSeries es una tabla no espacial que contiene la información histórica de variables hidroclimatológicas y que se relaciona con los elementos geográficos donde fueron medidos.

### 6.2.3 Recopilación y procesamiento de información

La información espacial y de series de tiempo que se consideró para implementar el modelo se muestra en la tabla 1. El sistema coordinado que se utilizó para almacenar la información geográfica fue la proyección Cónica Conforme de Lambert con los parámetros propuestos por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para el país y el datum ITRF92. El software utilizado para implementar la base de datos es ArcGIS en nivel ArcInfo versión 10.2.

Tabla 6.3. Capas consideradas y fuentes de datos usadas en la implementación del modelo ArcHydro de aguas superficiales.

Nombre de la capa en el modelo ArcHydro	Temas que contiene	Fuente
<b>Basin</b>	Límite general de la región hidrológica No. 12 Río Santiago	<b>Versión publicada en el DOF, Noviembre 2010 [1]</b>
<b>Watershed</b>	Límites de cuencas hidrológicas	<b>Versión publicada en el DOF, Noviembre 2010 [1]</b>
<b>HydroEdge</b>	Líneas de corriente	<b>CONAGUA</b>
<b>HydroJunction</b>	Puntos de interés dentro del sistema hidrológico	<b>Definidos con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)</b>
<b>MonitoringPoint</b>	Estaciones hidrométricas y climatológicas	<b>CONAGUA</b>
<b>WaterBody</b>	Cuerpos de agua correspondientes a presas, lagos y lagunas	<b>INEGI - escala 1:50,000 [3]</b>
<b>Dam</b>	Ubicación de presas y características generales	<b>CONAGUA</b>
<b>WaterWithdrawal</b>	Puntos de extracción de agua (Aprovechamientos superficiales)	<b>CONAGUA</b>
<b>TimeSeries (Series de tiempo)</b>	<b>Datos mensuales de gasto medio diario, precipitación, evaporación, temperatura y datos de almacenamientos.</b>	<b>(CLICOM,2013), (BANDAS,2011) y CONAGUA</b>

### 6.2.4 Implementación de la base de datos geográfica con la estructura ArcHydro

La siguiente figura muestra la estructura de la base de datos geográfica para la cuenca del Río Santiago, tal como se visualiza con la aplicación ArcCatalog del software ArcGIS.

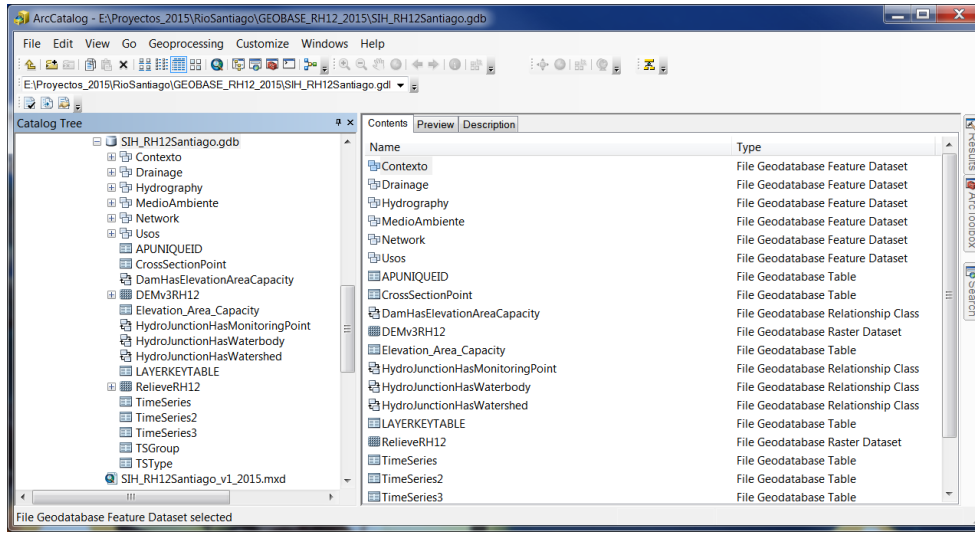


Figura 6.20. Estructura de la base de datos geográfica

La figura muestra los componentes del modelo de datos de ArcHydro en su versión completa. La base de datos contiene seis features datasets, tres están definidos por el modelo ArcHydro (Drainage, Hydrography y Network); tres más se agregaron para almacenar información de Contexto, de Medio ambiente y Usos.

El componente Drainage permite almacenar áreas de drenaje definidas por criterios topográficos obtenidas a partir de modelos digitales de elevación y líneas de corriente de tipo vector, o bien o áreas definidas por criterios administrativos. En este caso se muestran las 33 cuencas hidrológicas pertenecientes a la Región Hidrológica Río Santiago.

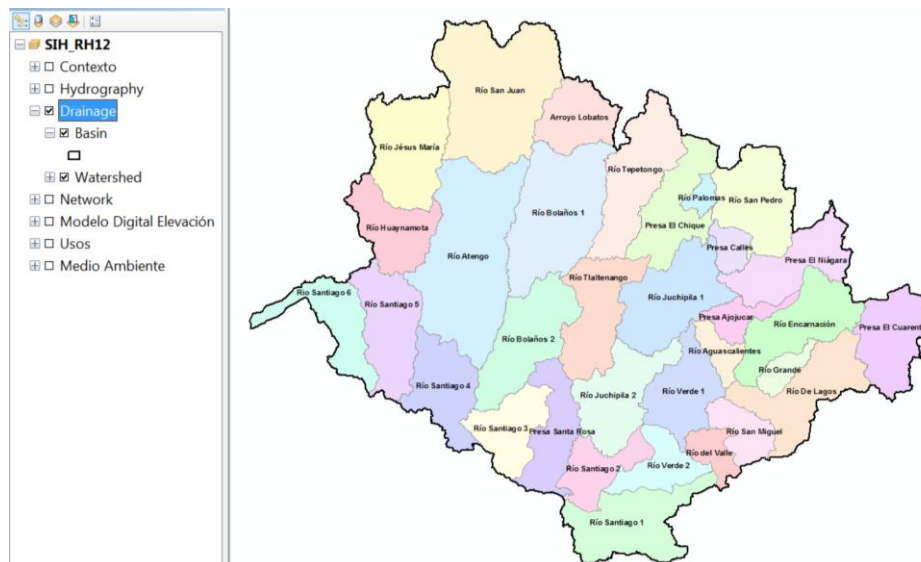


Figura 6.21. Información contenida dentro del Feature Dataset Drainage

El componente Hydrography incluye las capas para representar rasgos de la superficie terrestre de interés para la modelación como presas, cuerpos de agua, puntos de descarga, puntos de monitoreo, etcétera.

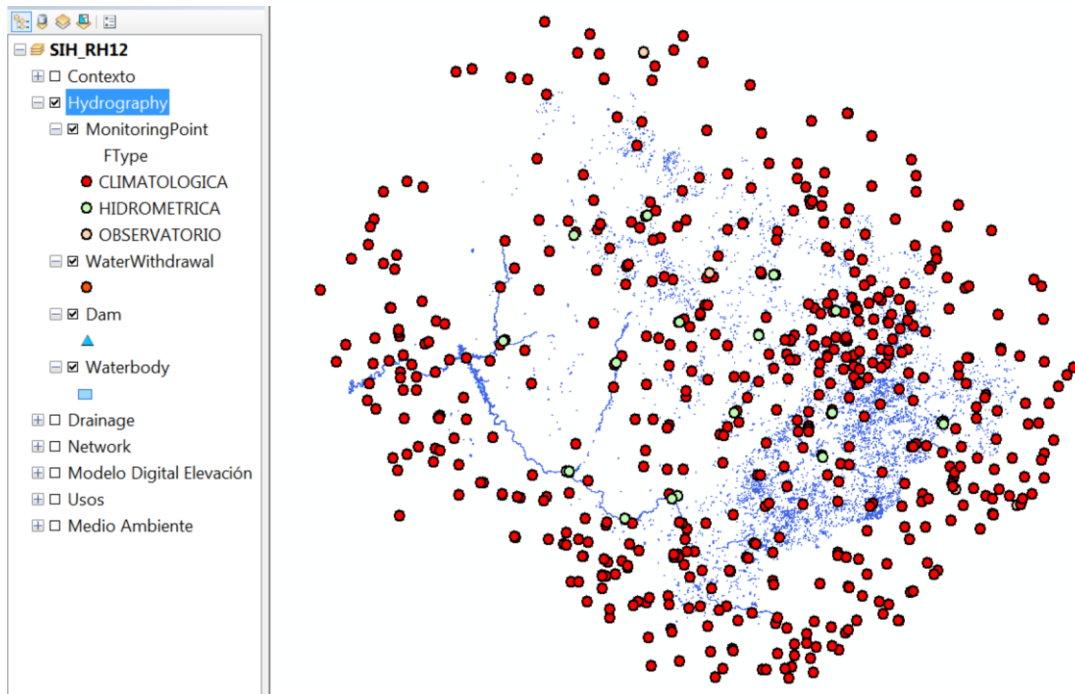


Figura 6.22. Información contenida dentro del Feature Dataset Hydrography

El componente Network almacena las capas relacionadas con las cuales la red hidrográfica se modela como una red geométrica así como los puntos de control a la salida de cada cuenca.

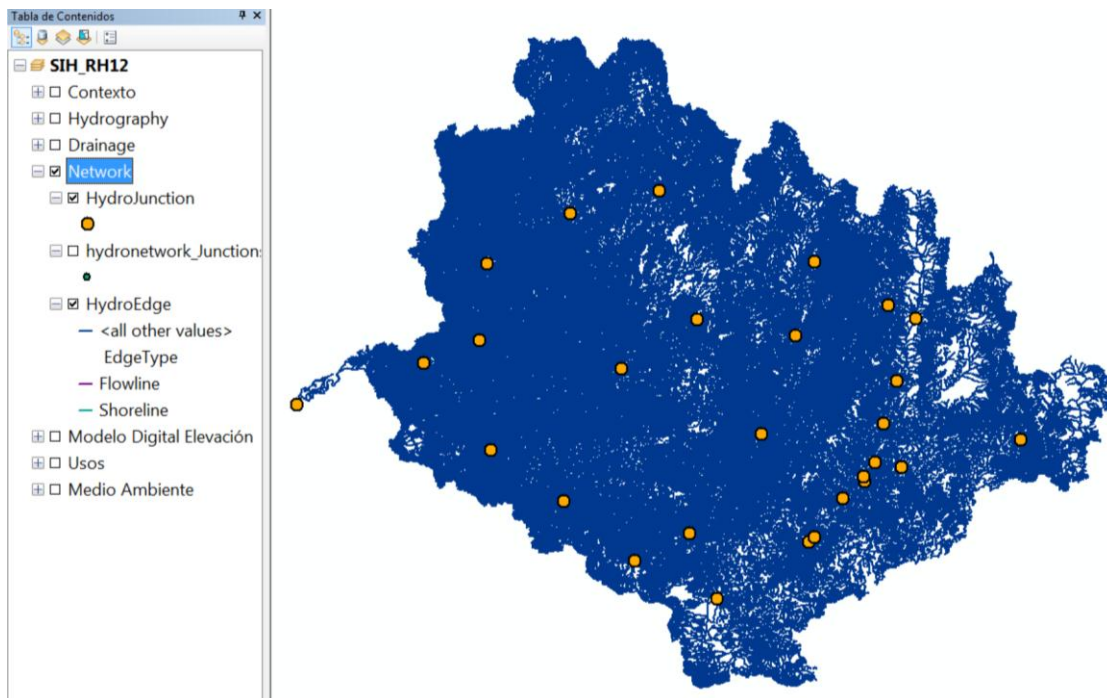


Figura 6.23. Información contenida dentro del Feature Dataset Network

Dentro de la información de Contexto que se almacenó en la base de datos se encuentra información acerca de los límites políticos y administrativos del país como entidades federativas, municipios y localidades urbanas y rurales.

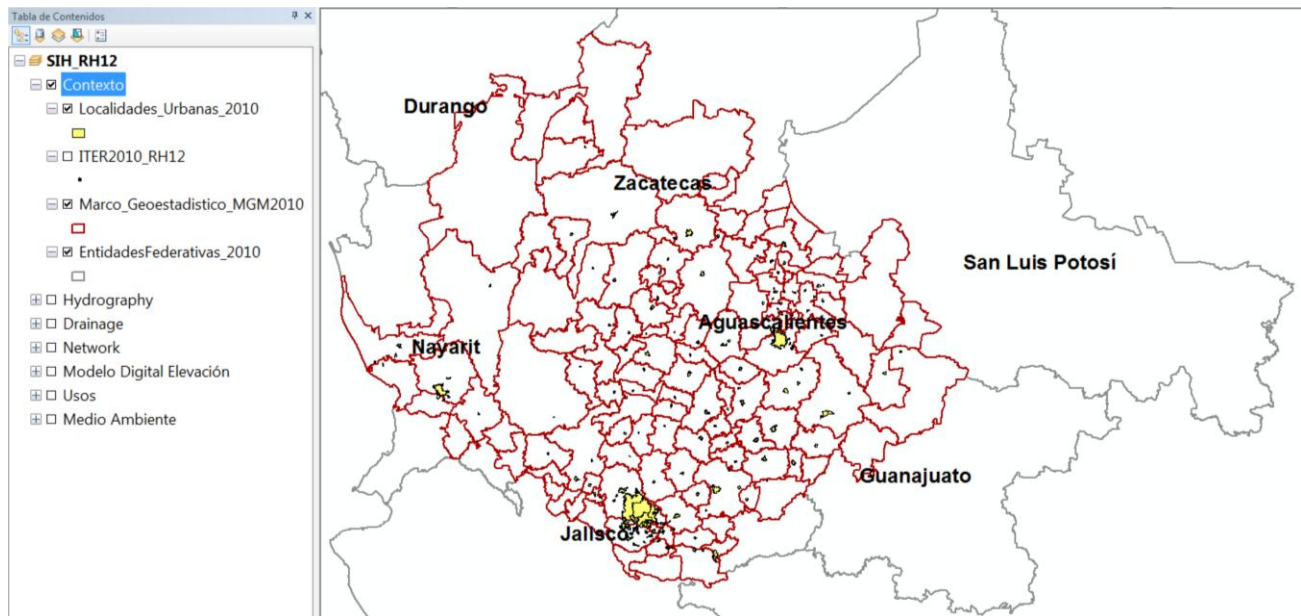


Figura 6.24. Información contenida dentro del Feature Dataset Contexto

El dataset de Medio Ambiente agrupa aquellas capas que representan rasgos ambientales como cobertura vegetal y edafología.

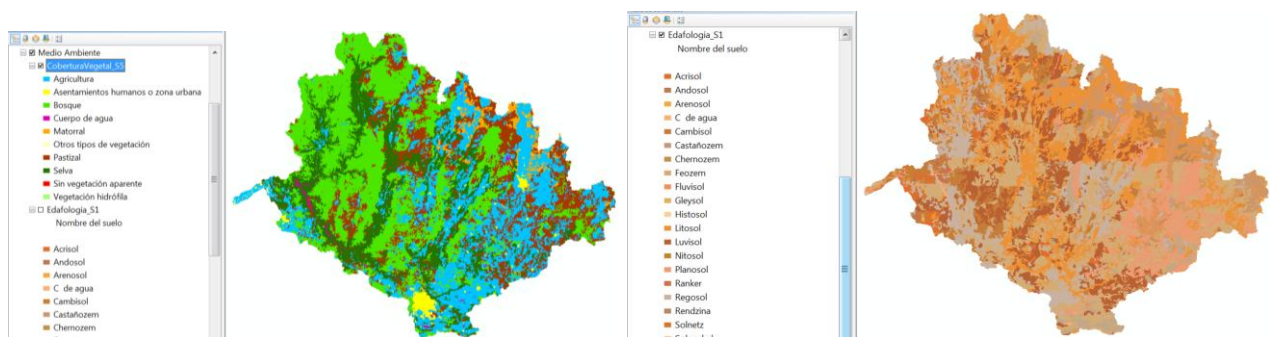


Figura 6.25. Información contenida dentro del Feature Dataset Medio Ambiente



El dataset de Usos contiene capas relacionadas con distritos y unidades de riego.

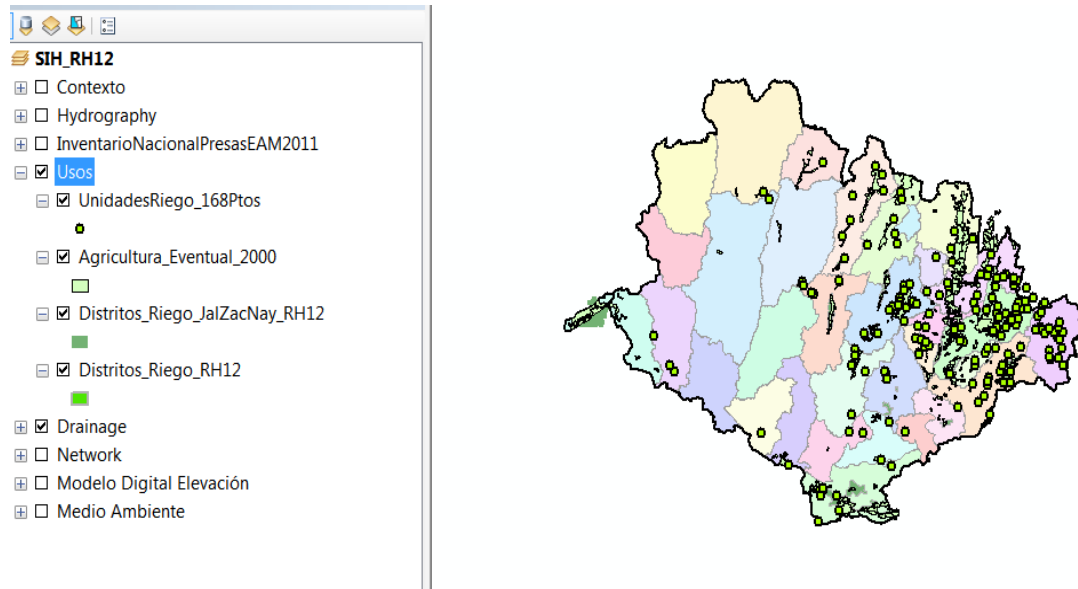


Figura 6.26. Información contenida dentro del Feature Dataset Usos

También se incluyó el Continuo de Elevaciones Mexicano versión 3 producido por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

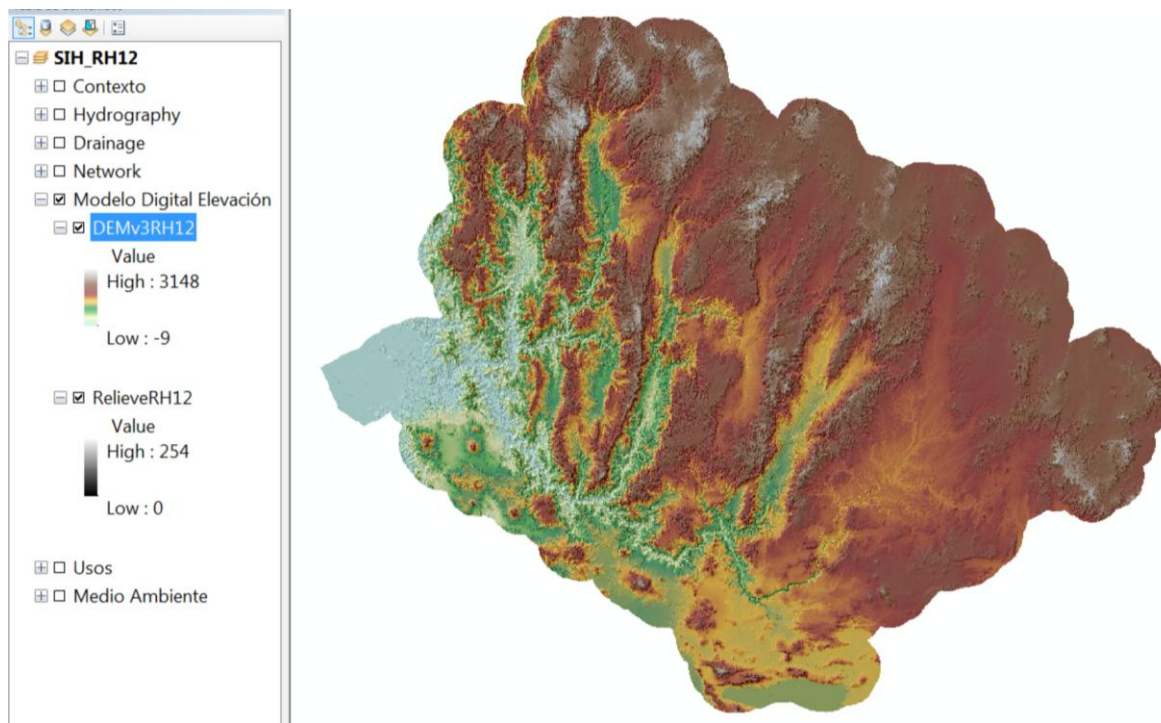


Figura 6.27. Información contenida dentro del Feature Modelo Digital de Elevación

En la figura siguiente se muestra el proyecto de ArcMap dentro de la plataforma ArcGIS.

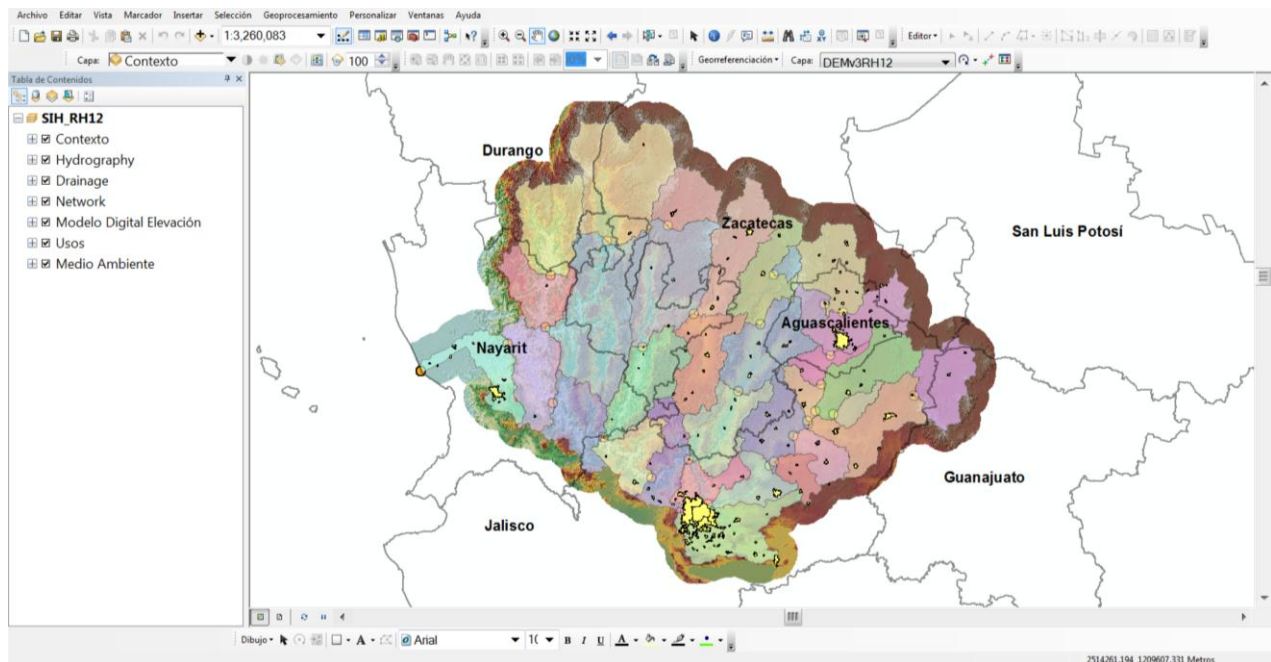


Figura 6.28. Proyecto elaborado con la aplicación ArcMap para la Región Hidrológica No. 12 Río Santiago

Cada una de las capas que se generan al aplicar la estructura del modelo ArcHydro contiene un identificador único llamado HydroID, que se utiliza para diferenciar a cada uno de los elementos que participan dentro del modelo y evitar conflictos al modelar la red geométrica y otros procesos dentro de la implementación.

En la tabla 2 se muestra el HydroID que se le asignó a cada capa geográfica almacenada en la Geodatabase.

Tabla 6.4. Componentes e identificadores únicos dentro de la Geodatabase.

No.	HydroID	Representación en el modelo ArcHydro
1	1201000000	Punto de control / Hydrojunction
2	1202000000	Red hidrográfica / Hydroedge
3	1203000000	Cuerpos de agua / Waterbody
4	1204000000	Cuencas hidrológicas / Watershed
5	1205000000	REPDA / WaterWithDrawal
6	1206000000	No utilizada
7	1207000000	No utilizada
8	1208000000	Estación de medición / MonitoringPoint
9	1209000000	No utilizada
10	1210000000	Presas / Dam
11	1211000000	Límite de la RH / Basin

**Punto de control / hydrojunction:** Están definidos por los puntos ubicados a las salidas de las 33 cuencas hidrológicas que se encuentran publicados en el DOF.

**Red hidrográfica / hydroedge:** Representa la red hidrográfica de toda la región hidrológica. Actualmente ya se encuentra conectada toda la red y con direcciones de flujo.

**Cuerpos de agua / Waterbody:** Corresponde a los cuerpos de agua ubicados en región. La información fue obtenida a partir de los datos generados por el INEGI.

**Cuencas hidrológicas / Watershed:** Representa las cuencas hidrológicas definidas y publicadas en el DOF en el año de 2010.

**REPDA / WaterWithDrawal:** Corresponde a la información sobre las características generales de los aprovechamientos de aguas nacionales superficiales inscritos en el REPDA.

**Estación de medición / MonitoringPoint:** La capa MonitoringPoint almacenada en la Geodatabase contiene ambas estaciones de medición: climatológicas e hidrométricas.

**Presas / Dam:** Contiene la ubicación geográfica de las presas localizadas dentro de la región Hidrológica No. 12 Río Santiago.

**Límite de la RH / Basin:** Esta capa representa la envolvente de la región hidrológica, es decir, el límite hidrológico o parteaguas.

**Tabla de series de tiempo (TimeSeries):** Esta tabla no espacial contiene toda la información histórica sobre hidrométrica y climatología. En ella se especifica la fecha de medición, el tipo de variable, el valor registrado y la estación de medición donde se registró el dato. En esta tabla se almacena también los datos que se presentan en el sistema de información de consulta (SIC) como los datos de disponibilidad de agua superficial publicados en el DOF.

**Tablas TSTypeID:** Esta tabla contiene un catálogo de las variables hidrométricas y climatológicas contenidas en la tabla TimeSeries. En ella se especifica el tipo de variable, sus unidades de medición y el intervalo de lectura. Contiene también las variables que se muestran en el SIC.

**Tablas TSGroup:** Esta tabla contiene un catálogo de las fuentes de la información hidrométrica y climatológica contenida en la tabla TimeSeries. En ella se especifica el tipo de variable y la fuente de la información.

#### 6.2.4.1 Implementación de la tabla TimeSeries, TSType y TSGroup

El almacenamiento de las series de tiempo (TimeSeries) dentro del modelo ArcHydro considera una estructura similar a la que produce el modelo dimensional usado en bodegas de datos (Data Warehouse). Las dimensiones que se consideran en este caso son Tiempo, Espacio y Variable, y los atributos asociados a cada dimensión, que permiten ubicar un valor en el cubo de datos, son TSDateTime, FeatureID, TSTypeID y TSValue, respectivamente. La figura siguiente muestra las dimensiones y atributos del cubo de datos que se usa para almacenar las series de tiempo dentro de ArcHydro.

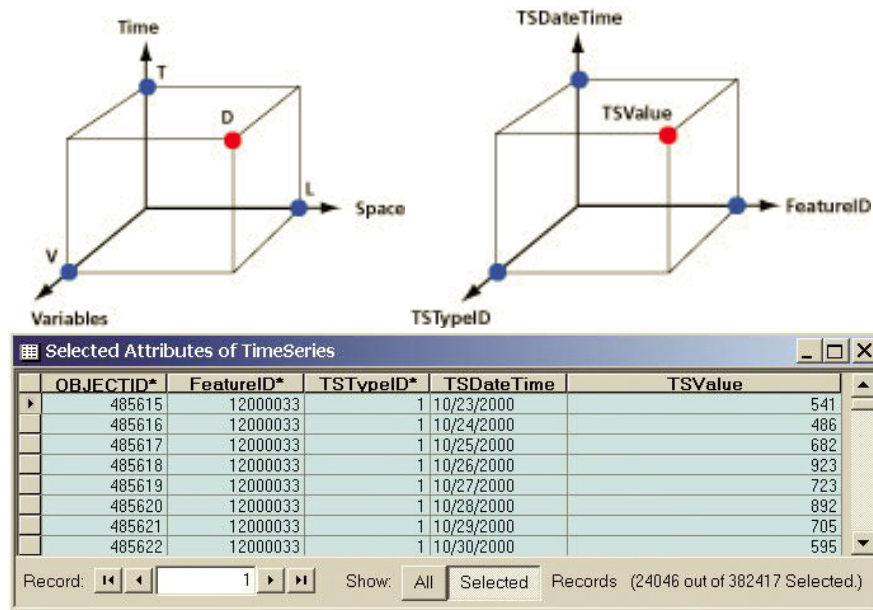


Figura 6.29. Dimensiones y atributos del cubo de datos usado para almacenar las series de tiempo en el modelo ArcHydro

Dentro de la tabla TimeSeries se consideró conveniente agregar una dimensión más para indicar la fuente u origen de los datos, denominada GroupID. La información almacenada en la tabla de series de tiempo (TimeSeries) de climatología e hidrometría fueron recabados de los sistemas CLICOM y BANDAS respectivamente. La información climatológica considerada corresponde a datos diarios de precipitación, evaporación; en el caso de hidrometría se consideraron volúmenes con un intervalo mensual.

Para consultar las series de tiempo almacenadas en la tabla TimeSeries se utiliza el atributo FeatureID y para las capas geográficas almacenadas en la Geodatabase el atributo HydroID definido en la tabla 2. Para ello, en la tabla 3 se muestra el identificador HydroID asignado a cada una de las estaciones de medición de la capa MonitoringPoint almacenada en la Geodatabase.

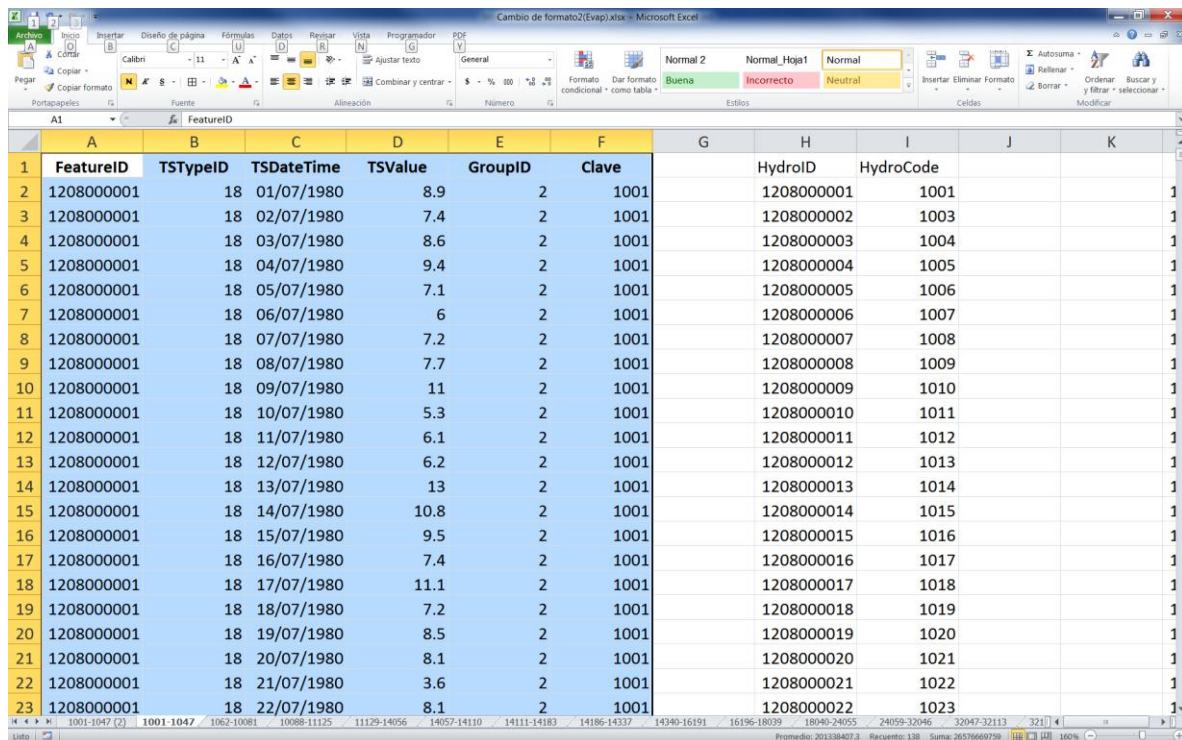
Tabla 6.5. Identificadores únicos para la capa MonitoringPoint dentro de la Geodatabase.

Clave de la estación	HydroID	Clave de la estación	HydroID	Clave de la estación	HydroID	Clave de la estación	HydroID
1001	1208000001	1045	1208000039	10015	1208000077	11099	1208000115
1003	1208000002	1046	1208000040	10032	1208000078	11101	1208000116
1004	1208000003	1047	1208000041	10040	1208000079	11103	1208000117
1005	1208000004	1057	1208000042	10046	1208000080	11107	1208000118
1006	1208000005	1062	1208000043	10057	1208000081	11108	1208000119
1007	1208000006	1063	1208000044	10065	1208000082	11109	1208000120
1008	1208000007	1068	1208000045	10066	1208000083	11110	1208000121
1009	1208000008	1073	1208000046	10081	1208000084	11112	1208000122

Clave de la estación	HydroID	Clave de la estación	HydroID	Clave de la estación	HydroID	Clave de la estación	HydroID
1010	1208000009	1074	1208000047	10088	1208000085	11117	1208000123
1011	1208000010	1075	1208000048	10124	1208000086	11123	1208000124
1012	1208000011	1076	1208000049	10151	1208000087	11125	1208000125
1013	1208000012	1077	1208000050	11008	1208000088	11128	1208000126
1014	1208000013	1078	1208000051	11018	1208000089	11129	1208000127
1015	1208000014	1079	1208000052	11019	1208000090	11130	1208000128
1016	1208000015	1080	1208000053	11020	1208000091	11131	1208000129
1017	1208000016	1081	1208000054	11023	1208000092	11135	1208000130
1018	1208000017	1082	1208000055	11024	1208000093	11140	1208000131
1019	1208000018	1083	1208000056	11025	1208000094	11141	1208000132
1020	1208000019	1084	1208000057	11029	1208000095	11150	1208000133
1021	1208000020	1085	1208000058	11030	1208000096	11153	1208000134
1022	1208000021	1086	1208000059	11035	1208000097	11154	1208000135
1023	1208000022	1088	1208000060	11036	1208000098	11157	1208000136
1024	1208000023	1089	1208000061	11039	1208000099	11159	1208000137
1025	1208000024	1090	1208000062	11040	1208000100	11160	1208000138
1026	1208000025	1091	1208000063	11045	1208000101	11161	1208000139
1027	1208000026	1094	1208000064	11049	1208000102	11162	1208000140
1028	1208000027	1095	1208000065	11050	1208000103	11165	1208000141
1029	1208000028	1096	1208000066	11055	1208000104	14001	1208000142
1030	1208000029	1097	1208000067	11058	1208000105	14002	1208000143
1031	1208000030	1098	1208000068	11063	1208000106	14003	1208000144
1032	1208000031	1099	1208000069	11065	1208000107	14004	1208000145
1033	1208000032	1101	1208000070	11067	1208000108	14006	1208000146
1034	1208000033	1102	1208000071	11069	1208000109	14009	1208000147
1035	1208000034	1103	1208000072	11073	1208000110	14010	1208000148
1036	1208000035	1104	1208000073	11074	1208000111	14012	1208000149
1037	1208000036	1105	1208000074	11089	1208000112	14016	1208000150
1041	1208000037	1106	1208000075	11094	1208000113	14017	1208000151
1043	1208000038	1108	1208000076	11095	1208000114	14020	1208000152

A cada capa geográfica almacenada en la geodatabase se le asignó su identificador único, ya sea que tenga o no una serie de tiempo asociada.

Por otra parte, el procesamiento de los datos de precipitación y evaporación para su carga a la tabla TimeSeries consiste en estructurar la información en el formato de cinco columnas descrito en el cubo de datos de la figura 25. La figura siguiente muestra un archivo en Microsoft Excel con la estructura requerida para almacenar la información diaria de evaporación.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	FeatureID	TSTypeID	TSDateTime	TSValue	GroupID	Clave		HydroID	HydroCode		
1	1208000001	18	01/07/1980	8.9	2	1001		1208000001	1001		1
2	1208000001	18	02/07/1980	7.4	2	1001		1208000002	1003		1
3	1208000001	18	03/07/1980	8.6	2	1001		1208000003	1004		1
4	1208000001	18	04/07/1980	9.4	2	1001		1208000004	1005		1
5	1208000001	18	05/07/1980	7.1	2	1001		1208000005	1006		1
6	1208000001	18	06/07/1980	6	2	1001		1208000006	1007		1
7	1208000001	18	07/07/1980	7.2	2	1001		1208000007	1008		1
8	1208000001	18	08/07/1980	7.7	2	1001		1208000008	1009		1
9	1208000001	18	09/07/1980	11	2	1001		1208000009	1010		1
10	1208000001	18	10/07/1980	5.3	2	1001		1208000010	1011		1
11	1208000001	18	11/07/1980	6.1	2	1001		1208000011	1012		1
12	1208000001	18	12/07/1980	6.2	2	1001		1208000012	1013		1
13	1208000001	18	13/07/1980	13	2	1001		1208000013	1014		1
14	1208000001	18	14/07/1980	10.8	2	1001		1208000014	1015		1
15	1208000001	18	15/07/1980	9.5	2	1001		1208000015	1016		1
16	1208000001	18	16/07/1980	7.4	2	1001		1208000016	1017		1
17	1208000001	18	17/07/1980	11.1	2	1001		1208000017	1018		1
18	1208000001	18	18/07/1980	7.2	2	1001		1208000018	1019		1
19	1208000001	18	19/07/1980	8.5	2	1001		1208000019	1020		1
20	1208000001	18	20/07/1980	8.1	2	1001		1208000020	1021		1
21	1208000001	18	21/07/1980	3.6	2	1001		1208000021	1022		1
22	1208000001	18	22/07/1980	8.1	2	1001		1208000022	1023		1

Figura 6.30. Procesamiento de los datos que serán almacenados en la tabla TimeSeries

Como se observa en la figura anterior, el atributo FeatureID de la tabla TimeSeries, corresponde con la estación climatológica con clave 1001, a la cual geográficamente se le asignó el HydroID 1208000001 como se observa en la tabla correspondiente.

La tabla TsType dentro del modelo de datos ArcHydro se utiliza para almacenar el catálogo de variables que son almacenadas en la tabla TimeSeries. Los atributos de la tabla TsType son: TSTypeID que corresponde a la clave de la variable medida (a partir de esta clave se establece la relación con la tabla TimeSeries). Variable, que contiene el nombre de la variable (precipitación, evaporación, volumen mensual, etc.). Units, que indica las unidades en las que se reportan los valores de la variable. TSInterval, indica el intervalo de tiempo al que corresponde el dato medido: valor diario, mensual, anual, etc.

Una sección de la tabla TsType definida para la geodatabase desarrollada en este trabajo se muestra a continuación.

Tabla 6.6. Sección de la tabla TsType donde se almacena información de las variables de la tabla TimeSeries

TSType ID	Variable	Abreviatura	Units	IsRegular	TSInterval	DataType	Origin
40	VOLUMEN_MEDIO_ANUAL_E SCURRIMIENTO_NATURAL_C UENCA	Cp	hm3	20	99	4	2
41	VOLUMEN_MEDIO_ANUAL_E SCURRIMIENTO_NATURAL_D	Ar	hm3	20	99	4	2

TSType ID	Variable	Abreviatura	Units	IsRegular	TSInterval	Data Type	Origin
	ESDE_CUENCA_AGUAS_ARRIBA						
42	VOLUMEN_ANUAL_EXTRACCION_AGUA_SUPERFICIAL_CUENCA	U	hm3	20	99	4	2
43	VOLUMEN_ANUAL_RETORNOS_CUENCA	R	hm3	20	99	4	2
44	VOLUMEN_ANUAL_IMPORTACIONES_CUENCA	Im	hm3	20	99	4	2
45	VOLUMEN_ANUAL_EXPORTACIONES_CUENCA	Ex	hm3	20	99	4	2
46	VOLUMEN_ANUAL_EVAPORACION_EMBALSES_CUENCA	Ev	hm3	20	99	4	2
47	VOLUMEN_ANUAL_VARIACION_ALMACENAMIENTO_EMBALSES_CUENCA	Dv	hm3	20	99	4	2
48	VOLUMEN_MEDIO_ANUAL_ESCURRIMIENTO_CUENCAS_AGUAS_ABAJO	Ab	hm3	20	99	4	2
49	VOLUMEN_ANUAL_ACTUAL_COMPROMETIDO_AGUAS_ABAJO	Rxy	hm3	20	99	4	2
50	DISPONIBILIDAD_MEDIA_ANUAL_CUENCA	DispMediaAnual	hm3	20	99	4	2
51	PRECIPITACION_MEDIA_MENSUAL_CUENCA	Precipitacion	mm	19	99	4	2
52	ACUACULTURA	ACUACULTURA	m3	20	99	4	2
53	AGRICOLA	AGRICOLA	m3	20	99	4	2
54	DOMESTICO	DOMESTICO	m3	20	99	4	2
55	ELECTRICIDAD_O_HIDROELECTRICAS	E o H	m3	20	99	4	2
56	INDUSTRIAL	INDUSTRIAL	m3	20	99	4	2
57	MULTIPLES	MULTIPLES	m3	20	99	4	2
58	PECUARIO	PECUARIO	m3	20	99	4	2
59	PUBLICO_URBANO	PUBLICO_URBANO	m3	20	99	4	2
60	SERVICIO	SERVICIO	m3	20	99	4	2

También se elaboró la tabla TSGroup que almacena las fuentes de información de donde se recabaron los datos de la tabla TimeSeries. El atributo GroupID es a través del cual se hace la relación con la tabla TimeSeries.

Tabla 6.7. Contenido de la tabla TSGroup donde se almacenan las fuentes de donde proviene la información

GroupID	Fuente de información (Agency)
1	Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales, BANDAS. CONAGUA
2	Datos Climáticos Diarios, CLICOM. SMN
3	Comisión Estatal del Agua del Estado de Jalisco, CEA
4	Comisión Nacional del Agua, CONAGUA
5	Sistema de Información Nacional del Agua, SINA, CONAGUA
6	Extractor de Información Climatológica, ERIC III
7	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI
8	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA
9	Registro Público de Derechos de Agua, REPDA. CONAGUA
10	Servicio Meteorológico Nacional, SMN. CONAGUA
50	Otros

### 6.2.5 Sistema de información geográfica del río Santiago

Se entrega en formato digital un proyecto en el módulo ArcMap del software ArcGIS denominado SIH\_RH12Santiago\_v1\_2015.mxd. El proyecto contiene la información geográfica almacenada en los *Features Datasets* descritos anteriormente y que se encuentran almacenados en la geodatabase que se desarrolló en el presente trabajo.

### 6.3 Implementación del Sistema de Consulta

Los objetivos de esta actividad del proyecto fueron dos:

- ✓ Desarrollar un sistema de información de consulta (SIC) utilizando plataformas de software libre (OpenSource), con la finalidad de que la información geográfica básica de la Región Hidrológica No. 12 Río Santiago y la información numérica asociada a la disponibilidad de agua superficial, en las subcuencas que componen la zona hidrológica del Río Verde, pudiera ser consultada a través de un portal Web.
- ✓ Desarrollar una interfaz para actualizar en la base de datos geográfica con estructura ArcHydro (denominada también “geobase”), los datos que se muestran en el SIC y los datos de precipitación y evaporación acumulada mensual, y volumen de escurrimiento mensual.

La metodología que se empleó para el desarrollo de esta actividad consistió de las siguientes etapas:

- Recopilación y análisis de requerimientos
- Diseño de la base de datos
- Diseño de la interfaz de consulta
- Creación de la base de datos y carga de la información
- Desarrollo de la interfaz de consulta
- Elaboración de documentación

A continuación se describe cada una de las etapas.



### 6.3.1 Recopilación y análisis de requerimientos

Los requerimientos se clasifican en 2 tipos:

- Requerimientos funcionales.- especifican las funciones que el sistema deberá ofrecer al usuario para cumplir con una tarea específica y obtener un resultado.
- Requerimientos no funcionales.- son requerimientos que tienen que ver con las características de implementación de esas funciones como tiempos de respuesta, plataforma de software en la que serán desarrolladas, seguridad, etc.

En esta etapa, además de recopilar y analizar los 2 tipos de requerimientos mencionados, se identificó el conjunto o universo de datos que sería necesario considerar en la base de datos y se elaboró el modelo conceptual del sistema.

De acuerdo a lo anterior, esta etapa involucró el desarrollo de las siguientes tareas:

- a) Recopilación y análisis de requerimientos no funcionales.
- b) Recopilación y análisis de requerimientos funcionales
- c) Identificar el universo de datos geográficos y estadísticos requeridos
- d) Elaboración de propuesta de modelo conceptual del sistema de información de consulta.

#### 6.3.1.1 Recopilación y análisis de requerimientos no funcionales

En esta tarea se revisaron con el personal de la CEA de Jalisco y el IMTA algunos requerimientos no funcionales, particularmente los relacionados con el software que se usaría para el desarrollo del sistema. En este punto se acordó que se usarían las mismas plataformas que la Gerencia de informática de la CEA usó en el desarrollo de las aplicaciones de visualización y consulta de información geográfica y series de tiempo que están disponibles en la página web de la CEA.

Una vez que se conoció la plataforma de software libre que se utiliza en la CEA, se procedió a descargar e instalar el software para conocer cómo funciona, sus ventajas y sus limitaciones en el desarrollo de aplicaciones de consulta y visualización geográfica.

El software que se utilizó para el desarrollo del SIC, con el fin de que hubiera compatibilidad con las aplicaciones de la CEA, fue el siguiente:

- Leaflet.- es una biblioteca de código abierto, elaborada en JavaScript, que permite el desarrollo de mapas interactivos en dispositivos móviles. Funciona bien en dispositivos móviles y de escritorio, tomando ventaja de las herramientas HTML 5 y CCS3 disponibles en navegadores de internet más recientes, aunque las aplicaciones hechas con esta biblioteca funcionan igualmente bien en navegadores anteriores.
- PHP.- es un lenguaje de programación para el desarrollo de páginas web.
- SQL Server 2012.- es el sistema administrador de base de datos que se usó para almacenar la información estadística.

- **Formatos.- GeoJson y TopoJSON.-** estos son formatos en texto plano o simple donde se almacena la información vectorial que es desplegada en el sistema de la CEA. JSON es un acrónimo para JavaScript Object Notation, y es el formato que utiliza la biblioteca de Leaflet.
- **OpenStreetMap.-** es un proyecto colaborativo para crear mapas gratuitos y editables de todo el mundo. Los mapas se crean utilizando información geográfica capturada con dispositivos GPS móviles, ortofotos y otras fuentes libres. Esta cartografía, tanto las imágenes creadas como los datos vectoriales almacenados en su base de datos, se distribuye bajo licencia abierta de bases de datos (en inglés ODBL). OpenStreetMap utiliza una estructura de datos topológica. Los datos se almacenan en el datum WGS84 lat/lon (EPSG:4326). Existen diferentes servicios en sitios web que hacen uso de los datos de OpenStreetMap para mostrar la cartografía mediante mapas en línea con diferentes estilos de dibujo y visualización.
- **HighCharts** es una biblioteca escrita en Javascript que permite la creación de gráficas. La biblioteca ofrece un método fácil e interactivo para insertar graficas en un sitio o aplicación web. La biblioteca es compatible con todos los navegadores modernos, incluyendo iPhone/iPad.

Para el desarrollo de la interfaz de actualización de datos, se usó el software Phyton, que ya viene incluido con el software ArcGIS y las bibliotecas que ofrece éste para leer archivos de Excel en formato de datos separados por coma (extensión .CSV).

### **6.3.1.2 Recopilación y análisis de requerimientos funcionales.**

Al igual que en la tarea anterior, estos requerimientos se recopilaban en forma conjunta entre el personal del IMTA y de la CEA. Básicamente, los requerimientos que se identificaron se clasifican en dos tipos: consulta y actualización. A su vez, dentro de ellos se identificaron diferentes funciones, dependiendo del tipo de información: geográfica o estadística.

Las funciones básicas para la consulta de información geográfica que el sistema debería proporcionar fueron:

- Funciones de navegación sobre el mapa (acercar, alejar y desplazar)
- Mostrar mapa base
- Mostrar menú de capas geográficas y opciones para visualizar y ocultar cada capa
- Identificar elementos geográficos

Las funciones de consulta de los datos estadísticos (series de tiempo) que el sistema debería proporcionar al usuario son las siguientes:

- Visualizar en una gráfica el volumen de agua por uso y por cuenca, obtenidos del REPGA
- Visualizar la gráfica de precipitación media anual por cuenca para cada año del periodo considerado en el estudio
- Visualizar en una gráfica la precipitación promedio anual por cuenca para un máximo de 5 periodos definidos por el usuario

- Visualizar en forma gráfica y en una tabla los resultados de disponibilidad de agua superficial de cada cuenca publicados en el Diario Oficial de la Federación
- Visualizar en una gráfica los valores, para cada año del periodo considerado en el estudio, de las variables que intervienen en la ecuación de cálculo de la disponibilidad
- Visualizar en una tabla el resumen de los resultados de disponibilidad media de agua superficial obtenidos con datos del periodo 1945-2013

Las funciones básicas para la actualización de los datos que se pueden consultar en el SIC, así como los datos de precipitación, evaporación y volumen de escurrimiento mensuales, fueron:

- Dar de alta datos en la geobase ArcHydro con estructura ArcHydro a través de un archivo de Excel en formato CSV.
- Cambiar el valor de una variable, almacenada en la geobase ArcHydro, a través de una ventana de diálogo especificando la variable, la clave de la estación o cuenca, y la fecha del dato.
- Almacenar en la base de datos del SIC los datos ingresados o cambiados en la geobase y que son mostrados en este sistema.

Una vez identificados las principales funciones del sistema, se procedió a hacer un análisis para identificar los datos requeridos para realizarlas y los tipos de usuarios que habría.

### **6.3.1.3 Identificar el universo de datos geográficos y estadísticos requeridos**

En esta tarea se identificaron las capas geográficas que el SIC permitiría visualizar; estas capas se identificaron como resultado de reuniones que se tuvieron con personal de la CEA.

Las capas geográficas identificadas fueron:

- Regiones hidrológicas administrativas
- Entidades federativas
- Marco geoestadístico municipal
- Localidades urbanas
- Localidades rurales
- Parteaguas de la subregión hidrológica del Río Santiago
- Parteaguas de la Cuenca de Río verde
- Corrientes principales
- Cuencas
- Manchas urbanas
- Agricultura eventual
- Cuerpos de agua
- Distritos de riego
- Delimitación de Cuencas
- Hidrografía
- Aprovechamientos superficiales
- Presas
- Estaciones climatológicas
- Estaciones Hidrométricas

Asimismo, se identificaron también las series de tiempo que se podrían consultar en el SIC. Estas fueron las siguientes:

- Volúmenes del REPDA por uso, para cada una de las subcuencas que componen la zona hidrológica del Río Verde
- Valores de las variables de la ecuación para el cálculo de la disponibilidad, por subcuenca y por año, para el periodo 1945 – 2013
- Datos de disponibilidad de agua superficial publicados en el Diario Oficial de la Federación en el periodo 2006 - 2010
- Precipitación promedio anual, en cada una de las subcuencas que componen la zona hidrológica del río Verde, para el periodo 1945 – 2013

### 6.3.1.4 Elaboración de propuesta de modelo conceptual del Sistema de Información de Consulta (SIC).

En base a los requerimientos funcionales recopilados y a su análisis, se elaboró una propuesta del modelo conceptual del Sistema de Información de Consulta en donde se muestran los elementos que lo componen; el modelo fue elaborado utilizando un mapa mental, el cual fue creado mediante el software Cmap.

El modelo conceptual del sistema se compone básicamente de una base de datos y de una interfaz de consulta. La base de datos, a su vez, se compone de un conjunto de capas geográficas relacionadas con los recursos hídricos y capas de contexto, y de tablas que almacenan series de tiempo de algunas variables que se requieren para el cálculo de la disponibilidad de agua superficial y series de tiempo de resultados de estudios de disponibilidad realizados en años anteriores.

La siguiente figura muestra el modelo conceptual del SIC.

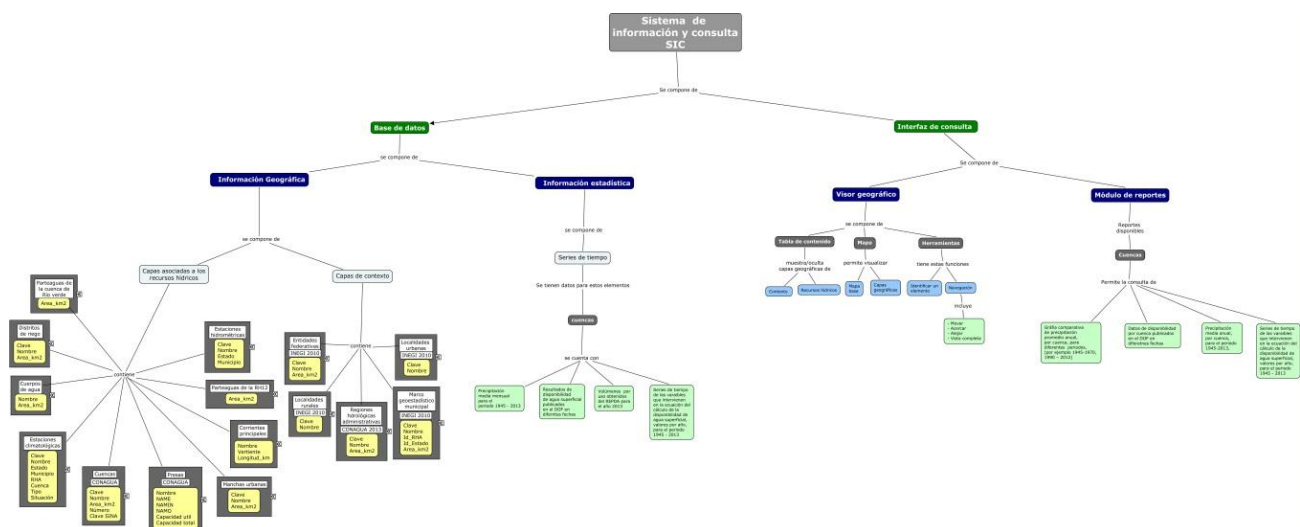


Figura 6.31. Modelo conceptual del SIC.

La interfaz de consulta se compone de un visualizador geográfico en donde se muestran las capas geográficas de interés, y también se compone de un módulo de reportes que permite consultas algunas variables de interés usadas en el cálculo y resultados de disponibilidad hechos en años anteriores.

Una primera versión del modelo conceptual fue presentada en una reunión que se tuvo con el personal de la CEA de Jalisco el día 27 de Noviembre. Ahí se recibieron comentarios, los cuales sirvieron para corregir o complementar el modelo.

### 6.3.2 Diseño de la base de datos

El diseño de la base de datos estadística que almacenaría los datos mostrados en el SIC se basó en el diseño que utiliza el modelo de datos ArcHydro de aguas superficiales, con el fin que hubiera compatibilidad con la geobase personal que se implementó usando ese modelo.

En el modelo ArcHydro las series de tiempo se almacenan en la base de datos de acuerdo al modelo dimensional que se usa en bodegas de datos (denominadas data warehouse, en inglés). En este modelo los datos pueden visualizarse como cubos (o hypercubos, cuando son más de tres dimensiones), en donde cada eje del cubo representa una dimensión de interés. En la figura que aparece en la página siguiente, en la parte superior izquierda, se muestra un cubo con las dimensiones tiempo, variable y lugar geográfico. De esta forma, un punto en el cubo (mostrado en rojo en esa figura) representa el valor de una variable medido en un lugar y fecha determinados.

El modelo dimensional produce un diseño muy sencillo, generando modelos lógicos en forma de estrella con una tabla al centro, denominada también “tabla de hechos”, y tablas alrededor de ella que representan las dimensiones de interés.

En el caso del modelo ArcHydro, la tabla de hechos que contiene las series de tiempo se denomina TimeSeries. Esta tabla contiene por default sólo 4 campos, siendo las siguientes:

- **TSDateTime.**- almacena la fecha y hora de medición del valor de una variable.
- **TSTypeID.**- almacena la clave de la variable a la que pertenece el valor medido.
- **TSFeatureID.**- almacena la clave de la entidad o elemento geográfico en donde se registró el valor de la variable. Esta clave es una clave interna en la geobase que identifica, por ejemplo, a la estación climatológica o hidrométrica en donde se registró el valor. El valor de la clave interna varía dependiendo de la entidad geográfica de que se trate, es decir, los valores de la clave son diferentes, por ejemplo, para las presas y para las estaciones hidrométricas. La nomenclatura que se utilizó para asignar las claves internas se explica en este informe en la sección donde se describe la implementación del modelo ArcHydro. Con esta clave se puede establecer una relación entre la tabla de series de tiempo y las tablas en donde se almacenan los catálogos de entidades u objetos geográficos (presas, cuencas, estaciones hidrométricas, etc).
- **TSValue.**- almacena el valor medido de una variable.

En el presente proyecto se agregó a la tabla TimeSeries un campo denominado GroupID para indicar la clave de la institución que proporcionó los datos, o la clave del sistema de información de donde se extrajeron. Estas claves y los nombres de las instituciones, sistemas u otras fuentes de donde provienen los datos se almacenaron en una tabla denominada TSGroup.

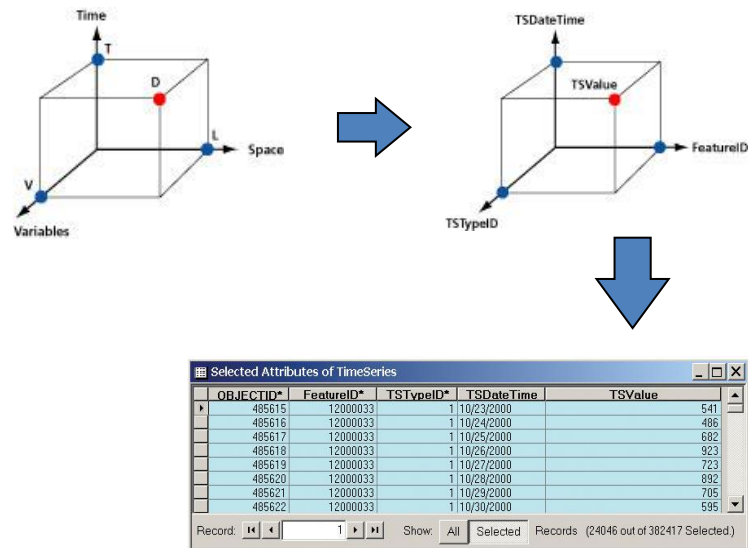


Figura 6.32. Almacenamiento de series de tiempo usando un modelo dimensional de datos

En el modelo ArcHydro la tabla TSType almacena el catálogo de variables para las cuales se tienen datos medidos y almacenados en la tabla TimeSeries. La tabla TSType por su parte contiene estos campos:

- **TSTypeid.**- Es la clave de la variable. Con esta clave se puede establecer la relación con la tabla TimeSeries
- **Variable.**- contiene el nombre de la variable, por ejemplo precipitación
- **Units.**- unidades en las que se reportan los valores de la variable.
- **IsRegular.**- permite indicar si la variable se mide regularmente o no, es decir, si se mide frecuentemente cada cierto tiempo o se mide de vez en cuando.
- **TSInterval.**- permite indicar el intervalo de tiempo al que corresponde el dato medido: valor diario, mensual, anual, etc.
- **DataType.**- permite indicar el tipo de dato al que corresponde la serie de tiempo: valor máximo, mínimo, acumulado, promedio, etc.
- **Origin.**- permite indicar si el valor almacenado en la tabla de series de tiempo es un valor medido o es un valor generado a partir de un cálculo.

En el modelo ArcHydro, los valores que pueden tomar los campos IsRegular, TSInterval, DataType y Origin son tomados de otros catálogos que no están definidos dentro del modelo como tablas sino como una estructura que la geobase proporciona y que se denomina “dominio”. Un dominio no es más que el conjunto de valores válidos que un campo puede tomar; estos valores pueden ser valores discretos (por ejemplo 1 – valor diario, 2 – valor mensual, 3- valor anual, etc.) o valores continuos definidos por un rango.

La base de datos que se creó para almacenar los datos usados en el SIC fue hecha con SQL Server 2012. Este software por sí solo no permite crear dominios, por lo que fue necesario crear tablas para almacenar los valores de los diferentes dominios que se usan en ArcHydro. Las tablas fueron creadas con los mismos nombres de los dominios definidos en ArcHydro.

En el diseño de la base de datos del SIC se consideró crear tablas también para almacenar los catálogos de los objetos geográficos para los cuales se tienen series de tiempo. Las tablas tendrían los mismos nombres que se usan en ArcHydro y tendrían los mismos campos. La única tabla que se consideró crear en este caso fue Watershed para almacenar el catálogo de las subcuencas que componen la zona hidrológica del Río Verde.

Finalmente, se consideró en el diseño crear también las tablas TimeSeries y TSType en la base de datos de SQL server, para tener así las mismas tablas que se utilizan en la geobase con estructura ArcHydro.

### 6.3.3 Diseño de la interfaz de consulta

Una vez que se identificaron las funciones y los tipos de reportes que el sistema debe proporcionar al usuario se procedió a elaborar una propuesta de interfaz de usuario para el sistema; la figura siguiente muestra la ventana de diálogo principal propuesta para el SIC.

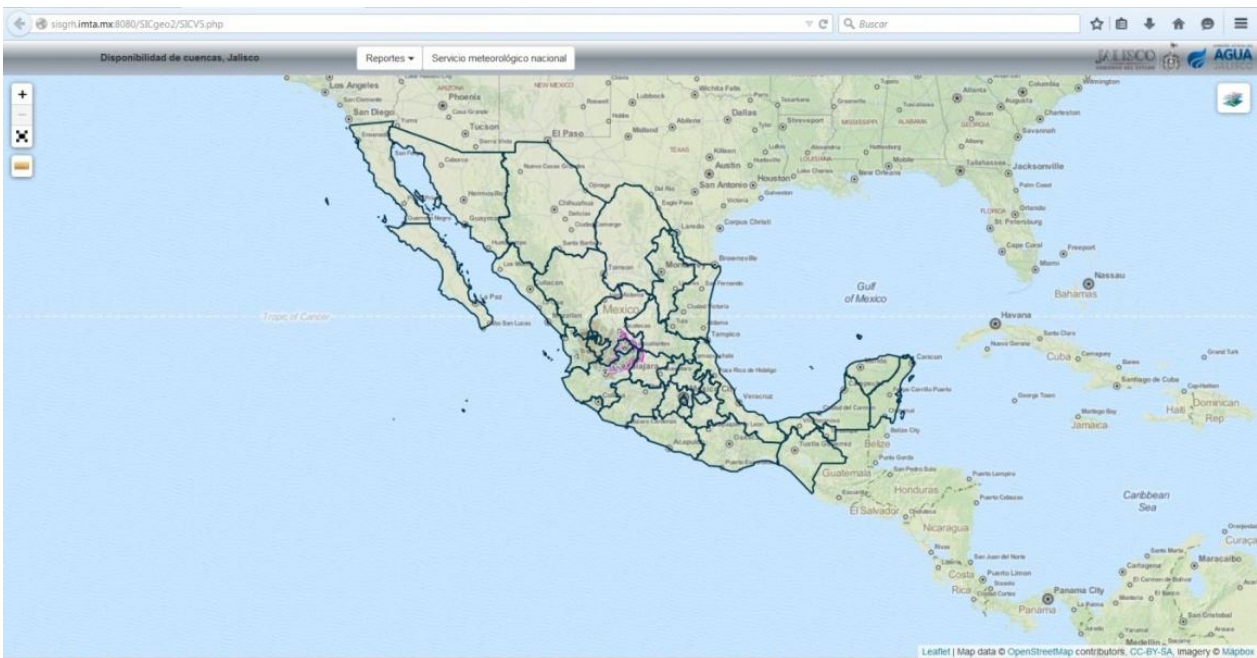


Figura 6.33. Ventana principal del sistema de información de consulta (SIC).

La propuesta de interfaz se hizo tomando como ejemplo la interfaz del sistema de la cuenca Lerma-Chapala que el personal de informática de la CEA desarrolló anteriormente. La propuesta fue modificada de acuerdo a las observaciones que manifestó el personal del CEA: dicha propuesta fue elaborada con el software Power Point.

### 6.3.4 Creación de la base de datos y carga de la información

Esta etapa consideró las siguientes tareas:

- Creación de la base de datos y su estructura
- Transformación de series de tiempo de precipitación y disponibilidad de agua superficial (resultados publicados en el Diario Oficial de la Federación) al formato ArcHydro y almacenamiento en la base de datos
- Transformación de series de tiempo de usos del agua (aprovechamientos REPDA) al formato ArcHydro y almacenamiento en la base de datos
- Transformación de series de tiempo de precipitación media anual al formato ArcHydro y almacenamiento en la base de datos

A continuación se describe cada tarea.

#### a) Creación de la base de datos y su estructura

Se creó una base de datos en SQL Server 2012 denominada “RioVerde”, con una estructura similar a la usada por el modelo ArcHydro, la cual se describió en el inciso 2.3.2 de este informe.

En la figura a continuación se muestra el diagrama de las tablas y campos de la base de datos.

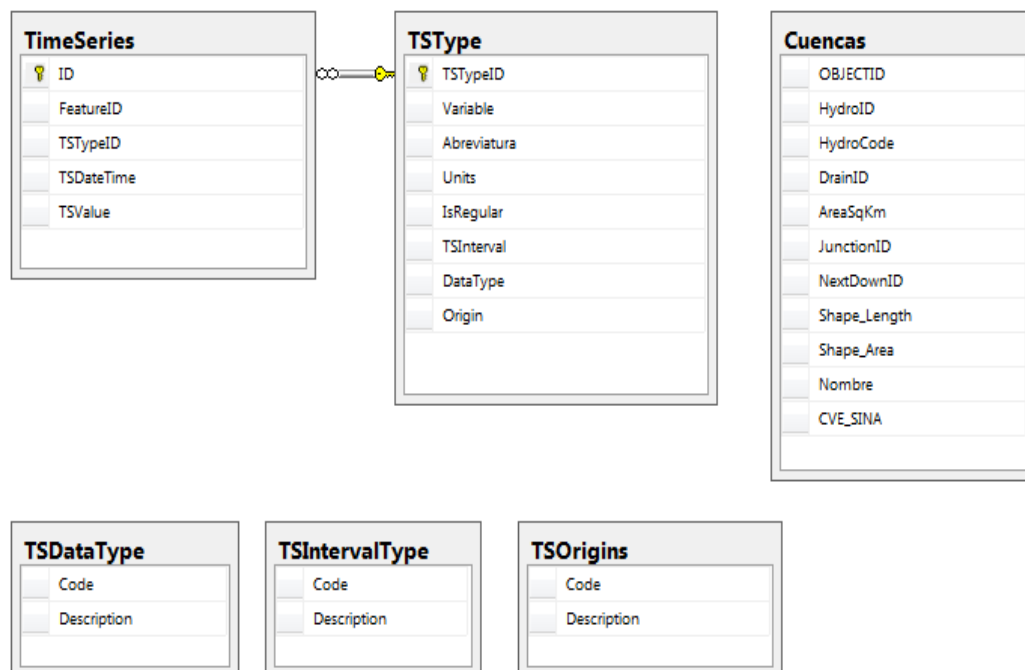


Figura 6.34. Tablas y campos de la base de datos creada para el SIC en SQL Server 2012



**b) Transformación de series de tiempo de precipitación y disponibilidad media de agua superficial (resultados publicados en el Diario Oficial de la Federación) al formato ArcHydro y almacenamiento en la base de datos**

Se analizó la información de precipitación media mensual por cada cuenca para el periodo 1945 – 2013 y se transformaron los datos de tal manera que se tuviera la información de los campos FeatureID, TSTypeID, TSDateTime, TSValue de la tabla TimeSeries. Una vez hecho esto, los datos se almacenaron en esta tabla.

En la figura siguiente se muestran los datos de precipitación almacenados en la tabla TimeSeries.

	ID	FeatureID	TSTypeID	TSDateTime	TSValue
1	52173	1204000007	12	1945-01-31	10.7133523000
2	52174	1204000007	12	1945-02-28	1.1231456700
3	52175	1204000007	12	1945-03-31	7.9963554400
4	52176	1204000007	12	1945-04-30	1.3808580000
5	52177	1204000007	12	1945-05-31	12.4315811400
6	52178	1204000007	12	1945-06-30	34.1972923000
7	52179	1204000007	12	1945-07-31	86.5415617700
8	52180	1204000007	12	1945-08-31	120.1822554000
9	52181	1204000007	12	1945-09-30	30.9324324800
10	52182	1204000007	12	1945-10-31	4.9109586120
11	52183	1204000007	12	1945-11-30	6.1555220000
12	52184	1204000007	12	1945-12-31	0.2361760000

Figura 6.35. Datos almacenados de precipitación

En la figura a continuación se muestra el registro en la tabla TSType que describe las características de la variable precipitación, cuyos datos fueron almacenados en la tabla TimeSeries.

TSTypeID	Variable	Abreviatura	Units	IsRegular	TSInterval	Data Type	Origin
12	Precipitación media mensual en la cuenca	Precipitación	mm	20	99	4	2

Figura 6.36. Características de la variable precipitación, almacenada en la tabla TSType

Asimismo, se recopiló y transformó al formato ArcHydro la información de disponibilidad de agua superficial publicada en el Diario Oficial de la Federación, y posteriormente se almacenó también en la tabla TimeSeries. En la figura mostrada abajo se muestran los datos de la disponibilidad almacenados en la tabla TimeSeries.

	ID	FeatureID	TSTypeID	TSDateTime	TSValue
1	727	1204000007	1	2006-08-28	17.8600000000
2	728	1204000007	2	2006-08-28	0.0000000000
3	729	1204000007	3	2006-08-28	15.0400000000
4	730	1204000007	4	2006-08-28	4.1400000000
5	731	1204000007	5	2006-08-28	0.0000000000
6	732	1204000007	6	2006-08-28	0.0000000000
7	733	1204000007	7	2006-08-28	0.7000000000
8	734	1204000007	8	2006-08-28	0.0000000000
9	735	1204000007	9	2006-08-28	6.2600000000
10	736	1204000007	10	2006-08-28	6.1800000000
11	737	1204000007	11	2006-08-28	0.0800000000

Figura 6.37. Datos de disponibilidad media de agua superficial, publicados en el DOF y almacenados en la tabla TimeSeries.

Al igual que con la variable precipitación, se agregaron en la tabla TSType las características de las variables que componen los resultados de estudios de disponibilidad media de agua superficial, que en este caso fueron los publicados en el DOF. En la figura siguiente se muestra la información básica de las variables correspondientes a los estudios de disponibilidad, tal como está almacenada en la tabla TSType.

TSTypeID	Variable	Abreviatura	Units	IsRegular	TSInterval	Data Type	Origin
1	Volumen_Medio_Anuual_Escumimiento Natural	Cp	hm3	20	99	4	2
2	Volumen_Medio_Anuual_Escumimiento_Natural_Desde_C...	Ar	hm3	20	99	4	2
3	Volumen_Anuual_Extraccion_Agua_Superficial	Uc	hm3	20	99	4	2
4	Volumen_Anuual_Retomos	R	hm3	20	99	4	2
5	Volumen_Anuual_Exportaciones	Im	hm3	20	99	4	2
6	Volumen_Anuual_Importaciones	Ex	hm3	20	99	4	2
7	Volumen_Anuual_Evaporacion_Embalses	Ev	hm3	20	99	4	2
8	Volumen_Anuual_Variacion_Almacenamiento_Embalses	Av	hm3	20	99	4	2
9	Volumen_Medio_Anuual_Escumimiento_Cuencas_Aguas_...	Ab	hm3	20	99	4	2
10	Volumen_Anuual_Actual_Comprometido_Aguas_Abajo	Rxy	hm3	20	99	4	2
11	Disponibilidad_Media_Anuual	DispMediaAnual	hm3	20	99	4	2

Figura 6.38. Variables de los resultados de disponibilidad media de agua superficial, almacenadas en la tabla TSType.

### c) Transformación de series de tiempo de usos del agua (aprovechamientos REPDA) al formato ArcHydro y almacenamiento en la base de datos

En esta parte se transformaron los datos de volúmenes utilizados por uso y por cuenca (obtenidos del REPDA), al formato ArcHydro. Posteriormente, estos datos fueron almacenados en la tabla TimeSeries.

En la figura siguiente se muestran los datos de usos del agua almacenados en la tabla TimeSeries.

ID	FeatureID	TSTypeID	TSDateTime	TSValue
108134	1204000033	57	2013-12-31	6897185.00000...
108135	1204000017	57	2013-12-31	2258690.00000...
108136	1204000022	57	2013-12-31	3746640.77000...
108137	1204000018	57	2013-12-31	1700507.25000...
108138	1204000024	57	2013-12-31	2092315.50000...
108139	1204000015	57	2013-12-31	12517529.0500...
108140	1204000019	57	2013-12-31	3314358.25000...
108141	1204000027	57	2013-12-31	974165.500000...
108142	1204000030	57	2013-12-31	82928.0000000...
108143	1204000020	57	2013-12-31	2260993.55000...
108144	1204000029	57	2013-12-31	610838.250000...
108145	1204000007	58	2013-12-31	1240708.00000...
108146	1204000011	58	2013-12-31	157693.000000...
108147	1204000033	58	2013-12-31	2236864.00000...

Figura 6.39. Datos de volúmenes por uso y por cuenca, almacenados en la tabla TimeSeries.

De igual forma que con otras variables ya mencionados antes, las variables asociadas con los diferentes usos del agua fueron dadas de alta en la tabla TSType. La figura siguiente muestra la información básica de las variables de usos del agua.

TSTypeID	Variable	Abreviatura	Units	IsRegular	TSInterval	DataType	Origin
52	ACUACULTURA	ACUACULTURA	m3	20	99	4	2
53	AGRICOLA	AGRICOLA	m3	20	99	4	2
54	DOMESTICO	DOMESTICO	m3	20	99	4	2
55	ELECTRICIDAD_O_HIDROELECTRICAS	E o H	m3	20	99	4	2
56	INDUSTRIAL	INDUSTRIAL	m3	20	99	4	2
57	MULTIPLES	MULTIPLES	m3	20	99	4	2
58	PECUARIO	PECUARIO	m3	20	99	4	2
59	PUBLICO_URBANO	PUBLICO URB...	m3	20	99	4	2
60	SERVICIO	SERVICIO	m3	20	99	4	2

Figura 6.40. Características de las variables asociadas con usos del agua, almacenadas en la tabla TSType.

**d) Transformación de los valores históricos, por año, de las variables de la ecuación de disponibilidad de agua superficial, en el periodo 1945-2013, al formato ArcHydro y almacenamiento en la base de datos**

En esta tarea se transformaron al formato requerido en la tabla TimeSeries los valores de las variables que intervienen en la ecuación del cálculo de la disponibilidad media anual de agua superficial, obtenidos para cada año del periodo de estudio del presente proyecto (1945-2013). Se transformaron también los valores promedio de esas variables que se obtuvieron para todo el periodo mencionado.

En la figura de abajo se muestran los datos de las variables del cálculo de la disponibilidad de agua superficial, tal como se almacenan en la tabla TimeSeries.

ID	FeatureID	TSTypeID	TSDatetime	TSValue
112412	1204000007	66	2013-12-31	13.389995620000
112413	1204000007	62	1945-12-31	31.039730000000
112414	1204000007	62	1946-12-31	22.645500000000
112415	1204000007	62	1947-12-31	4.990090000000
112416	1204000007	62	1948-12-31	31.788850000000
112417	1204000007	62	1949-12-31	33.014510000000
112418	1204000007	62	1950-12-31	14.824140000000
112419	1204000007	62	1951-12-31	15.511310000000
112420	1204000007	62	1952-12-31	24.249860000000
112421	1204000007	62	1953-12-31	6.674690000000
112422	1204000007	62	1954-12-31	14.086230000000
112423	1204000007	62	1955-12-31	10.756590000000
112424	1204000007	62	1956-12-31	51.675270000000

Figura 6.41. Datos almacenados de disponibilidad de agua superficial históricos.

Finalmente, en la tabla TSType se agregaron las características de las variables de la disponibilidad. En este caso se les puso el prefijo “H\_” a los nombres de las variables con el fin de indicar que los valores que corresponden a esas variables son valores históricos. En la figura siguiente se muestra la tabla TSType con los registros que corresponden a estas variables.

TSTypeID	Variable	Abreviatura	Units	IsRegular	TSInterval	DataType	Origin
61	H_VOLUMEN_MEDIO_ANUAL_ESCURRIMIENTO_NATURAL_CUENCA	Cp	hm3	20	99	4	2
62	H_VOLUMEN_MEDIO_ANUAL_ESCURRIMIENTO_NATURAL_DESDE_CUENCA_AGUAS_ARRIBA	Ar	hm3	20	99	4	2
63	H_VOLUMEN_ANUAL_EXTRACCION_AGUA_SUPERFICIAL_CUENCA	U	hm3	20	99	4	2
64	H_VOLUMEN_ANUAL_RETORNOS_CUENCA	R	hm3	20	99	4	2
65	H_VOLUMEN_ANUAL_EXPORTACIONES_CUENCA	Ex	hm3	20	99	4	2
66	H_VOLUMEN_ANUAL_IMPORTACIONES_CUENCA	Im	hm3	20	99	4	2
67	H_VOLUMEN_ANUAL_EVAPORACION_EMBALSES_CUENCA	Ev	hm3	20	99	4	2
68	H_VOLUMEN_ANUAL_VARIACION_ALMACENAMIENTO_EMBALSES_CUENCA	Dv	hm3	20	99	4	2
69	H_VOLUMEN_MEDIO_ANUAL_ESCURRIMIENTO_CUENCAS_AGUAS_ABAJO	Ab	hm3	20	99	4	2
70	H_VOLUMEN_ANUAL_ACTUAL_COMPROMETIDO_AGUAS_ABAJO	Rxy	hm3	20	99	4	2

Figura 6.42. Variables de disponibilidad media de agua superficial utilizadas para indicar valores históricos.

### 6.3.5 Desarrollo de la interfaz de consulta

Esta actividad involucró el desarrollo de las siguientes tareas:

- Interfaz de usuario (Vista principal, funciones de acercar, alejar, desplazar, pantalla completa, medición de distancias, menú de reportes)
- Tabla de contenido de capas geográficas y prendido/apagado
- Reporte de consulta de datos de disponibilidad
- Gráfica comparativa de precipitación promedio anual para diferentes periodos, por cuenca
- Gráfica de volúmenes de agua por uso, para todas las subcuencas
- Gráfica de volúmenes de agua por subcuenca, para todos los usos
- Gráfica de datos históricos de las variables de la ecuación del cálculo de la disponibilidad de agua superficial en el periodo 1945-2013
- Tabla resumen de resultados de disponibilidad obtenidos con datos del periodo 1945-2013

A continuación se describe cada tarea.

#### a) Interfaz de usuario (Vista principal, funciones de acercar, alejar, desplazar, pantalla completa, medición de distancias, menú de reportes)

El visor geográfico se desarrolló con la API de Leaflet y los mapas proporcionados por la aplicación OpenStreetMap. En la figura de abajo se muestra la ventana de diálogo principal del visor geográfico.

Se desarrollaron las siguientes funciones básicas del visor:

- Acercar: permite realizar un acercamiento al mapa, con lo que se proporciona un mayor detalle de la información geográfica.
- Alejar: permite realizar un alejamiento del mapa.

- Desplazar: permite desplazarse sobre el mapa siguiendo el movimiento del ratón mientras éste está presionado. Si el cursor sale del mapa mientras se está arrastrando, será como si se soltara el botón.
- Medir distancias: se desarrolló la función para medir la distancia entre varios puntos definidos por el usuario.
- Pantalla completa: permite indicar a la aplicación que el mapa se muestre en pantalla completa.

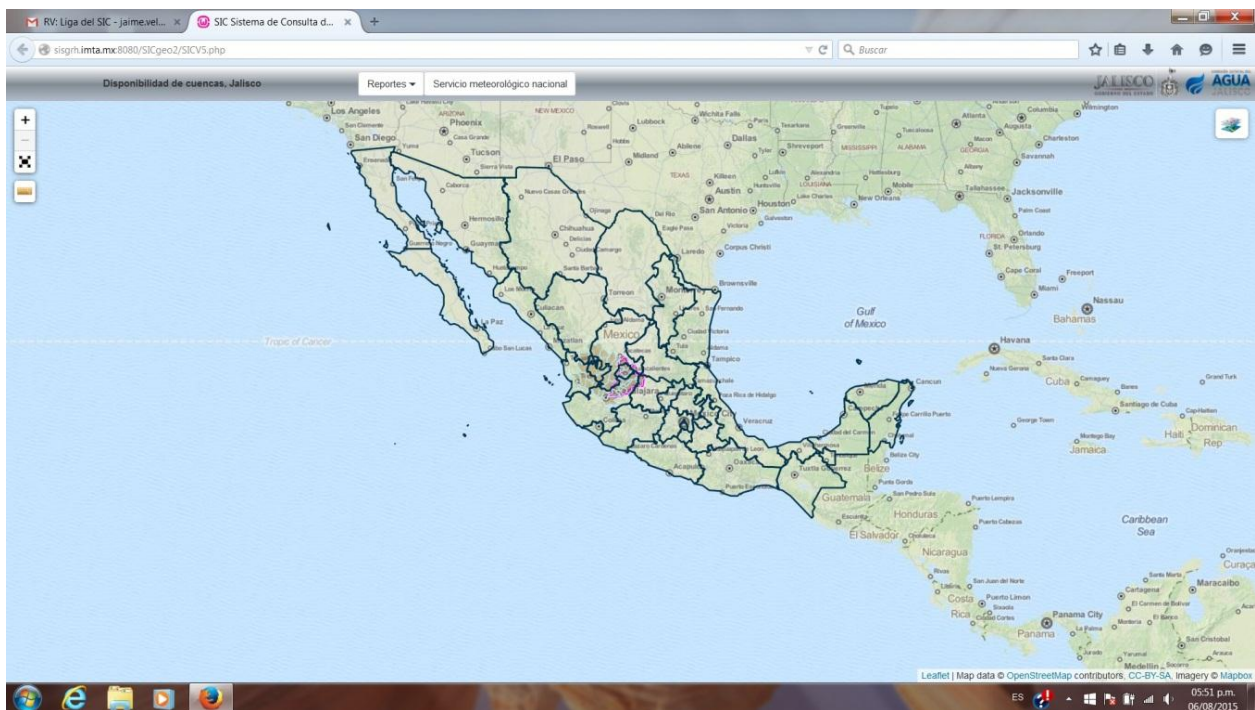


Figura 6.43. Ventana de diálogo principal del visor geográfico.

En la figura siguiente se muestran los iconos utilizados para las herramientas básicas del visor geográfico.

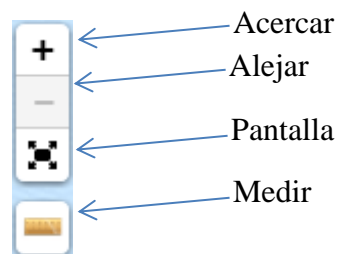


Figura 6.44. Herramientas básicas de navegación en el visor geográfico

Se desarrolló también un botón menú para mostrar los reportes disponibles en el sistema; los reportes incluyen gráficas y tablas.

La figura que aparece a continuación muestra el menú de reportes elaborado.



Figura 6.45. Menú de reportes.

### b) Tabla de contenido de capas geográficas y prendido/apagado

Para visualizar las capas geográficas en el visor éstas se transformaron al formato TopoJSON o GeoJSON, que es un formato de texto simple o plano. Posteriormente, se utilizó la extensión “omnivore” de Leaflet para leer las capas en ese formato y mostrarlas en el visor.

Utilizando los métodos de la API LeafLet se agregó la funcionalidad para que el usuario pueda visualizar u ocultar una capa geográfica mediante una pequeña caja de texto de selección. La tabla de contenido permite ver la lista de las capas que están disponibles en el sistema, agrupadas en 3 secciones “Mapa Base”, “Contexto” y “Recursos Hídricos”.

La figura siguiente muestra la tabla de contenido que se desarrolló.



Figura 6.46. Capas geográficas disponibles en el sistema SIC

### c) Reporte de consulta de datos de disponibilidad

En esta parte del trabajo se generaron las consultas en lenguaje SQL para obtener los datos de las variables relacionadas con disponibilidad de agua superficial, publicadas en el Diario Oficial de la Federación, los cuales se presentarían en forma gráfica. La consulta fue la que se indica a continuación.

```
SELECT distinct Variable,ts.TSTypeID
FROM TimeSeries as ts
inner join TSType as tst on ts.TSTypeID = tst.TSTypeID
inner join Cuencas as ch on ch.HydroID=ts.FeatureID
where year(TSDateTime)=2010 and ts.TSTypeID<=11
order by Variable
```

```
SELECT year([TSDateTime]) as [TSDateTime], [TSValue] ,Variable ,Nombre
FROM TimeSeries as ts
inner join TSType as tst on ts.TSTypeID = tst.TSTypeID
inner join Cuencas as ch on ch.HydroID=ts.FeatureID
where ts.TSTypeID='.$variable.'
order by [TSDateTime],FeatureID
```

Una vez que se obtuvieron los datos, se desarrolló el código requerido para obtener la gráfica.

En la figura siguiente se muestra la gráfica de datos de disponibilidad media anual publicados en el DOF.

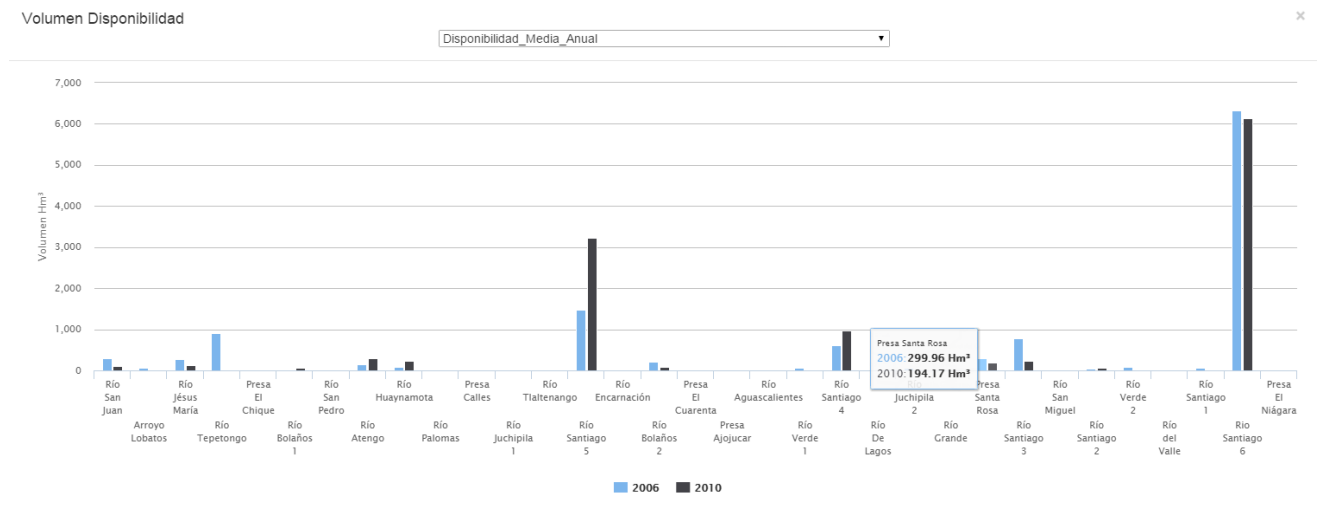


Figura 6.47. Gráfica de variables de disponibilidad media anual de agua superficial

Por otro lado, se generaron también las consultas en SQL para obtener los datos de disponibilidad y mostrarlos en forma tabular. La consulta se pone abajo.

```
SELECT distinct Ltrim(year([TSDateTime])) as anio FROM TimeSeries
inner join Cuencas as ch on ch.HydroID=FeatureID
where TSTypeID<=11
order by anio desc
```

```
SELECT TSDateTime, Nombre, Cp, Ar, Uc, R, Im, Ex, Ev, Av, Ab, Rxy, DispMediaAnual
FROM
(SELECT [FeatureID], TSDateTime, Nombre, CVE_SINA, cast([TSValue] as decimal(10,2)) as
[TSValue], Abreviatura FROM TimeSeries as ts inner join TSType as tst on ts.TSTypeID =
tst.TSTypeID
inner join Cuencas as ch on ch.HydroID=FeatureID
where year(TSDateTime)='.$anio.' and ts.TSTypeID<=11
) as p
PIVOT
(sum(TSValue) FOR abreviatura IN (Cp, Ar, Uc, R, Im, Ex, Ev, Av, Ab, Rxy, DispMediaAnual)
)AS unpvt
order by CVE_SINA
```

Posteriormente, se desarrolló el código requerido para mostrar la tabla.

En la figura a continuación se muestra un ejemplo de la tabla con las 11 variables de disponibilidad, para un año de interés, de los años publicados en el DOF.

Variables Disponibilidad x

2010 ▼

Fecha	Nombre	Cp	Ar	Uc	R	Im	Ex	Ev	Av	Ab	Rxy	DispMediaAnual
20-11-2010	Río San Pedro	60.67	47.88	31.76	3.24	.00	15.56	2.19	.00	62.28	62.04	.24
20-11-2010	Presa Calles	57.63	.00	3.85	.55	15.56	.00	17.09	4.92	47.88	47.78	.10
20-11-2010	Presa El Niágara	41.65	62.28	53.84	5.40	.00	.00	14.43	.63	40.43	40.00	.43
20-11-2010	Presa El Cuarenta	54.67	.00	12.81	1.47	.00	.00	2.70	-.45	41.08	40.67	.41
20-11-2010	Río De Lagos	126.81	41.08	46.38	5.14	.00	.00	10.14	.00	116.51	114.80	1.71
20-11-2010	Presa Ajojucar	29.88	40.43	14.79	1.53	.00	.00	2.29	.00	54.76	54.00	.76
20-11-2010	Río Grande	41.16	.00	1.45	.16	.00	.00	.43	.00	39.44	38.89	.55
20-11-2010	Río Encarnación	135.13	.00	27.55	2.87	.00	.00	5.56	.00	104.89	103.43	1.46
20-11-2010	Río Aguascalientes	43.52	199.09	10.85	1.92	.00	.00	1.65	.00	232.03	228.63	3.40
20-11-2010	Río San Miguel	80.51	.00	2.72	.55	.00	.00	1.17	.00	77.17	76.04	1.13
20-11-2010	Río del Valle	68.28	.00	38.21	.17	.00	.00	6.73	.00	23.51	23.16	.34
20-11-2010	Río Verde 1	166.27	449.22	17.07	2.34	.00	119.84	3.67	24	477.01	467.66	9.05
20-11-2010	Río Verde 2	199.65	477.01	371.19	6.21	.00	.00	4.47	.00	307.21	294.26	12.95
20-11-2010	Río Palomas	29.30	.00	.06	.01	.00	.00	2.00	-.43	27.68	27.02	.66
20-11-2010	Presa El Chique	77.61	27.68	26.40	2.67	.00	.00	11.52	-1.86	71.90	69.31	2.59

Figura 6.48. Reporte de las variables de disponibilidad de agua superficial publicados en el DOF.

#### d) Gráfica comparativa de precipitación promedio anual para diferentes periodos, por cuenca

En esta parte se elaboraron las consultas en lenguaje SQL para obtener los datos de precipitación a mostrar en gráfica.



```

SELECT TSDateTime, Nombre, Cp,Ar,Uc,R,Im,Ex,Ev,Av,Ab,Rxy,DispMediaAnual
FROM (SELECT [FeatureID],TSDateTime, Nombre,CVE_SINA ,cast([TSValue] as decimal(10,2)) as
[TSValue],Abreviatura
      FROM TimeSeries as ts
      inner join TSType as tst on ts.TSTypeID = tst.TSTypeID
      inner join Cuencas as ch on ch.HydroID=FeatureID
      where year(TSDateTime)='$anio.' and ts.TSTypeID<=11) as p
      PIVOT (sum(TSValue) FOR abreviatura IN (Cp, Ar, Uc,
      R,Im,Ex,Ev,Av,Ab,Rxy,DispMediaAnual) )AS unpvt order by CVE_SINA
  
```

Posteriormente, se desarrolló el código necesario para mostrar los datos de precipitación promedio anual por cuenca en una gráfica. En la figura siguiente se muestra la gráfica de precipitación promedio anual por cuenca

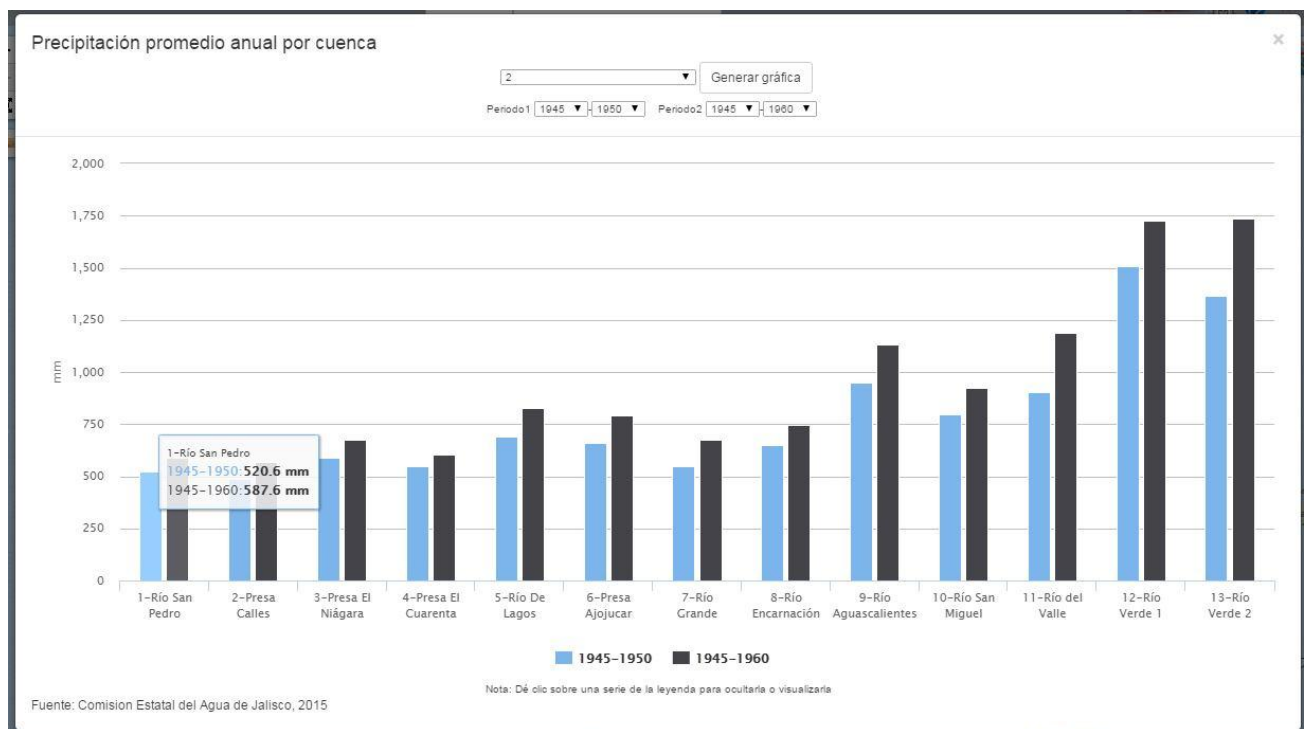


Figura 6.49. Gráfica de precipitación promedio anual por cuenca, para los periodos definidos por el usuario

**e) Gráfica de volúmenes de agua por uso, para todas las subcuencas**

En esta actividad, igualmente se generaron primero las consultas en SQL para obtener los datos de volúmenes de un cierto uso para todas las subcuencas del Río Verde, con el fin de mostrarlos en forma gráfica. La consulta se muestra a continuación.

```
SELECT year([TSDateTime]) as [TSDateTime]
,case when TSValue is null then -99
else [TSValue]/1000000
end as TSValue
--, [TSValue]/1000000 as TSValue
,Variable
,Nombre
FROM TimeSeries as ts
inner join TSType as tst on ts.TSTypeID = tst.TSTypeID
inner join Cuencas as ch on ch.HydroID=ts.FeatureID
where ts.TSTypeID>=52 and ts.TSTypeID<=60 and Nombre=".$filtro[0]."$
order by [TSDateTime],Variable
```

A continuación se desarrolló el código necesario para mostrar los volúmenes de usos del agua por cuenca en una gráfica. En la figura siguiente se muestra esta gráfica.

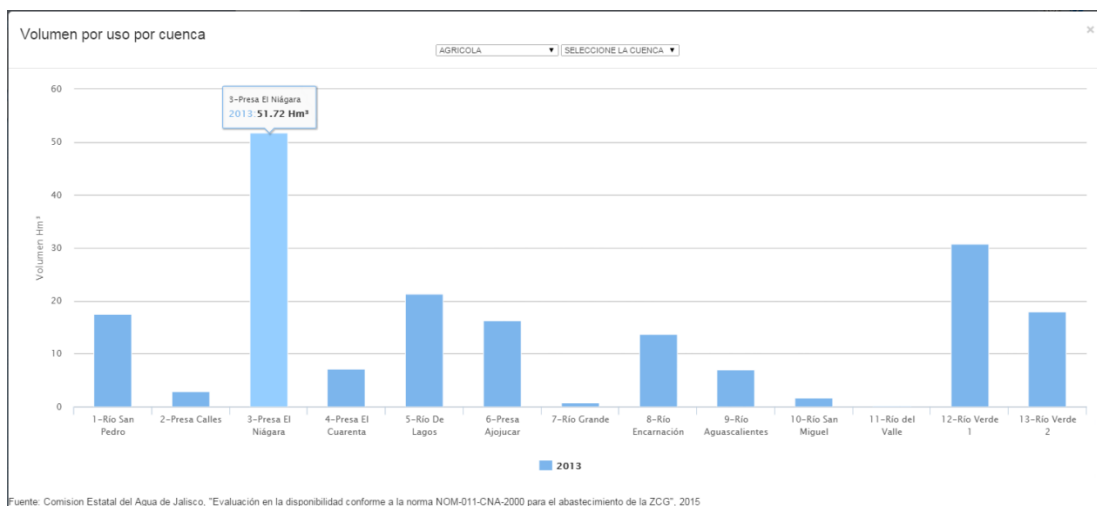


Figura 6.50. Gráfica de usos del agua por cuenca

#### f) Gráfica de volúmenes de agua por subcuenca, para todos los usos

En esta parte se generaron las consultas en SQL para obtener los datos de volúmenes del agua utilizados en una subcuenca para todos los usos, con el fin de mostrarlos en una gráfica. La consulta se pone abajo.

```
SELECT year([TSDateTime]) as [TSDateTime]
,[TSValue]/1000000 as TSValue
,Variable
,Nombre
FROM TimeSeries as ts
inner join TSType as tst on ts.TSTypeID = tst.TSTypeID
inner join Cuencas as ch on ch.HydroID=ts.FeatureID
where ts.TSTypeID=".$filtro[0]."$ and ch.RH='Río Verde'
order by [TSDateTime],FeatureID
```

Posteriormente, se desarrolló el código necesario para mostrar los datos de volúmenes de agua, por uso, para una subcuenca, en una gráfica. En la figura a continuación se muestra un ejemplo de esta gráfica.

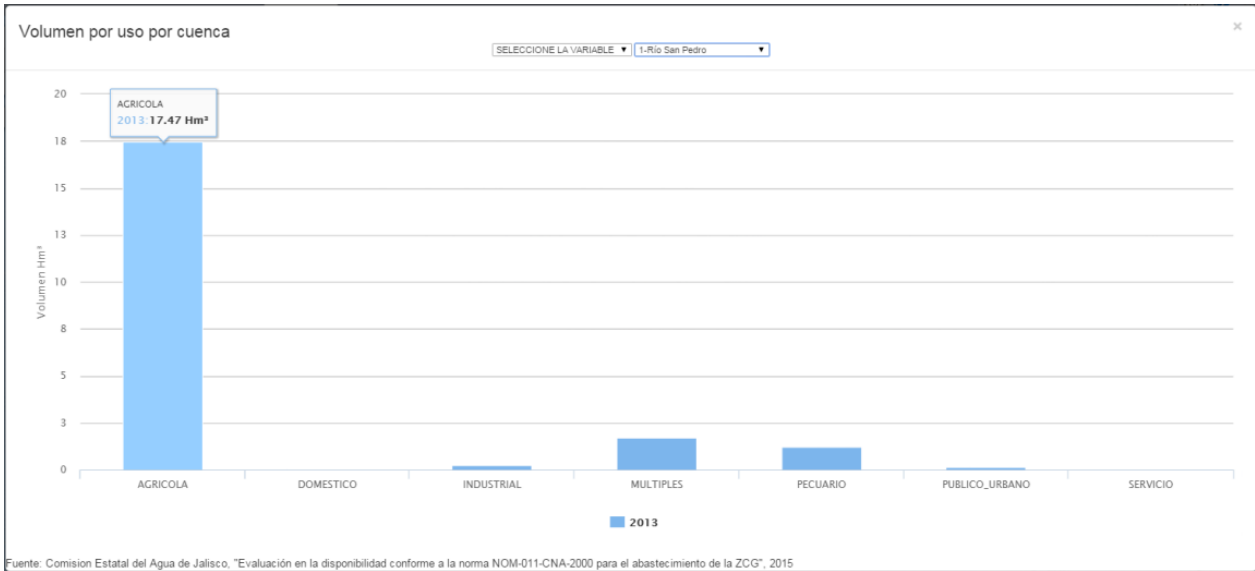


Figura 6.51. Gráfica de volúmenes de agua por uso para una subcuenca de interés.

### g) Gráfica de datos históricos de las variables de la ecuación del cálculo de la disponibilidad de agua superficial en el periodo 1945-2013

En esta tarea se generaron las consultas en SQL para obtener los datos históricos de las variables de la ecuación de disponibilidad de agua superficial para mostrarlos gráficamente. La consulta se pone a continuación.

```
SELECT year([TSDatetime]) as [TSDatetime]
,
case when TSValue is null then -99
else [TSValue]
end as TSValue
,Abreviatura
,Nombre
,[TSDatetime] as fecha
FROM TimeSeries as ts
inner join TSType as tst on ts.TSTypeID = tst.TSTypeID
inner join Cuencas as ch on ch.HydroID=ts.FeatureID
where ts.TSTypeID>=61 and ts.TSTypeID<=70 and Nombre=''.$filtro[0].''-- and Abreviatura='Ab'

order by Variable, [TSDatetime],nombre
```

Luego se desarrolló el código necesario para mostrar estos datos en una gráfica. En la figura siguiente se muestra un ejemplo de esta gráfica.

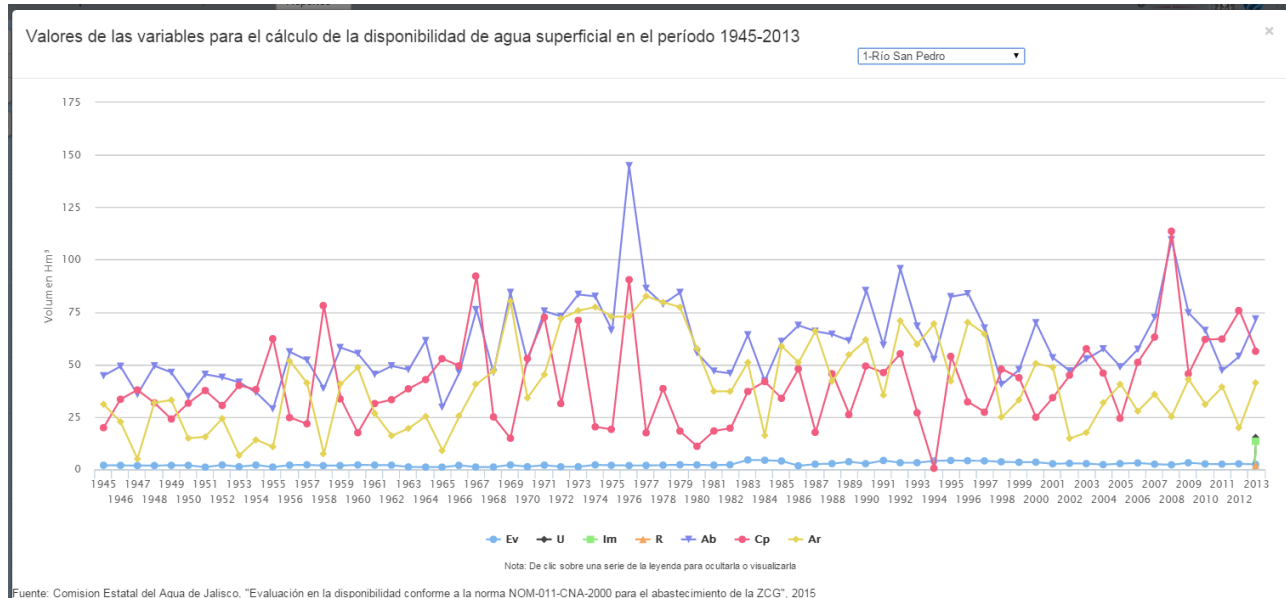


Figura 6.52. Valores, por año, de las variables de la ecuación de disponibilidad de agua superficial, para el periodo 1945-2013

#### h) Tabla resumen de resultados de disponibilidad obtenidos con datos del periodo 1945-2013

En esta tarea se generaron las consultas en SQL para obtener los resultados de la disponibilidad media anual de agua superficial en las subcuencas del río Verde, obtenidos con datos del periodo 1945-2013 en el presente estudio. La consulta SQL se indica abajo.

```
SELECT TSDateTime, SUBSTRING(HydroCode, 3, len(HydroCode)) as HydroCode, Nombre, Cp, Ar, U, R,
Im,Ex,Ev,Dv,Ab,Rxy,DispMediaAnual
FROM
(SELECT [FeatureID],TSDateTime, Nombre, CVE_SINA
,cast([TSValue] as decimal(10,2)) as [TSValue]
,Abreviatura, HydroCode
FROM TimeSeries as ts
inner join TSType as tst on ts.TSTypeID = tst.TSTypeID
inner join Cuencas as ch on ch.HydroID=FeatureID
where year(TSDateTime)=2013 and ts.TSTypeID>=71 and ts.TSTypeID<=81 and ch.RH='Río Verde'
) as p
PIVOT
(sum(TSValue) FOR abreviatura IN (Cp, Ar, U, R, Im,Ex,Ev,Dv,Ab,Rxy,DispMediaAnual)
)AS unpvt
order by CVE_SINA
```

De igual forma que para las otras tareas, se desarrolló enseguida el código necesario para mostrar estos datos en una tabla. En la figura de abajo se muestra la tabla resumen de resultados de disponibilidad obtenidos con datos del periodo 1945-2013.

Volúmenes de agua superficial en la Cuenca del Río Verde, obtenidos con datos en el periodo 1945-2013

No.	Nombre	Cp	Ar	U	R	Im	Ex	Ev	$\Delta v$	Ab	Rxy	DispMediaAnual
1	Río San Pedro	41.91	41.29	15.14	2.00		13.39	2.36		53.22	53.01	.20
2	Presa Calles	61.97		3.19	.47	13.39		30.21	2.22	40.21	40.11	.10
3	Presa El Niágara	40.82	60.40	62.60	9.19			11.19	.16	29.28	28.89	.40
4	Presa El Cuarenta	69.26		10.12	1.56			6.13	.33	54.25	53.38	.87
5	Río De Lagos	127.50	52.18	25.65	3.69			3.18		156.60	153.64	2.96
6	Presa Ajojucar	49.57	50.07	18.29	2.32			1.33		61.57	60.47	1.10
7	Río Grande	32.34		2.97	.80			.59		29.59	29.06	.53
8	Río Encarnación	114.46	30.73	22.10	5.22			6.23		91.35	89.72	1.63
9	Río Aguascalientes	36.69	212.86	11.42	2.55			1.04		209.29	205.33	3.96
10	Río San Miguel	76.12		3.12	.80			1.37		72.43	71.06	1.37
11	Río del Valle	59.53		50.24	9.11			12.21		6.19	6.07	.12
12	Río Verde 1	131.47	154.85	33.37	4.36		119.84	2.05	-.16	425.24	414.27	10.97
13	Río Verde 2	312.59	599.85	396.24	25.00			.85		365.73	346.06	19.67

Cp = Volumen medio anual de escurrimiento natural  
 Ar = Volumen medio anual de escurrimiento natural desde la cuenca aguas arriba  
 U = Volumen anual de extracción de agua superficial  
 R = Volumen anual de retornos  
 Im = Volumen anual de importaciones  
 Ex = Volumen anual de exportaciones  
 Ev = Evaporación en embalses  
 $\Delta V$  = Volumen anual de variación de almacenamiento en embalses  
 Ab = Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo  
 Rxy = Volumen anual actual comprometido de aguas abajo  
 DispMediaAnual = Disponibilidad media anual

Figura 6.53. Ejemplo de tabla resumen de resultados de disponibilidad media anual de agua superficial obtenidos con datos del periodo 1945-2013.

### 6.3.6 Desarrollo de la interfaz para actualizar en la base de datos geográfica con estructura ArcHydro

La actualización de la base de datos consideró 2 tareas que se podrían realizar como parte de ella:

- Dar de alta datos nuevos
- Modificar datos ya existentes

En la parte correspondiente a dar de alta datos nuevos se consideró que éstos deberían estar en un archivo de Excel en formato de valores separados por coma (extensión .CSV). Las variables para los cuales se podrán dar de alta datos nuevos son:

- Precipitación acumulada mensual
- Evaporación acumulada mensual
- Volumen de escurrimiento mensual
- Datos de disponibilidad publicados en el Diario Oficial de la Federación
- Precipitación promedio mensual por cuenca
- Volúmenes por uso, por cuenca, obtenidos del REPDA

Para dar de alta los datos se definieron 2 archivos de Excel en formato CSV:

- Uno conteniendo los datos que se desea dar de alta
- Otro conteniendo las reglas de validación que aplican a los datos

Cada archivo tiene un formato definido. El archivo que contiene los datos a dar de alta se elaboró con la finalidad de que la captura de los datos sea lo más clara posible para el usuario. En él se especifica por ejemplo las unidades en las que deben ingresarse los datos y el número de enteros y decimales permitidos. Por su parte, el archivo de validación permite al usuario definir por ejemplo los rangos de valores válidos dentro de los que pueden estar los datos de cada variable. Esto es útil para detectar posibles datos erróneos y notificar al usuario de esto para que los corrija.

Respecto a la modificación de datos ya existentes, se elaboró una ventana de diálogo que funciona dentro de la aplicación ArcMap, en la cual el usuario puede especificar la entidad geográfica (una cuenca o estación climatológica, por ejemplo), la fecha y la variable que desea modificar.

Todos los datos de los temas mencionados son insertados o modificados en la geobase con estructura ArcHydro. En la base de datos de SQL server que se usa para el SIC se insertan o modifican sólo los datos correspondientes a las siguientes variables:

- Datos de disponibilidad publicados en el Diario Oficial de la Federación
- Precipitación promedio mensual por cuenca
- Volúmenes por uso, por cuenca, obtenidos del REPGA

Esto se hizo así porque en la interfaz de consulta del SIC sólo se pueden visualizar reportes para esos temas. Por esta razón no se consideró necesario almacenar en SQL Server las otras variables mencionadas al inicio de este inciso.

### **6.3.7 Elaboración de documentación**

En esta última actividad se elaboró el informe final correspondiente al desarrollo del SIC y se elaboró también el manual de usuario del sistema.

## **6.4 Transferencia de la tecnología**

La Transferencia de la tecnología se compuso de la instalación del software desarrollado en la parte correspondiente al SIC, e impartición de capacitación en el uso del mismo y en el uso de la geobase con estructura ArcHydro.

De acuerdo a esto, en esta actividad se asistió a las oficinas de la CEA en Guadalajara para instalar ahí, con apoyo del personal de la Gerencia de informática de la Comisión, la aplicación informática del SIC.

Primeramente se creó la base de datos de SQL Server 2012 que contiene los datos que se muestran en los diferentes reportes incluidos en el SIC, posteriormente se copiaron los mapas en formatos TopoJason y GeoJason que se despliegan en el visor geográfico, y finalmente se copió el código fuente que compone la aplicación.

Al ejecutar la aplicación se detectaron algunos errores, los cuales fueron corregidos en ese momento. La aplicación se dejó funcionando correctamente.

Después de la instalación, se procedió a elaborar un temario de los diferentes puntos que serían abordados en un taller de transferencia de la tecnología a personal de la CEA, luego de ello se procedió a elaborar el material didáctico. Finalmente, se impartió el taller en las instalaciones de la CEA en Guadalajara.

La aplicación informática del SIC se instaló a manera de respaldo en un servidor del IMTA. La dirección de esta aplicación es: <http://sisgrh.imta.mx:8080/SICgeo2/SICV5.php>.

La dirección de la aplicación que se instaló en la CEA es la siguiente:

## 7. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA ALMACENADO MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE

### 7.1 Recopilación de información y adquisición de imágenes de satélite

Por las dimensiones del área de estudio y la cantidad, distribución y tamaño de los cuerpos de agua, se emplearon imágenes SPOT en la Cuenca Verde y para el resto de la cuenca del Río Santiago se emplearon imágenes LANDSAT. Las imágenes SPOT fueron proporcionadas por la ERMEXS. Para cubrir la totalidad de la Cuenca del Verde fueron necesarias 15 escenas, la tabla siguiente presenta la relación de imágenes, la fecha de toma y la resolución espacial; asimismo, la figura a continuación presenta la distribución de imágenes SPOT en la zona de estudio.

Tabla 7.1. Relación de imágenes Spot MS que cubren la zona hidrológica del Río Verde.

<b>Imágenes SPOT XS Sensor HRG</b>				
<b>Satélite</b>	<b>K / J</b>	<b>Fecha</b>	<b>Resolución (m)</b>	<b>Proyección</b>
SPOT 6	581-306	2013-10-15	6 x 6	UTM
SPOT 6	581-307	2013-11-10	6 x 6	UTM
SPOT 6	582-306	2013-12-06	6 x 6	UTM
SPOT 6	582-307	2013-12-06	6 x 6	UTM
SPOT 6	581-306	2013-12-06	6 x 6	UTM
SPOT 6	581-308	2013-11-10	6 x 6	UTM
SPOT 6	581-309	2013-12-18	6 x 6	UTM
SPOT 6	581-308	2013-12-18	6 x 6	UTM
SPOT 6	581-307	2013-12-25	6 x 6	UTM
SPOT 6	581-306	2013-12-18	6 x 6	UTM
SPOT 6	581-305	2013-10-15	6 x 6	UTM
SPOT 6	578-309	2013-12-11	6 x 6	UTM
SPOT 6	582-307	2013-12-06	6 x 6	UTM
SPOT 5	580-305	2014-02-14	10 x 10	UTM
SPOT 5	580-306	2014-02-14	10 x 10	UTM



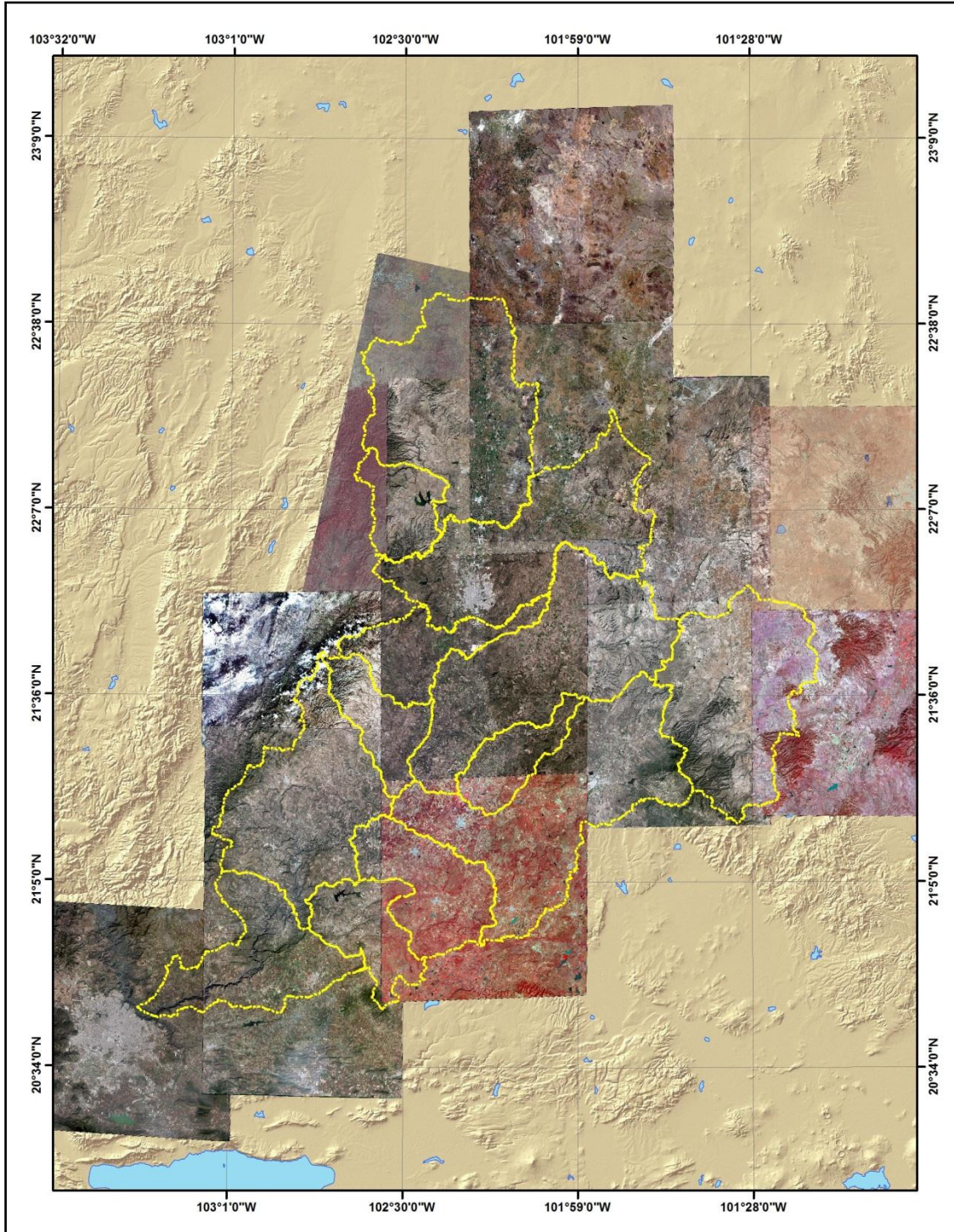


Figura 7.1. Distribución de las imágenes Spot MS en Cuenca del Río Verde.

La parte de la cuenca del río Santiago (sin la zona hidrológica del Río Verde), fue cubierta por seis imágenes LANDSAT del sensor OLI, la Tabla 7.2 presenta la relación de imágenes, con su respectiva fecha de toma; y la Figura 7.2 presenta su distribución en la zona de interés.

Tabla 7.2. Relación de imágenes LANDSAT que cubre la Cuenca Santiago.

Imágenes LANDSAT del Sensor OLI				
Satélite	Path / Row	Fecha	Resolución (m)	Proyección
LANDSAT 8	29 - 44	2014-06-05	30 x 30	UTM
LANDSAT 8	29 - 46	2014-06-05	30 x 30	UTM
LANDSAT 8	29 - 46	2014-06-05	30 x 30	UTM
LANDSAT 8	30 - 44	2014-02-12	30 x 30	UTM
LANDSAT 8	30 - 45	2013-12-10	30 x 30	UTM
LANDSAT 8	30 - 46	2014-02-12	30 x 30	UTM

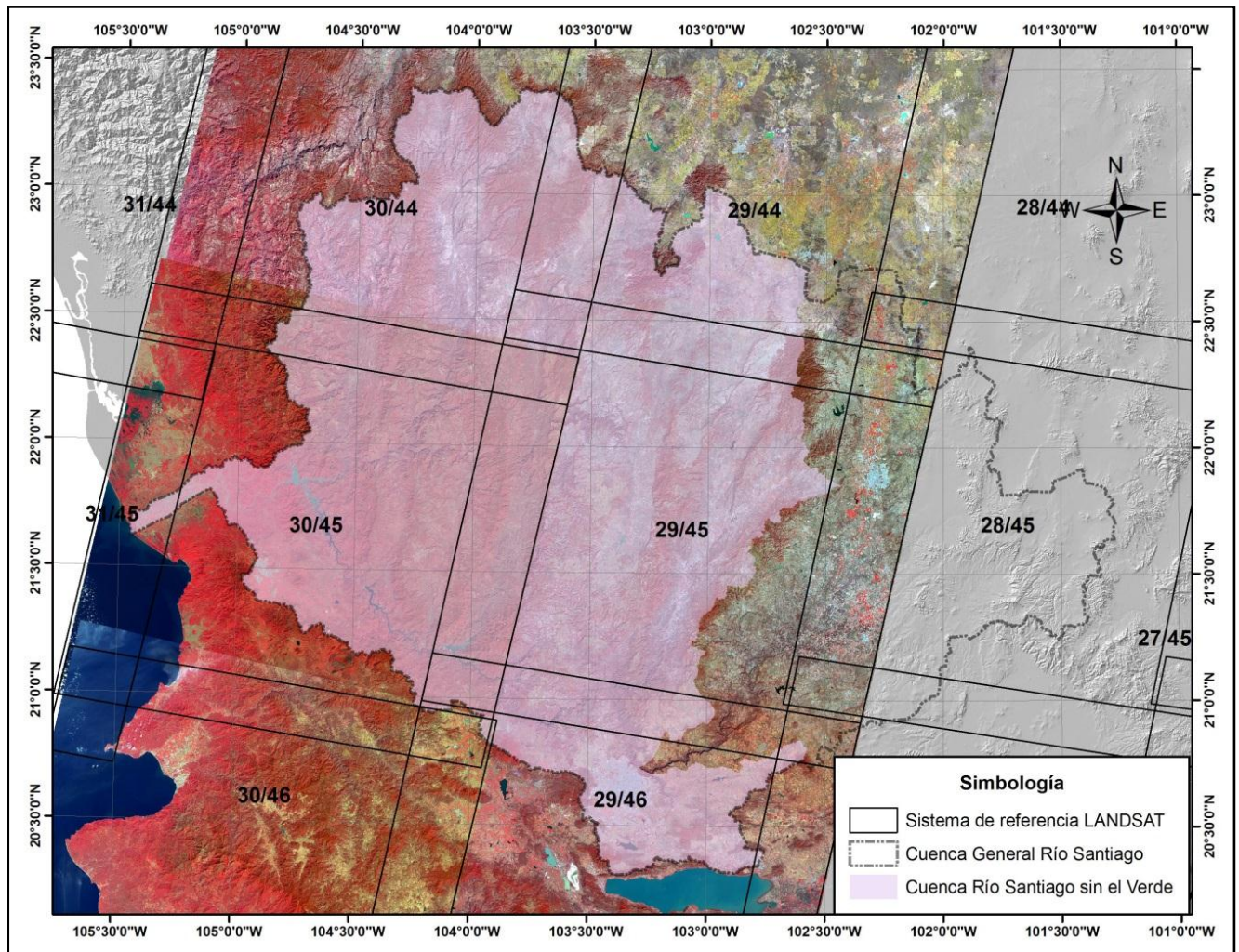


Figura 7.2. Distribución de las imágenes LANDSAT en la cuenca del Río Santiago.

## 7.2 Procesamiento de imágenes y obtención de Inventario de espejos de agua

Se empleó un método indirecto para el cálculo del volumen de agua almacenado en bordos con superficie mayor a 3500 m<sup>2</sup>. Mediante el análisis de imágenes de satélite y el procesamiento de mapas temáticos en un sistema de información geográfica. El diagrama que se presenta a continuación muestra de forma esquemática el proceso realizado para el cálculo de la superficie del espejo de agua, a partir de la imagen de satélite.

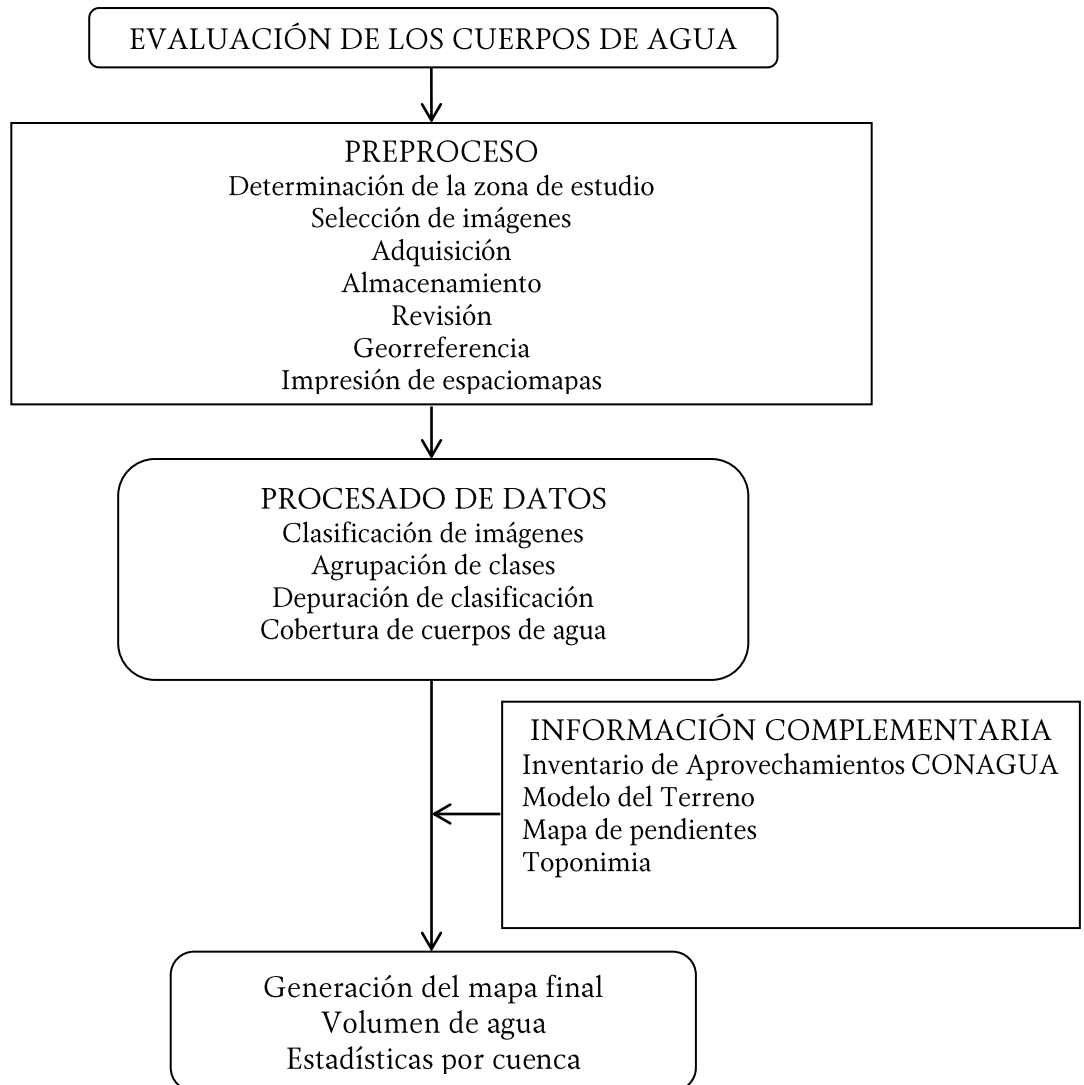


Figura 7.3. Diagrama de evaluación de los cuerpos de agua

### 7.2.1 Procedimiento para la obtención de las superficies de agua

La segmentación por multirresolución es una técnica de análisis de abajo hacia arriba, que fusiona regiones (bottom up region-merging technique), e inicia con objetos de un píxel. En numerosos pasos subsiguientes, los objetos más pequeños son fusionados en objetos mayores.

A través de éste proceso de agrupamiento en pares, el proceso de optimización fundamental minimiza la heterogeneidad (weighted heterogeneity),  $n$ h de objetos resultantes, donde  $n$  es el tamaño de un segmento y  $h$  una definición arbitraria de heterogeneidad. En cada paso, este par de objetos adyacentes es fusionado el cual permanece para el crecimiento menor de la heterogeneidad definida. Si el crecimiento menor excede el umbral definido por el parámetro de la escala, el proceso se detiene. Haciendo esto, la segmentación es un procedimiento local de optimización.

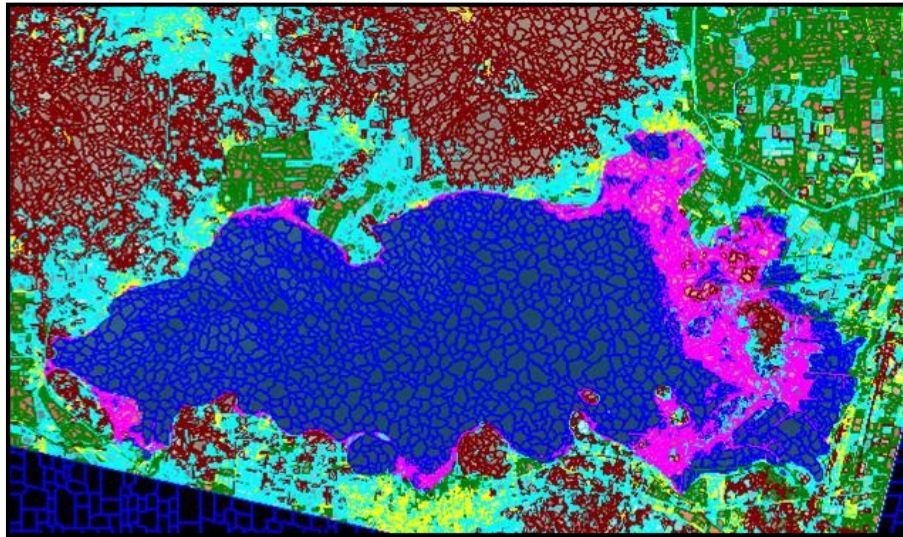


Figura 7.4. Segmentación de la imagen para extraer los espejos de agua.

Una vez definidos los polígonos clasificados como agua, se procede a ejecutar un proceso de fusión (merge) para obtener el polígono perimetral que define cada cuerpo de agua lo cual se observa en la figura siguiente.



Figura 7.5. Perímetro final de los espejos de agua.

### 7.3 Recorrido de campo

El objetivo principal del recorrido de campo, fue realizar un levantamiento batimétrico para contar con datos de profundidad de cuerpos de agua y con ello calcular el volumen de agua almacenado por los embalses específicos y tener una referencia de la realidad para relacionarla con el volumen calculado por métodos indirectos y obtener con ello el porcentaje de aproximación. Para lograr dicho objetivo, del mapa del inventario de cuerpos de agua correspondiente a la Zona Hidrológica del Río Verde, fueron seleccionados los espejos de agua mayores a 40 has; la Figura siguiente muestra su distribución en la zona hidrológica.

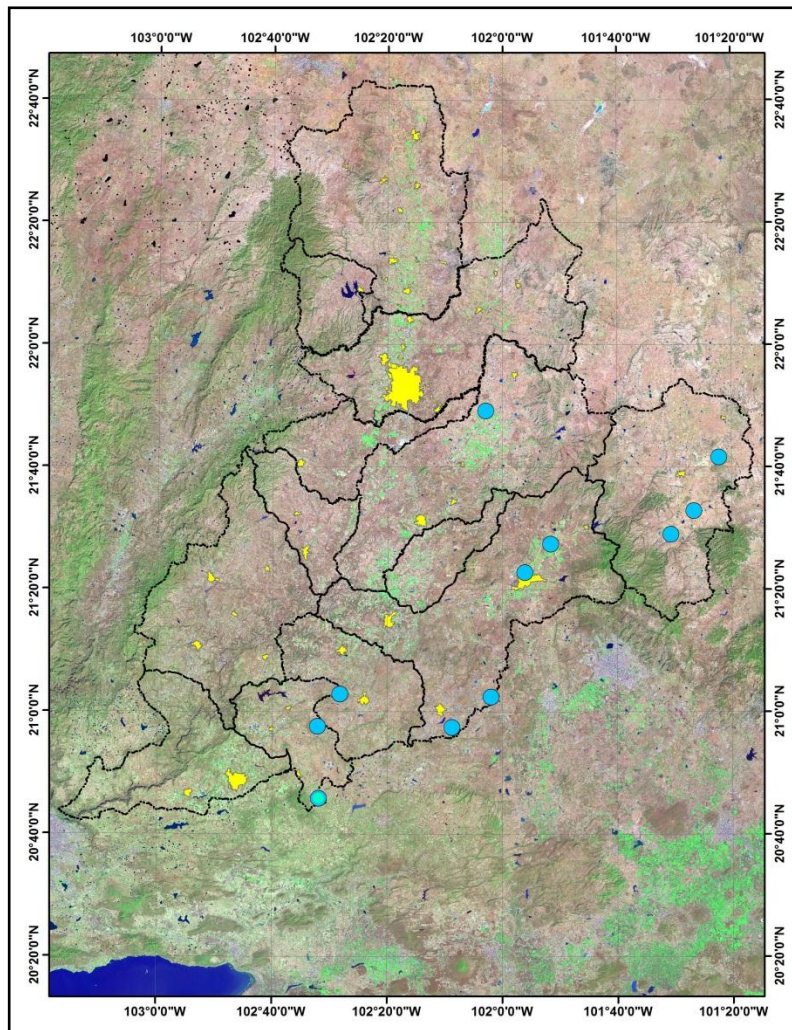


Figura 7.6. Distribución de los espejos de agua caracterizados en campo.

Después de obtener el volumen de los embalses visitados se hizo una comparación con el volumen obtenido con el método indirecto usando imágenes del satélite SPOT 6 con resolución de 6 m por pixel para la zona hidrológica del Río Verde.

## 7.4 Cálculo del volumen de los cuerpos de agua

Para calcular el volumen del cuerpo de agua se toman las curvas topográficas más cercanas al cuerpo de agua y aplicando un algoritmo de interpolación se obtiene un Modelo de elevación del área donde se localiza el cuerpo de agua. Una vez que se tiene el modelo, se inicia el proceso para calcular el volumen almacenado, el primer procedimiento es transformar el archivo vectorial de curvas de nivel a una red irregular triangulada (TIN, por sus siglas en inglés), es una forma eficiente y precisa de representar una superficie continua del terreno de los valores de  $z$  para transformarlos a un modelo tridimensional, esto se lleva a cabo por medio de triángulos no superpuestos que permiten modelar la superficie porque tres puntos definen una forma única de una parte del total. En la Figura 6.6 se muestra el modelo tridimensional del embalse que se obtuvo a partir de la estructura TIN, se incorporan las curvas de elevación y el límite del cuerpo de agua.

Los Sistemas de Información Geográfica generalmente tienen implementado un algoritmo matemático para el cálculo del volumen almacenado en una concavidad que previamente ha sido modelada, en este caso se hizo aplicando el procedimiento de la estructura TIN. Para cada par de cotas de elevación el sistema calcula un volumen acumulado y la superficie del espejo de agua queda expuesta dentro del embalse para cada cota de elevación. De esta manera se va estableciendo la relación área-capacidad-elevación. Una vez que se ha calculado el volumen acumulado para diferentes valores de elevación se puede trazar las curvas que muestran el comportamiento del volumen de agua y el área que ocupa en el embalse. La gráfica muestra la tendencia de las curvas de acuerdo con las características físicas de la concavidad del embalse y la superficie o espejo de agua para cada elevación. En la Figura 6.6 se muestra el modelo tridimensional y la curva área-capacidad-elevación.

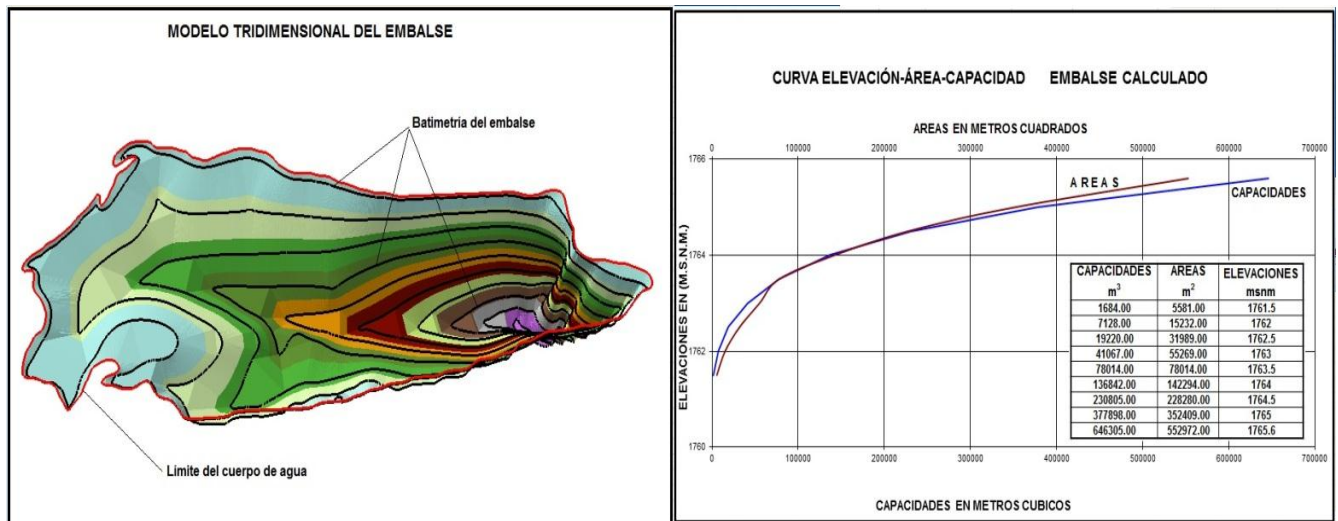


Figura 7.7. Modelo tridimensional y curva área-capacidad-elevación.

En sentido estricto esta curva no puede ser considerada como una curva elevación-área-capacidad porque solamente es válida para un límite en particular definido por el cuerpo de agua, para que así fuera sería necesario saber la máxima capacidad que puede soportar el bordo, cosa que no se sabe, sin embargo la curva ayuda a visualizar el comportamiento de las tres variables que se obtuvieron para este estudio de caso.

## 7.5 Generación de mapas temáticos

Uno de los productos más importante de este estudio lo constituye el mapa del inventario general de cuerpos de agua de la Zona Hidrológica General del Río Santiago (Figura 6.7) en la cual están incluidas las Zonas de los Ríos Verde, Juchipila y Santiago, se obtuvieron un total de 13,331 espejos de agua, siendo la superficie mínima evaluada de 3,500 m<sup>2</sup> y la máxima de 289.08 ha.

La suma de la superficie hídrica calculada en el inventario es de 17,478.86 ha y el volumen total acumulado en la Zona Hidrológica del Río Santiago (Tabla 6.6) fue de 428.46 hm<sup>3</sup>; adicionalmente se hace una cuantificación específica para las zonas del Río Verde (Tabla 6.3), Río Juchipila (Tabla 6.4) y Río Santiago (Tabla 6.5). En ellas que no se consideran los embalses de 379 presas incluidas en el Inventario Nacional de Presas de la CONAGUA, ya que su información hidrométrica (área, volumen) ya es considerada dentro de los estudios hidrológicos realizados en esta dependencia.

### 7.5.1 Distribución del volumen por zonas hidrológicas

Con objeto de tener elementos que apoyen a los diferentes estudios hidrológicos relacionados con la zona hidrológica, se hizo un análisis de la superficie de los espejos de agua y volumen con varios niveles de cobertura.

Tabla 7.3. Distribución del volumen de agua en la zona del Río Verde.

CUENCA	NÚMERO DE CUERPOS DE AGUA	SUPERFICIE DE AGUA (ha)	%	VOLUMEN ACUMULADO (hm <sup>3</sup> )	%
Río Aguascalientes	185	169.84	1.31	3.62	1.14
Presa Calles	193	170.99	1.32	4.25	1.34
Presa Ajojucar	307	350.93	2.71	8.83	2.79
Río Verde 2	446	462.69	3.58	10.91	3.45
Presa el Niágara	634	587.09	4.54	13.17	4.16
Río San Miguel	582	577.21	4.46	13.38	4.23
Río Verde 1	759	642.42	4.96	15.04	4.75
Río San Pedro	471	573.44	4.43	15.62	4.94
Río Grande	561	726.03	5.61	17.83	5.64
Río del Valle	669	990.38	7.65	25.40	8.03
Presa el 40	1,136	2,161.94	16.70	54.89	17.35
Río de Lagos	1,696	2,656.60	20.53	63.39	20.04
Río Encarnación	2,103	2,872.50	22.20	70.63	22.33
<b>TOTAL</b>	<b>9,742</b>	<b>12,942.04</b>	<b>100.00</b>	<b>316.30</b>	<b>100.00</b>

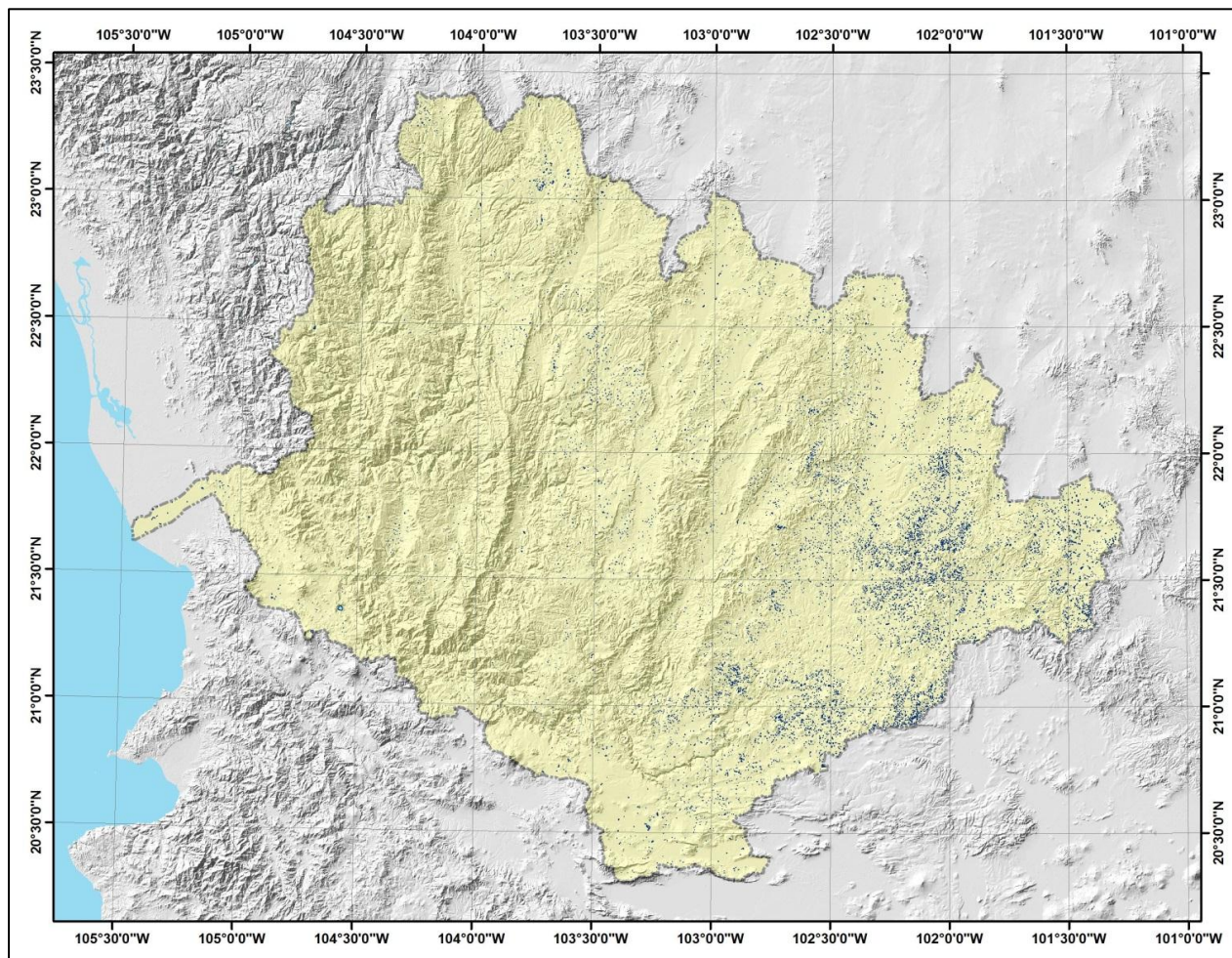


Figura 7.8. Mapa con la distribución del inventario de cuerpos de agua en la Zona Hidrológica del Río Santiago.

Tabla 7.4. Distribución del volumen de agua en la zona del Río Juchipila.

CUENCA	NÚMERO DE CUERPOS DE AGUA	SUPERFICIE DE AGUA (ha)	%	VOLUMEN ACUMULADO (hm <sup>3</sup> )	%
Río Palomas	18	27.06	3.14	0.89	4.14
Río Juchipila 2	216	166.48	19.30	3.91	18.21
Presa El Chique	195	229.75	26.63	5.86	27.32
Río Juchipila 1	476	439.47	50.94	10.80	50.33
<b>TOTAL</b>	<b>905</b>	<b>862.75</b>	<b>100.00</b>	<b>21.46</b>	<b>100.00</b>



Tabla 7.5. Distribución del volumen de agua en la zona del Río Santiago.

CUENCA	NÚMERO DE CUERPOS DE AGUA	SUPERFICIE DE AGUA (ha)	%	VOLUMEN ACUMULADO (hm <sup>3</sup> )	%
Arroyo Lobatos	100	94.45	2.08	2.03	1.81
Río Huaynamota	4	4.04	0.11	0.10	0.12
Río Santiago 4	37	22.04	0.60	0.36	0.40
Río Santiago 3	54	43.46	1.18	1.00	1.10
Arroyo Lobatos	100	94.45	2.57	2.03	2.24
Río Jesús María	9	56.64	1.54	2.71	2.98
Presa Santa Rosa	97	103.95	2.83	2.78	3.06
Río Atenco	177	131.38	3.57	3.24	3.57
Río Bolaños 2	113	136.39	3.71	3.76	4.15
Río Santiago 6	73	151.00	4.11	3.82	4.21
Río Tlaltenango	279	281.90	7.67	5.34	5.88
Río Santiago 2	243	240.81	6.55	6.21	6.84
Río Tepetongo	212	255.80	6.96	6.30	6.94
Río Santiago 5	27	416.61	11.34	9.89	10.90
Río Bolaños 1	512	553.68	15.07	13.65	15.05
Río Santiago 1	404	594.83	16.19	13.69	15.09
Río San Juan	343	588.17	16.00	15.84	17.46
<b>TOTAL</b>	<b>2684</b>	<b>3,675.13</b>	<b>100</b>	<b>90.71</b>	<b>100.00</b>

Tabla 7.6. Volumen de agua en la Zona Hidrológica del Río Santiago.

CUENCA	NÚM. DE CUERPOS DE AGUA	SUPERFICIE DE AGUA (ha)	%	VOLUMEN ACUMULADO (hm <sup>3</sup> )	%
Río Huaynamota	4	4.04	0.02	0.10	0.02
Río Santiago 4	37	22.04	0.13	0.36	0.08
Río Palomas	18	27.06	0.15	0.89	0.21
Río Santiago 3	54	43.46	0.25	1.00	0.23
Arroyo Lobatos	100	94.45	0.54	2.03	0.47
Río Jesús María	9	56.64	0.32	2.71	0.63
Presa Santa rosa	97	103.95	0.59	2.78	0.65
Río Atenco	177	131.38	0.75	3.24	0.76
Río Aguascalientes	185	169.84	0.97	3.62	0.85
Río Bolaños 2	113	136.39	0.78	3.76	0.88
Río Santiago 6	73	151.00	0.86	3.82	0.89
Río Juchipila 2	216	166.48	0.95	3.91	0.91
Presa Calles	193	170.99	0.98	4.25	0.99
Río Tlaltenango	279	281.90	1.61	5.34	1.25
Presa el Chique	195	229.75	1.31	5.86	1.37
Río Santiago 2	243	240.81	1.38	6.21	1.45
Río Tepetongo	212	255.80	1.46	6.30	1.47
Presa Ajojuar	307	350.93	2.01	8.83	2.06
Río Santiago 5	27	416.61	2.38	9.89	2.31
Río Juchipila 1	476	439.47	2.51	10.80	2.52
Río Verde 2	446	462.69	2.65	10.91	2.55

CUENCA	NÚM. DE CUERPOS DE AGUA	SUPERFICIE DE AGUA (ha)	%	VOLUMEN ACUMULADO (hm <sup>3</sup> )	%
Presa el Niágara	634	587.09	3.36	13.17	3.07
Río San miguel	582	577.21	3.30	13.38	3.12
Río Bolaños 1	512	553.68	3.17	13.65	3.19
Río Santiago 1	404	594.83	3.40	13.69	3.19
Río Verde 1	759	642.42	3.68	15.04	3.51
Río San Pedro	471	573.44	3.28	15.62	3.65
Río San Juan	343	588.17	3.36	15.84	3.70
Río Grande	561	726.03	4.15	17.83	4.16
Río del Valle	669	990.38	5.67	25.40	5.93
Presa el 40	1,136	2,161.94	12.37	54.89	12.81
Río de Lagos	1,696	2,656.60	15.20	63.39	14.79
Río Encarnación	2,103	2,872.50	16.43	70.63	16.49
<b>TOTAL</b>	<b>13,331</b>	<b>17,479.93</b>	<b>100</b>	<b>428.46</b>	<b>100</b>

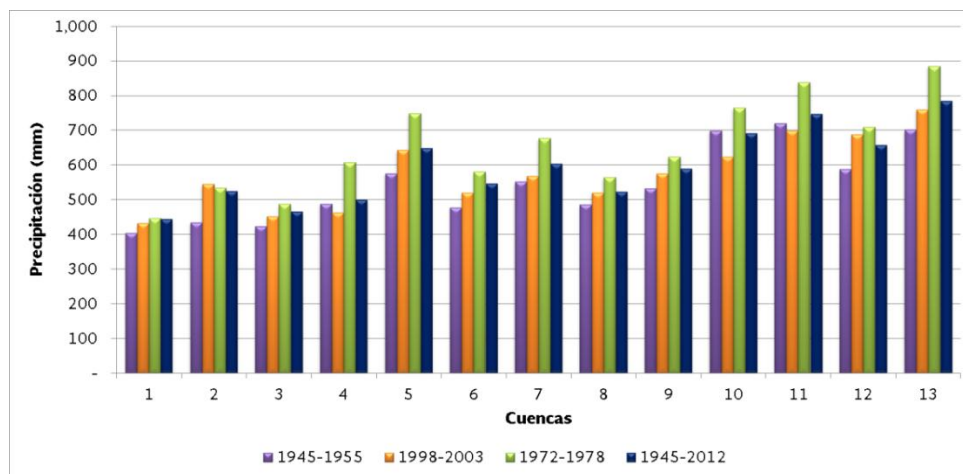
## 8. Conclusiones y Recomendaciones

A continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio:

### Datos climatológicos

#### Precipitación

- Dentro del periodo de años de 1945 a 2013 (69 años), se observó que en los periodos de 1945 – 1955 y 1998 - 2003 se presentó escasez extrema, lo que llevó al Lago de Chapala a su peor nivel de los últimos cien años, por otro lado, se identificó que en el periodo 1972 - 1978 los valores de precipitación se incrementaron, lo que podría indicar un periodo de abundancia.



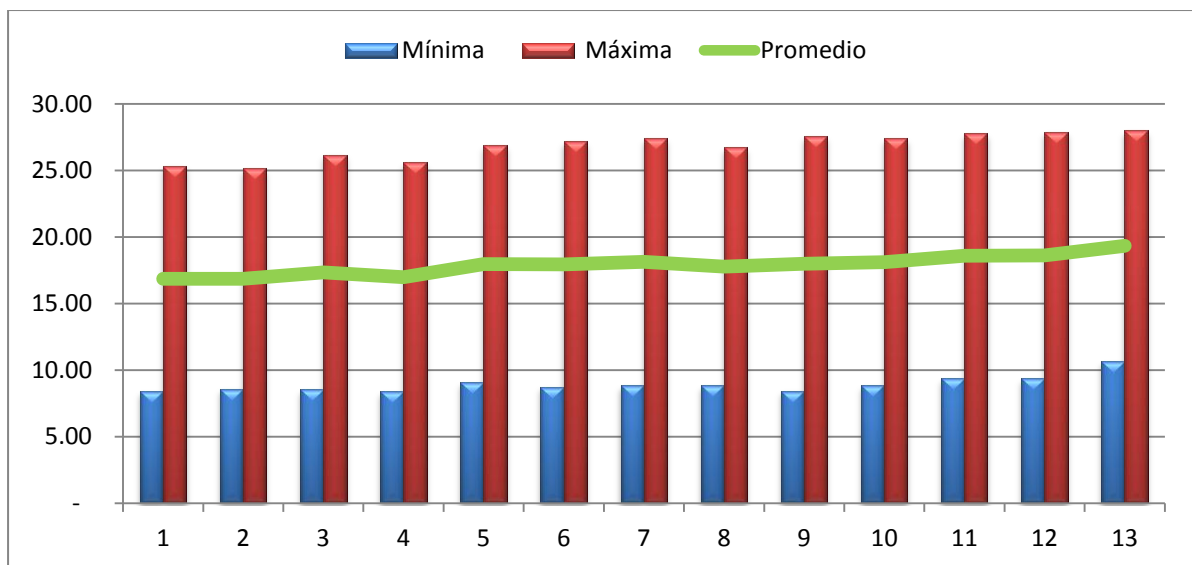
- En la subregión del Río Santiago, se identificaron 550 estaciones climatológicas, de esas aproximadamente la tercera parte se concentra en el estado de Jalisco.
- El uso de los SIGs facilitó realizar aproximadamente 14 millones de procesos para generar más de 25 mil rasters de lluvia diaria mediante el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weighted).
- El IDW (Inverse Distance Weighted) tiene la ventaja de suavizar el valor de salida para una celda en el rango de valores que las estaciones auxiliares registran, es decir, no es mayor que la entrada máxima o menor que la entrada mínima, como resultado se obtiene el promedio de la distancia ponderada.
- Comparando los valores de precipitación media anual por cuenca de este estudio y el de disponibilidad (IMTA, 2009), se observa que en éste hay una tendencia a la baja por cada cuenca debido a que el periodo de años analizado es mayor.

### Evaporación

- El uso de las imágenes SPOT de la ERMEXNG fue vital para la selección de cuerpos de agua tipo perenne procesadas por el grupo de percepción remota del IMTA en octubre de 2013.
- Una vez identificados los cuerpos de agua, se seleccionaron las presas con la que se contaba con registros de evaporación y se obtuvo la información anual correspondiente al periodo. Para los demás cuerpos de agua se calculó el volumen de evaporación tomando en cuenta la estación climatológica más cercana y aplicando el coeficiente de evaporación de 0.7.
- El volumen de evaporación obtenido a través de los registros de las presas es de 22.947 hm<sup>3</sup> para la zona hidrológica del Río Verde, el volumen calculado para el resto de los cuerpos de agua es de 64.27 hm<sup>3</sup>, dando un total de 87.22 hm<sup>3</sup> considerados en la zona.

### Temperatura

- Para la obtención de temperatura mínima y máxima se utilizó el método de interpolación IDW aplicado a valores diarios registrados en las estaciones climatológicas identificadas en la subregión hidrológica del Río Santiago.
- La cuenca 1 es la que presenta una temperatura media anual más baja con relación a las otras cuencas, siendo de 8.4°, mientras que la cuenca 13 es la que reporta una temperatura máxima de 28°C.



### *Hidrometría*

- Se identificaron 105 estaciones hidrométricas dentro de la subregión hidrológica del Río Santiago.
- En algunas estaciones hidrométricas como en “Las Juntas”, tiene asignada una ubicación incorrecta, dificultando que a simple vista se descarte para el estudio. Por lo que es recomendable revisar los boletines hidrológicos para corregir sus coordenadas geográficas.
- Como se ha mencionado en este estudio, el periodo de análisis de 69 años (1945-2013), aunque en la zona estudio, subregión del río Santiago, existen 105 estaciones hidrométricas, solo 19 de ellas tienen datos con más del 95% de información y la mayoría se ubican lejos de la salida de la cuenca. Para este estudio se seleccionaron 26 estaciones con más del 80% de información, de las cuales 8 se localizan en la zona hidrológica del río Verde distribuidas una en la cuenca 2 “Presa Calles” (12378 Presa Calles), dos en la cuenca 3 “Presa El Niágara” (12545 el Niágara III y 12656 el Niágara), dos en la cuenca 4 “Presa el Cuarenta” (12422 Cuarenta II y 12476 km 0+340), una en la cuenca 5 “Río Lagos” (12370 San Gaspar), dos en la cuenca 6 “Río Ajojuar” (12358 Ajojuar y 12425 Ajojuar) y una en la cuenca 12 “Río Verde” (12504 La Cuña).
- Los criterios adoptados para completar las series de tiempo se basan tomando en cuenta datos medidos, es decir, datos aforados y en algunos casos se reagruparon cuencas para aplicar el método de continuidad.

### *Variación de volumen DV*

- Para la obtención de la variación de volumen, se identificaron 6 presas localizadas en las cuencas: CH2 (Elias Calles y Cincuenta aniversario), CH3 (El Niágara y Abelardo Rodríguez), CH4 (El cuarenta) y la CH 12 (El Estribón).
- Se extrajo de la base de datos bandas BANDAS el valor del 31 de diciembre de cada año en las presa para calcular la variación de volumen.

### *Importaciones (Im) y exportaciones (Ex)*

- La exportación de la cuenca 12 “rio Verde” hacia la cuenca Lerma de 119.84 hm<sup>3</sup> (decreto de reserva de aguas superficiales para uso público urbano, 1997 para la ciudad de León, Gto.) no se consideró en la restitución de series de tiempo porque actualmente no se exporta ese volumen de agua.
- Se consideraron las extracciones de lago de Chapala corresponden a las importaciones de la cuenca 18 “Río Santiago 1” medidas por las estaciones de la Corona, Zapotlanejo y Atequiza.

### *Cuenca Propia y Aguas Abajo*

Como valor del escurrimiento aguas abajo se tomó como base los registros de la presa ubicada a la salida de la cuenca, la cual fue complementada en primera estancia por las estaciones ubicadas en la cercanía de la misma. El volumen de cuenca propia para este tipo de casos se obtuvo aplicando la ecuación de continuidad.

En el caso de no contar con mediciones, el escurrimiento se obtuvo utilizando la ecuación de continuidad y por agrupación de cuencas.

### *Usos de agua y retornos*

- La base de datos nacional del REPDA se inició en el año de 1994, en los primeros años la ubicación geográfica de las concesiones era aproximada y con un margen de error significativo, por esta razón fue obligado seleccionar de las 142,988 concesiones (REPDA, 2013) los municipios localizados en la zona de estudio, dando como resultado 9,380 registros pertenecientes a la subregión hidrológica del Río Santiago. Sin embargo, muchos municipios no están totalmente dentro de la subregión, por lo que se analizó con mayor detalle su ubicación.
- De la base de datos de los 9,380 registros, se filtró la localidad, fuente y afluente, y el registro se asignó a la cuenca correspondiente. Como resultado se obtuvieron 7,398 registros ubicados en la subregión hidrológica del Río Santiago, de esos, 2,576 pertenecen a la zona hidrológica del Río Verde con un volumen concesionado de 298.51 hm<sup>3</sup>.
- De los 298.51 hm<sup>3</sup>, el 89% corresponde al uso agrícola, es decir, 265.04 hm<sup>3</sup>, seguido por el público urbano (7%) con 21.48 hm<sup>3</sup>, pecuario (3%) con 8.18 hm<sup>3</sup>, servicio (1%) con 2.35 hm<sup>3</sup>, múltiples con 1.25 hm<sup>3</sup>, doméstico con 0.18 hm<sup>3</sup>, industrial con 0.03 hm<sup>3</sup>, acuacultura con 0.04 hm<sup>3</sup>.
- En la mayoría de las cuencas del Río Verde, el uso de agua predominante es agrícola, sin embargo, en la cuenca 11 “Río San Miguel” el principal uso es “público urbano”, debido a que el mayor volumen concesionado para este uso se localiza en el municipio de Valle de Guadalupe con 11.98 hm<sup>3</sup> cuya fuente es la Presa el Salto, por el contrario, solo existe una concesión para uso agrícola.
- El volumen de retorno es de 45.7 hm<sup>3</sup>, del cual el 58% corresponde al uso agrícola y el 35% al uso público urbano.
- Se recomienda hacer una revisión exhaustiva de la ubicación (coordenadas geográficas) de las concesiones REPDA con el fin de que la ubicación sea útil para estudios futuros.

## Balance hídrico

- El balance en la Cuenca Río Verde se realizó ajustando el valor del escurrimiento virgen con la hidrometría, esto puede introducir errores en el escurrimiento virgen, pero el resultado se ajusta cuando se calcula el balance hacia aguas abajo, reproduciendo los escurrimientos aforados.
- Por el contrario, si se calcula el escurrimiento virgen por algún método indirecto, al integrarlo en el balance de aguas arriba hacia aguas abajo no se reproducirían los aforos de las estaciones hidrométricas.
- Se recomienda que el escurrimiento virgen calculado absorba el posible error que sistemáticamente puede introducirse en algunas variables del balance. Estos errores son inevitables por las limitaciones físicas naturales que se tiene en la obtención de mediciones precisas.
- El volumen de agua de las concesiones del REPDA, no necesariamente corresponde al volumen real utilizado, puede ser mayor durante el estiaje y menor en la época de lluvias y en consecuencia el escurrimiento medio anual no corresponda a la realidad.
- El escurrimiento virgen obtenido con el método directo en cuencas agrupadas busca el valor del escurrimiento virgen de las cuencas que integra el grupo. El valor que se le asigna a cada cuenca es el que le corresponde según el resultado de calcular el escurrimiento virgen por algún método indirecto, cuya fuente de datos es la precipitación, las características fisiográficas y el tipo y uso del suelo. De esta manera es posible cuantificar el volumen por cuenca propia y obtener mayor utilidad de la información hidrométrica en la interconexión y balance de las cuencas evitando modificar los volúmenes reservados y sobredimensionar la disponibilidad del agua en la región.
- En el cálculo de balance de agua generalmente las variables que intervienen en la ecuación de continuidad, tienen errores en la medición, captura y/o procesamiento de la información, en algunos casos se compensan, pero en otros, el grado de error es tal que los resultados están fuera de la realidad. En estos casos se analizan y revisan cada uno de los datos del año en cuestión y se ajustan con base en la serie histórica. La herramienta de Excel ayuda a visualizar e identificar de manera inmediata, los valores de mayor orden y los que representan posibles fuentes de error.
- En algunos casos, los resultados obtenidos de cuenca propia por el método directo son menores que los obtenidos por el método indirecto, eso se atribuye a posibles sobre-estimaciones de las variables de salida o sub-estimaciones de las variables de entrada o posibles combinaciones de estas, de cualquier manera. La ventaja de usarlo es para dimensionar la proporción en que se repartirá el volumen de agua por cuenca propia de cada una de las cuencas que integran un sistema de cuencas.

- El ajuste del método directo, también corrige errores de medición que no son deseables, pero que existen. Principalmente en años muy húmedos, el exceso de agua a lo largo del año produce una menor demanda del recurso con el menor uso, el cual no es reportado introduciendo errores en el balance, igualmente para años secos, aunque hay una mayor demanda del recurso, es más probable que no se pueda satisfacer el volumen concesionado por no existir en el sistema el volumen suficiente. En todos los casos es difícil determinar la fuente precisa de esos errores, y los ajustes realizados en las variables para obtener un cierre de balance que no siempre permitirán corregir la fuente de error, además se corre el riesgo de corregir datos que son precisos.
- La mayor recomendación, está relacionada con la hidrometría. En el estudio se descartaron algunas estaciones hidrométricas por tener dudas sobre la precisión de las mismas, el escurrimiento es una de las variables más importantes que puede ser medido y servir de apoyo para tener un cierre de balance exitoso.

### *Disponibilidad de agua superficial*

Se realizó el cálculo considerando los 504.58 hm<sup>3</sup> reservados por decreto (DOF, 1997), los cuales fueron ingresados al cálculo de la siguiente manera: 119.847 hm<sup>3</sup> como exportación en la cuenca 12, 37.85 hm<sup>3</sup> como usos en la cuenca 11 y 346.90 hm<sup>3</sup> en la cuenca 13.

CH	Nombre	Cp	Ar	U	R	Im	Ex	Ev	Δv	Ab	Disp.
1	Río San Pedro	55.43	37.09	75.13	7.62		16.89	3.49		4.63	0.0006
2	Presa Calles	39.40		3.74	0.53	16.89		14.10	1.89	37.09	0.0002
3	Presa El Niágara	52.66	4.63	53.43	6.66			8.25	0.22	2.05	0.008
4	Presa El Cuarenta	58.60		25.94	2.75			3.78	0.34	31.28	0.15
5	Río de Lagos	131.18	31.28	46.52	5.09			11.89		109.14	0.79
6	Presa Ajojuar	38.51	2.05	14.34	1.51			2.17		25.57	0.16
7	Río Grande	32.24		1.26	0.16			0.46		30.68	0.20
8	Río Encarnación	113.69		26.93	2.86			14.09		75.53	0.48
9	Río Aguascalientes	36.64	131.77	16.78	2.69			2.13		152.20	1.10
10	Río San Miguel	76.01		4.26	0.70			2.30		70.15	0.51
11	Río del Valle	58.91		50.70	9.18			15.08		2.32	0.02
12	Río Verde 1	131.75	333.80	24.66	3.17		119.84	4.54	- 0.16	319.83	3.38
13	Río Verde 2	189.49	319.83	370.40	5.89			4.93		139.89	5.45

Por otro lado, se realizó el cálculo sin considerar reservas, esto se refleja en el volumen de escurrimiento aguas debajo de la cuenca 13, el cual es de 644.47 hm<sup>3</sup>.

CH	Nombre	Cp	Ar	U	R	Im	Ex	Ev	Δv	Ab	Disp.
1	Río San Pedro	55.43	37.09	75.13	7.62		16.89	3.49		4.63	0.003
2	Presa Calles	39.40		3.74	0.53	16.89		14.10	1.89	37.09	0.0012
3	Presa El Niágara	52.66	4.63	53.43	6.66			8.25	0.22	2.05	0.05
4	Presa El Cuarenta	58.60		25.94	2.75			3.78	0.34	31.28	0.86
5	Río de Lagos	131.18	31.28	46.52	5.09			11.89		109.14	4.58
6	Presa Ajojuar	38.51	2.05	14.34	1.51			2.17		25.57	0.96
7	Río Grande	32.24		1.26	0.16			0.46		30.68	1.15
8	Río Encarnación	113.69		26.93	2.86			14.09		75.53	2.82
9	Río Aguascalientes	36.64	131.77	16.78	2.69			2.13		152.20	6.39



CH	Nombre	Cp	Ar	U	R	Im	Ex	Ev	$\Delta v$	Ab	Disp.
10	Río San Miguel	76.01		4.26	0.70			2.30		70.15	2.95
11	Río del Valle	58.91		12.85	9.18			15.08		40.17	1.69
12	Río Verde 1	131.75	371.65	24.66	3.17			4.54	- 0.16	477.52	21.28
13	Río Verde 2	189.49	477.52	23.50	5.89			4.93		644.47	29.99

### *Cambio Climático*

- Antes de utilizar la información derivada de los diferentes escenarios de cambio climático es importante tomar en cuenta que el clima es un sistema complejo, su comportamiento es difícil de predecir y además existen diversos factores que influyen para que éste cambie.
- Con base en lo anterior, los resultados de Cambio Climático no debe basarse en el determinismo, este debe ser tratado como probabilístico, sin perder de vista que el tema “Cambio Climático” aún se encuentra en etapa temprana de estudio por lo que sus resultados no pueden tomarse como verdades absolutas, ya que son escenarios con **baja probabilidad de ocurrencia**.
- Adicionalmente, es importante conocer el comportamiento del clima a través de la historia del lugar, ya que ello ayuda a analizar de manera objetiva cada uno de los escenarios presentados.
- De acuerdo a documentos de IPCC, los modelos concuerdan entre sí conforme se disminuye la escala espacial, por lo que existe un gran desajuste entre los resultados de los modelos a gran escala y los resultados a nivel cuenca (nivel básico para el manejo de los recursos hídrico), por lo que para obtener mejores resultados es necesario realizar estudios de Cambio Climático tomando en cuenta las variables locales.
- Los modelos no consideran todas las variables que intervienen en el clima.
- De acuerdo al análisis de tendencias decenales aplicadas a la información histórica del periodo 1945-2012, los resultados no muestran un solo sentido de tendencia, por lo que dicha información manifiesta variabilidad climática.
- Por otro lado, al graficar la temperatura media anual del periodo en relación a la precipitación media anual, se puede observar que existe mucha dispersión de los datos, la correlación en la mayoría de las cuencas es menor al 0.5.
- No existe ninguna certeza que ocurrirán las precipitaciones y temperaturas que se proyectan con los modelos de Cambio Climático.
- Finalmente no hay que perder de vista que algunos eventos que suceden en lugares lejanos, podrían afectar el ecosistema en otros lugares, por ejemplo se podría mencionar que hace 13,000 años el desierto del Sahara era una selva, y que actualmente las arenas del Sahara se trasladan al Amazonas aportándole nutrientes como el fósforo.

## Optimización de usos de agua

El modelo estima la probabilidad de ocurrencia del estrés hídrico, tomando en cuenta condiciones tanto climáticas como de actividad humana como los compromisos actuales para la distribución de agua para sus diferentes usos.

En un ejercicio que trata de estimar la probabilidad de ocurrencia de dicho estrés considerando la permanencia de las condiciones actuales de uso, se estimó que en el futuro, cuando se inicie las operaciones de entrega de agua para Guanajuato y la Zona Metropolitana de Guadalajara, el estrés se puede presentar con 13.5% de probabilidad. Esto quiere decir que de seguir con las condiciones actuales de crecimiento en el consumo y dadas las expectativas climáticas el problema de estrés hídrico se puede presentar en promedio cada cinco años. El problema se puede exacerbar de prolongarse el periodo de sequía o con el tiempo si el crecimiento de la demanda sigue la tendencia de los últimos 20 años. Tener preparado el plan para afrontar esta situación debe contemplar acciones de restricción en el consumo, lo cual implica un cambio en la cultura del agua. Tener preparado el plan para afrontar esta situación debe contemplar acciones de restricción en el consumo, lo cual implica un cambio en la cultura del agua.

## 9. Referencias

IMTA. (2007). Estudio de Actualización de la Disponibilidad y Balance Hidráulico de Aguas Superficiales de la Región Hidrológica No.12 Santiago, utilizando el modelo de datos ArcHydro. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Ramón I. López Hernández, 2015, LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS A LARGO PLAZO EN MÉXICO, ESTIMACIONES DE DEMANDA PARA LOS PRINCIPALES USOS DEL AGUA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, DOI: 10.13140/RG.2.1.4633.2324, consultado en:

<https://drive.google.com/file/d/0B3PDwVzkmQma05wZS10Sm5YbXM/edit>

### Fuentes de información

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
- Sistema Estatal de Información Jalisco (SEIJAL) o el Instituto de Información y Estadística del Estado de Jalisco (IIEEJ)
- Consejo Nacional de Población (CONAPO)
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

## 10. Glosario

**Afluente.** A instancias de la hidrología se denomina como afluente a aquel río secundario que desemboca en otro considerado como principal. O sea, el afluente no desemboca en un mar sino que lo hace en un río que dispone de una importancia mayor. Ambos se unen en un lugar que se llama confluencia

**Aforo:** mediciones realizadas en un cauce con el objetivo de obtener datos básicos para calcular el caudal que pasa por una sección transversal del mismo.

**Cambio de almacenamiento:** incremento o decremento del volumen de agua almacenada en la unidad hidrogeológica en un intervalo de tiempo cualquiera.

**Cauce de una corriente:** el canal natural o artificial que tiene la capacidad necesaria para que las aguas de la creciente máxima ordinaria escurran sin derramarse. Cuando las corrientes estén sujetas a desbordamiento, se considera como cauce el canal natural, mientras no se construyan obras de encauzamiento.

**Cauce principal:** el canal principal que capta y conduce el agua hasta la descarga de una cuenca.

**Caudal base:** gasto o caudal que proviene del agua subterránea.

**Cuenca hidrológica:** el territorio donde las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboquen en el mar. La cuenca, conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión del recurso hidráulico.

**Descarga natural:** volumen de agua que descarga una unidad hidrogeológica a través de manantiales, vegetación, ríos y humedales, o subterráneamente a cuerpos de agua (mares, lagos y lagunas).

**Descarga natural comprometida:** fracción de la descarga natural de una unidad hidrogeológica, que está comprometida como agua superficial para diversos usos o que debe conservarse para prevenir un impacto ambiental negativo a los ecosistemas o la migración de agua de mala calidad a una unidad hidrogeológica.

**Diversos usos:** se refiere a todos los usos definidos en la Ley de Aguas Nacionales, como doméstico, agrícola, acuícola, servicios, industrial, conservación ecológica, pecuario, público urbano, recreativo y otros.

**Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica:** volumen medio anual de agua subterránea que puede ser extraído de una unidad hidrogeológica para diversos usos, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas.

**Disponibilidad media anual de agua superficial en una cuenca hidrológica:** valor que resulta de la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo y el volumen anual actual comprometido aguas abajo.

**Efluente.** Un efluente, en hidrología, corresponde a un curso de agua, también llamado distributivo, que desde un lugar llamado confluencia se desprende de un lago o río como una derivación menor, ya sea natural o artificial.

**Escurrecimiento desde aguas arriba:** es el volumen medio anual de agua que en forma natural proviene de una cuenca hidrológica ubicada aguas arriba de la cuenca o subcuenca en análisis.

**Escurrecimiento natural:** es el volumen medio anual de agua superficial que se capta por la red de drenaje natural de la propia cuenca hidrológica.

**Evaporación:** es el proceso por el cual el agua, en la superficie de un cuerpo de agua natural o artificial o en la tierra húmeda, adquiere la suficiente energía cinética de la radiación solar, y pasa del estado líquido al gaseoso.

**Extracción de agua superficial:** volumen de agua que se extrae artificialmente de los cauces y embalses superficiales para los diversos usos.

**Exportación:** es el volumen de agua superficial o subterránea que se transfiere de una cuenca hidrológica o unidad hidrogeológica a otra u otras, hacia las que no drena en forma natural.

**Importación:** es el volumen de agua que se recibe en una cuenca hidrológica o unidad hidrogeológica desde otra u otras, hacia las que no drena en forma natural.

**Parteaguas:** límite físico de una cuenca o subcuenca hidrológica, representado por la línea imaginaria formada por los puntos de mayor elevación topográfica, que las separa de las vecinas.

**Retornos:** son los volúmenes que se reincorporan a la red de drenaje de la cuenca hidrológica, como remanentes de los volúmenes aprovechados en los diferentes usos del agua.

**Subcuenca:** fracción de una cuenca hidrológica, que corresponde a la superficie tributaria de un afluente o de un sitio seleccionado.

**Volumen anual de extracción de agua superficial:** cantidad de agua que se debe preservar para satisfacer los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de agua asignada o concesionada, y para satisfacer las reservas establecidas conforme a la Programación Hidráulica.

## ANEXOS

ANEXO 1.1	DOF (7 de abril de 1995)
ANEXO 1.2	DOF modificado (17 de noviembre de 1997)
ANEXO 2.1	DOF NOM-011-CNA-2000
ANEXO 5.1	Base de datos CLICOM 2013
ANEXO 5.2	Precipitación
ANEXO 5.3	Evaporación
ANEXO 5.4	Temperatura
ANEXO 5.5	Base de datos BANDAS 2013
ANEXO 5.6	Hidrometría
ANEXO 5.7	Variación de volumen
ANEXO 5.8	Importaciones y exportaciones
ANEXO 5.9	Cuenca propia
ANEXO 5.10	Usos y retornos
ANEXO 5.11	Aguas arriba y aguas abajo
ANEXO 5.12	Disponibilidad
ANEXO 5.13	Cambio climático
ANEXO 5.14	Optimización de usos
ANEXO 5.15	Shapes
ANEXO 6.1	Base de datos ArcHydro
ANEXO 6.2	Sistema de información de consulta (SIC) e interfaz de actualización de la información
ANEXO 6.3	Herramienta SIH
ANEXO 7.1	Imágenes de satélite y mapas digitales
ANEXO 7.2	Galería fotográfica