



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS**

**ANÁLISIS DE LAS UNIDADES DE RIEGO CON APROVECHAMIENTO  
SUPERFICIAL EN LA CUENCA LERMA CHAPALA, MÉXICO**

**GALDINO DANIEL GONZÁLEZ COVARRUBIAS**

**T E S I S**  
**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN TECNOLOGÍA**  
**EN HIDROCIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

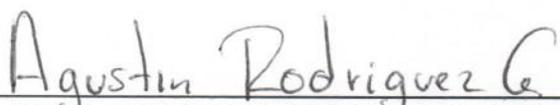
2013

La presente tesis titulada: “Análisis de las Unidades de Riego con Aprovechamiento Superficial en la Cuenca Lerma Chapala, México”, realizada por el alumno: **Galdino Daniel González Covarrubias**, bajo la dirección el Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y acepta como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRIA EN TECNOLOGÍA EN  
HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:   
DR. FRANCISCO GAVI REYES

ASESOR:   
DR. AGUSTIN RODRIGUEZ GONZALEZ

ASESOR:   
DR. JORGE ARTURO SALGADO TRANSITO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Agosto de 2013.

## AGRADECIMIENTOS

A la **Comisión Nacional del Agua**, por darme la oportunidad de realizar mis estudios.

Al **Colegio de Posgraduados** y en particular al personal del Programa de Hidrociencias por su instrucción académica.

Al **Doctor Enrique Mejía Sáenz**, por su confianza, apoyo incondicional, motivación y decidida participación en la elaboración de este trabajo, pero sobre todo por su gran calidad humana.

Al **Doctor Francisco Gavi Reyes**, por su apoyo para la realización de este documento.

A los **Doctores Agustín Rodríguez González y Jorge Arturo Salgado Transito**, por su valiosa ayuda para la culminación de este trabajo.

A mis compañeros y amigos de la Maestría, por los buenos momentos que llevare siempre en mis recuerdos.

## RESUMEN

En el presente estudio se realizó el análisis de las Unidades de Riego con aprovechamiento superficial en la Cuenca Lerma Chapala, México, a través de la georreferenciación y caracterización de la infraestructura hidroagrícola, padrón de usuarios y catastro, integrándolos en un Modelo de Sistema de Información Geográfica (SIG). Esto permitió conocer en forma precisa la información relevante de dichas Unidades. Se caracterizaron 1,364 unidades de riego con un total de 56,266 usuarios que detentan 114,975.26 hectáreas. La longitud de la red de conducción es de 2,435 km y la longitud de la red de drenaje es de 2,643 km, y 34,965 estructuras de control. La integración de las capas de información generadas en formato shape-file (\*.shp) al Modelo de SIG de la Cuenca Lerma Chapala, permite tener herramientas valiosas de apoyo en la toma de decisiones para el correcto direccionamientos de las acciones estructurales y no estructurales para lograr el uso sustentable del agua en esta cuenca. Más del 90% de los usuarios de las Unidades de Riego con fuente de agua superficial optan por asegurar cultivos de Primavera-Verano con una lámina de riego reducida en comparación a la requerida en cultivos de Otoño-Invierno. El patrón de cultivos se integra fundamentalmente por maíz (70.79%), sorgo (10.25%) y trigo (8.34%). El Modelo de SIG de la Cuenca Lerma Chapala, permitirá, a través del uso de imágenes de satélite, cuantificar en forma precisa la superficie cultivada a nivel de parcela y estimar en forma indirecta el uso de agua para riego.

*Palabras clave: Modelación, SIG, riego, agua, sustentabilidad, cuenca.*

## ABSTRACT

In the present study carried out in the Irrigation Units of the Lerma-Chapala (Mexico) Watershed, the analysis of the surface water use was performed by georeferencing and characterizing hydro infrastructure, users and crops. This information gathered in shape-files was integrated in a Geographic Information System (GIS) Model in order to know and analyze in accurate way the relevant information of such irrigation units. There were characterized 1,364 irrigation units with 56,266 users owning 114,975.26 ha. The length of the water conduction net is 2,435 km and the length of the drainage net is 2,643 km. There were identified 34,965 structures to control the water flow. The GIS Model is a valuable tool for decision makers to support the design and direction of structural and no-structural actions aimed to reach the water use sustainability in the study area. More than 90% of the producers use surface water to irrigate spring-summer crops with less volume compared to that required in autumn-winter crops. In terms of seeded area in the irrigation units, the main crops are corn (70.79%), sorghum (10.25%) and wheat (8.34%). By using updated satellite images, the GIS Model developed for the Lerma-Chapala (Mexico) Watershed will permit to measure the cropped area and estimate the water volume for irrigation by crop at different levels (watershed, irrigation unit and lot).

*Key words: Modeling, GIS, irrigation, water, sustainability, watershed.*

# CONTENIDO

INDICE DE CUADROS .....	i
INDICE DE FIGURAS .....	ii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. HIPÓTESIS .....	4
III. OBJETIVO .....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
4.1. UNIDADES DE RIEGO.....	6
4.2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	7
4.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA SISTEMAS HIDROAGRÍCOLAS.....	10
V. MATERIALES Y METODOS.....	12
5.1. LA CUENCA LERMA CHAPALA.....	12
5.2. SUBREGIONES DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA .....	12
5.3. SUBCUENCAS DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA .....	13
5.4. CLIMA .....	22
5.5. SUELOS.....	24
5.6. GEOLOGÍA.....	26
5.7. LOS SISTEMAS HIDROAGRÍCOLA EN LA CUENCA LERMA CHAPALA .....	27
5.8. METODOLOGÍA.....	31
5.8.1. <i>Definición de las capas de información .....</i>	32
5.8.1.1. Fuentes de abastecimiento.....	32
5.8.1.2. Parcelas .....	34
5.8.1.3. Red de distribución.....	35
5.8.1.4. Red de drenaje.....	35
5.8.1.5. Estructuras de operación.....	35
5.8.1.6. Maquinaria .....	36
5.8.2. <i>Integración del Modelo de Sistema de Información Geográfica.....</i>	36
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
6.1. A NIVEL DE CUENCA .....	38
6.2. A NIVEL DE SUBCUENCA .....	43
6.3. RESULTADOS PARTICULARES POR SUBCUENCA.....	48
6.4. APLICACIONES A NIVEL DE UNIDAD DE RIEGO.....	88
6.4.1. <i>Mosaico de cultivos de la Unidad de Riego San Pedro.....</i>	91
6.4.2. <i>Manejo y actualización del padrón de usuarios – catastro .....</i>	91
6.4.3. <i>Cuantificación de superficies de cultivo mediante técnicas de percepción remota.....</i>	93
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
7.1. CONCLUSIONES.....	95
7.2. RECOMENDACIONES .....	96
VIII. BIBLIOGRAFÍA .....	97

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 5.1. Distribución por estados de la Cuenca Lerma Chapala .....	12
Cuadro 5.2. Subcuencas que conforman la cuenca Lerma-Chapala.....	15
Cuadro 5.3. Matriz del porcentaje de superficie de la zona de estudio .....	21
Cuadro 5.4. Distribución de los tipos de suelo en la cuenca Lerma-Chapala.....	24
Cuadro 6.1. Resumen de resultados en la Cuenca Lerma Chapala.....	41
Cuadro 6.2. Patrón de cultivos en la Cuenca Lerma Chapala. ....	42
Cuadro 6.2.A. Resultados por subcuenca.....	44
Cuadro 6.3 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Alto Turbio .....	48
Cuadro 6.4 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Alzate .	50
Cuadro 6.5 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Ameche .....	52
Cuadro 6.7. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Chapala .....	56
Cuadro 6.8. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Corrales .....	58
Cuadro 6.9. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Cuitzeo. ....	60
Cuadro 6.10 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Duero .....	62
Cuadro 6.11. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca I. Ramirez.....	64
Cuadro 6.12 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca La Begoña.....	66
Cuadro 6.13. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Pátzcuaro.....	68
Cuadro 6.14. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Pericos .....	70
Cuadro 6.15 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Salamanca.....	72
Cuadro 6.16. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Sayula .....	74
Cuadro 6.17 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Solís ..	76
Cuadro 6.18 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Tepuxtepec .....	78

Cuadro 6.19 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Yurécuaro .....	80
Cuadro 6.20. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Yuriria .....	82
Cuadro 6.21 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Zula ..	84
Cuadro 6.22 Información general de infraestructura en unidades de riego Fuera de Límite de la Cuenca Lerma .....	86

## INDICE DE FIGURAS

Figura 5.1. Subcuencas de la Cuenca Lerma Chapala .....	14
Figura 5.2. Distribución espacial de los diferentes grupos climáticos en le Cuenca Lerma Chapala.	23
Figura 5.3. Unidades de suelo en la Cuenca Lerma-Chapala.....	25
Figura 5.4. Balance hidrológico de la Cuenca Lerma Chapala .....	28
Figura 6.1. Modelo de SIG de la Cuenca Lerma Chapala.....	39
Figura 6.2. Integración de Imágenes SPOT al Modelo de SIG de la Cuenca Lerma Chapala .....	39
Figura 6.3. Capas de Información de las Unidades de Riego con Aprovechamiento Superficial integradas al Modelo de SIG de la Cuenca Lerma Chapala .....	40
Figura 6.4. Distribución de Unidades de Riego por subcuenca .....	45
Figura 6.5. Usuarios de Unidades de Riego por subcuenca .....	45
Figura 6.6. Superficie catastrada en Unidades de Riego por subcuenca .....	46
Figura 6.7. Numero de aprovechamientos superficiales para uso agrícola por subcuenca.....	47
Figura 6.8. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Alto Turbio.....	48
Figura 6.9. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Alto Turbio .....	49
Figura 6.10. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Alzate.....	50
Figura 6.11. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Alzate	51
Figura 6.12. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Ameche.....	52
Figura 6.13. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Ameche .....	53
Figura 6.14. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Angulo .....	54
Figura 6.15. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Angulo .....	55

Figura 6.16. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Chapala.....	56
Figura 6.17. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Chapala .....	57
Figura 6.18. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Corrales .....	58
Figura 6.19. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Corrales. ....	59
Figura 6.20. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Cuitzeo.....	60
Figura 6.21. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Cuitzeo. ....	61
Figura 6.22. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Duero.....	62
Figura 6.23. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Duero	63
Figura 6.24. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca I. Ramírez.....	64
Figura 6.25. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca I. Ramírez.....	65
Figura 6.26. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca La Begoña .....	66
Figura 6.27. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca La Begoña.....	67
Figura 6.28. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Pátzcuaro.....	68
Figura 6.29. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Pátzcuaro.....	69
Figura 6.30. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Pericos .....	70
Figura 6.31. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Pericos .....	71
Figura 6.32. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Salamanca.....	72
Figura 6.33. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Salamanca.....	73
Figura 6.34. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Sayula .....	74
Figura 6.35. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Sayula .....	75

Figura 6.36. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Solís .....	76
Figura 6.37. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Solís ..	77
Figura 6.38. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Tepuxtepec .....	78
Figura 6.39. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Tepuxtepec .....	79
Figura 6.40. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Yurécuaro .....	80
Figura 6.41. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Yurécuaro .....	81
Figura 6.42. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Yuriria .....	82
Figura 6.43. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Yuriria .....	83
Figura 6.44. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Zula.....	84
Figura 6.45. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Zula...	85
Figura 6.46. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales Fuera de Límite de la Cuenca Lerma. ....	86
Figura 6.47. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego Fuera de Límite de la Cuenca Lerma .....	87
Figura 6.48. Cuerpos de agua que abastecen a las Unidades de Riego de la Cuenca Lerma Chapala. ....	88
Figura 6.49. Redes de conducción de las Unidades de Riego de la Cuenca Lerma Chapala. ....	89
Figura 6.50. Ubicación de la Unidad de Riego San Pedro. Subcuenca Pericos. ....	90
Figura 6.51. Modelo de SIG de la Unidad de Riego San Pedro. ....	90
Figura 6.52. Mosaico de cultivos de la Unidad de Riego San Pedro. ....	91
Figura 6.53. Padrón de usuarios de la Unidad de Riego San Pedro. ....	92
Figura 6.54. Plano catastral relacionado al padrón de usuarios de la Unidad de Riego San Pedro. .	92
Figura 6.55. Superficie de cultivo establecida para el mes de marzo de 2010 en la Unidad de Riego San Pedro. ....	93

## I.INTRODUCCIÓN

En México se dedican a la agricultura cada año en promedio 23 millones de hectáreas, de las cuales 6.5 millones de hectáreas son bajo riego y se encuentran 3.5 millones en 85 distritos de riego y 3.0 millones en 39,492 unidades de riego. El manejo y administración de las obras hidroagrícolas y de las zonas de producción agrícola dentro de las Unidades de Riego (UR) se hace mediante dos modalidades una como Unidades de Riego Organizadas y la otra como Unidades de Riego Sin Organizar.

La superficie susceptible de regarse en las Unidades de Riego no se conoce con detalle, se estima que se tienen 22,734 Unidades de Riego Organizadas en el Directorio Oficial de la Ex Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, que dominan una superficie de 2'061,677 ha y otras 16,758 UR Sin Organizar oficialmente, que dominan una superficie de 894,355 ha, dando un total de 39,492 UR que dominan una superficie total de 2'956,032 ha (CONAGUA, 1998).

Las instituciones responsables del manejo y administración de las unidades de riego en nuestro país han realizado esfuerzos por conocer el número de éstas y sus características en relación a la producción y productividad del agua y la tierra, su niveles de tecnificación y organización, la manera de como realizan la operación, conservación y administración de la infraestructura hidroagrícola, la estructura de la tenencia de la tierra y la disponibilidad de agua, así como su infraestructura y sus características topográficas, geográficas e hidráulicas entre las más relevantes.

Sin embargo es necesario actualizar estas características y otras que permitan planear, programar, ejecutar y evaluar proyectos y programas, que permitan hacer el mejor uso del agua, la infraestructura y sus recursos asociados en las unidades de riego.

Conforme a la Ley de Aguas Nacionales, la “Unidad de Riego” es el área agrícola que cuenta con infraestructura y sistemas de riego, distinta de un Distrito de Riego y generalmente menor en superficie que aquel; puede integrarse por asociaciones de usuarios u otras figuras de productores que se asocian entre sí libremente para prestar el servicio de riego con sistemas de gestión autónomas y de operar las obras de infraestructura hidráulica para la captación, derivación, conducción, regulación, distribución y desalojo de las aguas nacionales destinadas al riego agrícola.

Las unidades de riego son obras de pequeña irrigación que son entregadas a los usuarios para que con recursos propios lleven a cabo la operación, conservación y gastos de administración.

Muchas unidades de riego no se han explotado conforme a su proyecto por razones técnicas, sociales, y económicas, unas de ellas requieren ser rehabilitadas, mejoradas o modernizadas sus obras o su administración, mejorar el riego parcelario, falta de reglamentación, en las que su fuente de abastecimiento es el acuífero se presenta el problema de la sobreexplotación de éste y altos costos de operación y mantenimiento de los equipos de bombeo, falta de; una buena administración, formulación y/o actualización de los padrones de usuarios y de capacitación a los usuarios en manejo del agua y las obras.

Actualmente los sistemas de cómputo permiten con relativa facilidad la captura, proceso, análisis, transferencia y presentación de grandes cantidades de información, estas acciones facilitan a los responsables del manejo de las unidades de riego tomar con relativa facilidad mejores decisiones con oportunidad en diferentes escalas de tiempo.

La CONAGUA ha venido actualizando la información relativa a las unidades de riego a través de diversos estudios y proyectos, sin embargo actualmente se requiere de un conocimiento más detallado para el desarrollo de planes,

programas, proyectos y estudios estratégicos a nivel nacional, región y local. Así, es necesario actualizar el Inventario de las unidades de riego, utilizando tecnología de punta para su localización geográfica e incorporando en Sistema de Información Geográfica el inventario de la infraestructura hidroagrícola existente, el grado de organización, el tipo de tenencia de la tierra, las redes de distribución y drenaje, entre otras, para que se cuente con un SIG que sea un medio de consulta que facilite la toma de decisiones para la programación de la modernización de la infraestructura hidroagrícola de las unidades de riego, acorde con el propósito de la CONAGUA de lograr el Uso Eficiente del Agua en la agricultura. Por otra parte el presente trabajo servirá para mejorar el Acuerdo de Distribución de Aguas Superficiales en la Cuenca Lerma Chápala, al incorporar la información de las Unidades de Riego.

En este estudio el objetivo fue realizar el análisis, a través de caracterizar la infraestructura hidroagrícola, así como del padrón de usuarios y catastro de las superficies de las unidades de riego dominadas con fuentes de abastecimiento de agua superficial para uso agrícola en la Cuenca Lerma Chapala y su integración en el Modelo de Sistema de Información Geográfica de la Cuenca.

## **II.HIPÓTESIS**

Es posible caracterizar y analizar en forma precisa las Unidades de Riego con fuente de aprovechamiento superficial mediante la adquisición de información de campo y su integración en un Modelo de Sistema de Información Geográfica desarrollado a partir de un mapa base de imágenes satelitales de alta resolución.

## **III. OBJETIVO**

Desarrollar el análisis de las Unidades de Riego con fuente de aprovechamiento superficial a través de la caracterización de la infraestructura hidroagrícola, así como del padrón de usuarios y catastro de las superficies dominadas con fuentes de abastecimiento de agua superficial para uso agrícola en la Cuenca LermaChápala y su integración en el Modelo de Sistema de Información Geográfica de la Cuenca.

#### IV. REVISIÓN DE LITERATURA

En México, el subsector riego se ha dividido de acuerdo al tamaño de sus obras y a su organización operativa en Distritos o grande irrigación y en Unidades de Riego o pequeña irrigación.

Los Distritos de Riego fueron operados hasta mediados de la década de los noventa por el gobierno federal, hasta que se transfirió su operación y administración en general a sus organizaciones de usuarios; a la fecha la mayor parte de los Distritos ya han sido transferidos (Mejía *et al.*, 2003b).

En el caso de las Unidades de Riego, siempre han estado administradas por sus usuarios; sin embargo, hasta mediados de la década de los ochenta, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, las apoyaba con algún personal dependiente de lo que fue, primero la Dirección General de Unidades de Riego para el Desarrollo Rural y posteriormente, se integró con los distritos de riego en lo que fue la Dirección General de Distritos y Unidades de Riego (DGDUR).

A partir de 1985, desapareció esta organización, y se crearon los distritos de desarrollo rural, con personal insuficiente para apoyar a las unidades de riego. En 1989, se creó la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), quien rescató a los Distritos de Riego, con el fin de reorganizarlos y transferirlos a sus organizaciones de usuarios. Sin embargo, los apoyos a las Unidades de riego fueron mínimos. Principalmente se apoyó a las unidades con pozos mediante el programa del Uso Eficiente del agua y la Energía (UEAEE) y luego con el programa de Uso Pleno de la Infraestructura Hidroagrícola (UPIH), se apoyó a varias unidades para que rehabilitaran algunas obras, por parte de la CONAGUA.

A partir de 1999, se inició por parte de la CONAGUA, un programa para la organización de las unidades de riego, en bloques para constituir Sociedades de Responsabilidad Limitada, con el fin de poder brindarles un apoyo crediticio. Este

programa continua, pero son relativamente pocas las unidades que se han organizado.

No obstante, la mayor parte de las unidades de riego, no han recibido apoyos del gobierno como tales; el apoyo que han tenido a la fecha se ha enfocado al mejoramiento de la infraestructura y más recientemente a la tecnificación del riego, con el programa de Ferti-Irrigación, aunque estos apoyos han sido generalmente en forma particular a los usuarios que pueden aportar fondos para complementar los costos de esta tecnificación. Por otra parte, se ignora cuántas Unidades de Riego hay en el país (Santose *et al.*, 2009).

#### **4.1. Unidades de Riego.**

La superficie con infraestructura de riego en México es de aproximadamente 6.5 millones de hectáreas, de las cuales 3.5 millones corresponden a distritos de riego y 3 millones a unidades de riego (CONAGUA, 2005).

Para el año 2005 el sector agrícola en México sembró aproximadamente 21.6 millones de hectáreas, de las cuales se cosecharon 18.4 millones. De la superficie cosechada, solo 5.2 millones de hectáreas se encuentran en zonas de riego, ya sea de pequeña o gran irrigación (SIACON, 2006). Los Distritos de Riego (DR) reportan que la superficie cosechada en 2005 bajo riego fue de 2.6 millones de hectáreas (CONAGUA, 2006) y por consiguiente la superficie cosechada bajo riego en Unidades de Riego (UR) fue de 2.6 millones de ha.

De acuerdo con el Sistema de Información de Unidades de Riego (SIUR), de los 2.9 millones de hectáreas que conforman las UR, 28 576 unidades corresponden a sistemas con pozo profundo accionadas principalmente por energía eléctrica. Estas UR dominan una superficie de 1.48 millones de ha, equivalente a 23.5% de la superficie de riego del país (CONAGUA, 1998).

Con el fin de fomentar el desarrollo agrícola, a partir de la década de 1970, el sector agropecuario recibió subsidios por diferentes conceptos, entre ellos el relativo al pago de la tarifa de energía eléctrica para el riego por bombeo. Este subsidio propició que los usuarios no tomaran verdadera conciencia del valor de la energía eléctrica ni del agua, causando distorsiones en su aprovechamiento como el incremento en el abatimiento de los acuíferos y poniendo en riesgo el desarrollo sostenido de las regiones agrícolas que utilizan el riego por bombeo, debido al incremento de los costos de producción. Para atenuar el impacto de los incrementos a la tarifa eléctrica 09, en septiembre de 1990 el Gobierno Federal, a través de la Comisión Nacional del Agua, puso en marcha el Programa de Uso Eficiente del Agua y la Energía Eléctrica (UEAEE); el cual tiene el fin de propiciar un uso más eficiente del agua y la energía eléctrica; así como de corregir las distorsiones generadas en los acuíferos, pozos, sistemas de bombeo, sistemas de riego y en el proceso productivo (CONAGUA, 1994).

#### **4.2. Sistemas de información geográfica.**

Mejía *et al.*,(2010), indican que un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta de software que permite almacenar, recuperar, analizar y desplegar información geográfica.

La tecnología del SIG, integra operaciones comunes de bases de datos así como consultas y análisis estadístico, con el beneficio de la visualización y análisis geográfico que ofrecen los mapas. Estas habilidades distinguen a los SIG de otros tipos de sistemas de información, por lo que han sido aceptados por las empresas y las instituciones para explicar eventos, predecir resultados y planear de manera estratégica.

Crear mapas y realizar análisis geográfico no es nuevo; sin embargo, el SIG desempeña esas tareas de una manera más eficiente y más rápida que los métodos manuales que se ocupaban anteriormente, agregando algunas

funcionalidades de almacenamiento, análisis y despliegue de información. Los SIG ayudan a la gente a una mejor toma de decisiones y a la solución de sus problemas.

Una característica que distingue a los SIG es la habilidad para incorporar datos espaciales, manejarlos, analizarlos y responder preguntas espaciales que con otro tipo de sistemas sería imposible responder. En el capítulo tres se abordará el tema de la potencialidad de los SIG para modelar consultas espaciales.

### ***Componentes de un Sistema de Información Geográfica***

Un SIG integra cinco componentes clave que son: hardware, software, datos, recurso humano y métodos. A continuación se mencionará brevemente cada uno de ellos.

#### ***Hardware***

Es el equipo de cómputo con el cual opera un SIG. Hoy en día el software de este tipo de sistemas se ejecuta en un amplio rango de tipos de hardware; desde una arquitectura cliente-servidor hasta computadoras de escritorio aisladas.

Por otra parte existe hardware para la captura de datos tales como las tabletas digitalizadoras usadas para obtener información espacial que existe en papel y convertirlo en formato digital. Otro de los dispositivos usados ampliamente en los SIG son los GPS (Global Position System) que se usan para saber la localización de algunos objetos como edificios, carreteras, terrenos, entre otros.

#### ***Software***

El software de un SIG proporciona las herramientas y funciones necesarias para almacenar, analizar y desplegar información geográfica. Los componentes principales de software son:

- Herramientas para la entrada y manipulación de información geográfica.
- Un sistema de administración de base de datos (DBMS).
- Herramientas que soportan consultas, análisis y visualización de elementos geográficos.
- Una interfaz gráfica de usuario para un fácil acceso a las herramientas citadas en los puntos anteriores.

### ***Datos***

Posiblemente el componente más importante de un SIG son los datos, puesto que sin ellos el sistema no podría realizar todas sus tareas o no proporcionaría la información correcta o actualizada.

En este contexto hay que tomar en cuenta que los términos dato e información son diferentes. Dato se refiere a un elemento básico como podría ser un número, un nombre, mientras que la información es producida por los datos al darle una interpretación basada en conocimientos.

### ***Recurso humano***

La tecnología de los SIG es de valor limitado sin la gente que administra el sistema y desarrolla un proyecto para aplicarlo a problemas del mundo real. En un SIG intervienen muchas personas desde el inicio del sistema con los analistas, desarrolladores y programadores, así como también los usuarios y administradores del sistema una vez que se encuentra en operación.

### ***Métodos***

Un SIG exitoso opera de acuerdo a un plan bien diseñado y a las reglas de la empresa, las cuales son modelos y prácticas de operación únicas en cada organización.

#### **4.3. Sistemas de información geográfica para sistemas hidroagrícolas.**

Barocio et al., (1994), presentan una metodología para llegar a la receta de riego a nivel de parcela en los distritos de riego en México, partiendo de la digitalización de planos catastrales y de infraestructura hidroagrícola. Esta metodología presentaba un desarrollo conceptual importante pero el estado del conocimiento en cuando a los Sistemas de Información Geográfica y Técnicas de Percepción Remota, no permitió su aplicación directa en campo.

Giner J., M. A. 1994, realizan diferentes aplicaciones de paquetes comerciales como el SURFER, para obtener isoclinas de indicadores hidroagrícolas: producción de cultivos, nivel freático, salinidad, etc.

La toma de decisiones sobre la planeación de las actividades de un sistema hidroagrícola debe apoyarse en el conocimiento y análisis de la información que se genera en éstos, con la finalidad de aprovechar al máximo los recursos disponibles. Las actividades que se realizan en las diversas áreas técnicas de los distritos y módulos de riego, se programan y ejecutan de acuerdo con dos tipos de información: estadística (estadísticas agrícolas, hidrometría, plan de riegos) y planos temáticos.

En el manejo de un sistema hidroagrícola como un sistema de producción, es necesario considerar tres horizontes de tiempo: 1) Desarrollo histórico (evaluación), 2) Manejo en tiempo real (operación) y 3) Proyección de posibles cursos de acción (planeación). Una de las tecnologías para el manejo de la información es el empleo de los Sistemas de Información Geográfica, que permiten trabajar en forma integrada y organizada los datos geográficos (planos) y numéricos (estadísticas agrícolas, estudios diversos y caracterización genérica)

con la finalidad de facilitar su almacenamiento, actualización, manipulación, análisis y su presentación en forma gráfica.

De tal forma que en la oportunidad requerida, técnicos y usuarios de los distritos y módulos de riego puedan disponer de información adecuada y suficiente para evaluar el desarrollo de sus actividades, así como para planear el mejor uso de los recursos a corto y mediano plazo (Mejía *et al.*, 2003 a).

## V.MATERIALES Y METODOS

### 5.1. La cuenca Lerma Chapala

La cuenca LermaChápala se ubica entre los meridianos 99° 18' a 103° 45' (longitud) y los paralelos 19° 25' a 21° 32" (latitud). Se localiza en el centro oeste de la República Mexicana, hacia el norte colinda con la Cuenca Santiago Pacífico, al este con la Región Hidrológica Pánuco, al sur con la Región Hidrológica Balsas, al suroeste con la Región Hidrológica Armería-Coahuayana y al este con la Región Hidrológica del Río Ameca.

La Cuenca Lerma Chápala tiene una superficie total de 58,725 km<sup>2</sup>; lo que representa 3% del territorio nacional, 31% de la región administrativa y 44% de la Región Hidrológica Lerma Santiago. Políticamente la cuenca está conformada por los estados de Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán y Querétaro. En el Cuadro 5.1, se muestra la distribución estatal y municipal de la región; se observa que la mayor parte de su territorio se ubica dentro del estado de Guanajuato. La región se integra por 170 municipios y Michoacán es el estado que contribuye con el mayor número (SEMARNAT, 2002).

**Cuadro 5.1. Distribución por estados de la Cuenca Lerma Chapala**

Estado	Superficie km <sup>2</sup>	Participación		No. de municipios
		Nacional (%)	Cuenca (%)	
Guanajuato	24,270	1.2	41	41
Jalisco	10,560	0.5	18	34
México	5,654	0.3	10	29
Michoacán	15,731	0.8	27	62
Querétaro	2,480	0.1	4	4
Total Lerma	58,725	3.0	100	170
Total Nacional	1,972,597			

### 5.2.Subregiones de la Cuenca Lerma-Chapala

La cuenca Lerma-Chapala se divide en tres subregiones: Alto Lerma, Medio Lerma y Bajo Lerma, que contienen a las 22 subcuencas en las que la CONAGUA divide el territorio de la cuenca.

### ***Subregión Alto Lerma***

Esta subregión tiene una superficie de 14,551 kkm<sup>2</sup>, que representa 25% de la cuenca; en ella se localizan 7 subcuencas de las cuales la de Cuitzeo es la de mayor extensión con una superficie de 4,170.61 km<sup>2</sup>. Los estados que la forman son: México, Michoacán, Querétaro y Guanajuato. Siendo el estado de Michoacán el que aporta mayor porcentaje en esta subregión. Comprende el área drenada por el cauce principal, desde los orígenes del propio Río Lerma, en Almoloya del Río, hasta la Presa Solís; incluyendo en ésta, las cuencas cerradas de Pátzcuaro y Cuitzeo.

### ***Subregión Medio Lerma***

Esta subregión es la que presenta mayor superficie (30,221 km<sup>2</sup>), representa 51% del área de estudio. Está conformada por 9 subcuencas de las cuales la de Corrales y La Begoña son las de mayor superficie con 7,150 y 6,985 km<sup>2</sup> respectivamente. Las entidades federativas que la forman son: Guanajuato, Michoacán y Querétaro. Contempla el área drenada por el cauce principal, desde aguas abajo de la Presa Solís hasta la estación hidrométrica Yurécuaro.

### ***Subregión Bajo Lerma***

El territorio de la subregión Bajo Lerma es el más pequeño de la región, con una superficie de 13,953 km<sup>2</sup>, que representa 24% de la cuenca, comprende los estados de Jalisco y Michoacán y en ella se localiza el Lago de Chapala el más grande del país, del cual la cuenca recibe su nombre.

## **5.3.Subcuencas de la Cuenca Lerma-Chapala**

La CONAGUA divide la Cuenca Lerma Chápala en 22 subcuencas. En la Figura 5.1, se muestra la distribución de las subcuencas que conforman la cuenca, mientras que en el Cuadro 5.2 se puede apreciar la superficie de cada una de ellas, posteriormente se presenta una síntesis de estas subcuencas.



**Figura 5.1. Subcuencas de la Cuenca Lerma Chapala**

**Cuadro 5.2. Subcuencas que conforman la cuenca Lerma-Chapala**

Subcuenca		Área de subcuencas		
No.	Nombre	km <sup>2</sup>	% de la Cuenca	% de la Subregión
<b>Subregión</b>		<b>Alto Lerma</b>		
1	Lerma 1 (Álzate)	2,280.15	4	15.67
2	Lago de Cuitzeo	4,170.61	7	28.66
3	Río La Gavia (Ramírez)	735.98	1	5.06
4	Lago de Pátzcuaro	1,106.45	2	7.60
5	Río Lerma 3 (Solís)	2,807.08	5	19.29
6	Río Jaltepec (Tepetitlán)	542.74	1	3.73
7	Río Lerma 2 (Tepuxtepec)	2,907.99	5	19.98
		<b>14,551.00</b>	<b>25</b>	<b>100.00</b>
<b>Subregión</b>		<b>Medio Lerma</b>		
8	Río Turbio (Adjuntas)	3,252.92	6	10.76
9	Río Querétaro (Ameche)	3,115.58	5	10.31
10	Río Angulo (Angulo)	2,063.11	4	6.83
11	Río Lerma 5 (Corrales)	7,150.05	12	23.66
12	Río Laja 1 (La Begoña)	6,984.77	12	23.11
13	Río La Laja 2 (Pericos)	2,078.13	4	6.88
14	Río Lerma 4 (Salamanca)	2,352.70	4	7.78
15	Río Lerma 6 (Yurécuaro)	2,022.15	3	6.69
16	Laguna de Yuriria	1,201.57	2	3.98
		<b>30,221.0</b>	<b>52</b>	<b>100.00</b>
<b>Subregión</b>		<b>Bajo Lerma</b>		
17	Río Lerma 7 (Chápala)	6,300.80	11	45.16
18	Río Duero	2,126.94	4	15.24
19	San Marcos	1,123.96	2	8.06
20	Sayula	1,413.31	2	10.13
21	Zapotlán	380.57	1	2.73
22	Río Zula	2,607.45	4	18.69
		<b>13,953.02</b>	<b>24</b>	<b>100.00</b>

### **Subcuenca Río Lerma 1 (Álzate)**

La subcuenca Álzate se localiza completamente en el Estado de México y pertenece a la subregión del Alto Lerma. Representa la parte más alta de la cuenca, al poniente en el Nevado de Toluca a más de 4,560 m.s.n.m., el colector principal es el río Lerma desde sus orígenes en la zona lagunar hasta donde se ubica la cortina de la presa José Antonio Álzate, que opera desde 1962, con una capacidad de 35.6 Mm<sup>3</sup>. Recibiendo por la margen izquierda las descargas de los ríos Verdiguél y Tejalpa y en su margen derecha el río Oztolotepec. El área drenada por la presa es de 2,540 km<sup>2</sup>.

### ***Subcuenca Río La Gavia (Ramírez)***

Al igual que todos los apartadores de la parte alta de la cuenca del río Lerma, el río de La Gavia tiene una pequeña cuenca de aportación de sólo 390km<sup>2</sup>, hasta 15 km antes de su confluencia con el río Lerma en donde se construyó en la década de los sesenta la presa Ignacio Ramírez, que inició su operación en 1965, con una capacidad de 20 Mm<sup>3</sup>.

### ***Subcuenca Río Jaltepec (Tepetitlán)***

Su colector principal el río Jaltepec, con un área de aportación de 650km<sup>2</sup>, hasta donde se construyó en la época de la Colonia una presa que se conoció con el nombre de Tepetitlán Antigua. En 1964 inició la operación de una nueva presa situada 300 m aguas abajo de la cortina antigua, con el fin de satisfacer las crecientes demandas de riego. El vaso de esta nueva presa, llamada Tepetitlán Nueva, inundó la presa vieja y tiene una capacidad de 70 Mm<sup>3</sup>.

### ***Subcuenca Río Lerma 2 (Tepuxtepec)***

Aguas abajo de la presa Álzate, el río Lerma recibe por la margen izquierda las aportaciones de los ríos de la Gavia y Jaltepec, continuando en su recorrido dentro del estado de México, se localizan las zonas de riego de las unidades Atlacomulco y Temascalcingo del distrito de riego Estado de México, posteriormente el río sirve de límite entre los estados de Querétaro y Michoacán tramo en donde se ubica el vaso de la presa Tepuxtepec. Esta presa con una capacidad de almacenamiento de 538 Mm<sup>3</sup>, tiene como propósito principal la generación de energía eléctrica, además de apoyar el riego de la zona de Maravatio y forma parte del sistema Tepuxtepec - Solís - Yuriria, que proporciona agua para el distrito de riego Alto Lerma, el más grande de la región.

### ***Subcuenca Río Lerma 3 (Solís)***

El tramo entre la presa Tepuxtepec y la presa Solís, drena un área de 2,807 km<sup>2</sup>, encontrándose aguas abajo de la presa una caída de 150 m, lugar en donde se encuentra la planta de generación de energía eléctrica, posteriormente el río Lerma recibe las aportaciones del río Tlalpujahuá por la margen izquierda. Finalmente se ubica la presa Solís, que representa el embalse artificial más grande de la cuenca Lerma-Chápalá con una capacidad total de 800 Mm<sup>3</sup>.

### ***Subcuenca Lago de Pátzcuaro***

Tiene una extensión de 1,106 km<sup>2</sup> y está formada por una serie de pequeños arroyos que descargan al lago de Pátzcuaro, el cual ocupa una superficie de 92 km<sup>2</sup>.

### ***Subcuenca Lago de Cuitzeo***

La cuenca del lago de Cuitzeo se considera por separado de la del río Lerma, pese a su esporádica aportación a Yuriria. La cuenca de aportación al lago es de 4,171 km<sup>2</sup>, de los cuales 1,577 km<sup>2</sup> son drenados por el río Grande de Morelia y sus afluentes, 549 km<sup>2</sup> pertenecen a la cuenca del río Queréndaro y el resto a diversas corrientes que descargan directamente al lago.

### ***Subcuenca Río La Laja 1 (Begoña)***

Su colector principal es el río La Laja, desde su nacimiento en el cerro de San Juan, a unos 2,950 msnm y a 22 km al noreste de la ciudad de León, Gto. Hasta donde se ubica la presa Ignacio Allende, con una capacidad de captación de 150 Mm<sup>3</sup> y 100 Mm<sup>3</sup> más para control de avenidas.

### ***Subcuenca Río Querétaro (Ameche)***

Como afluente izquierdo del río La Laja destaca especialmente el río Apaseo-Querétaro, que drena casi toda la superficie del estado de Querétaro que se

encuentra en la cuenca del río Lerma, desde su nacimiento hasta la estación hidrométrica Ameche, drenando un área de 3,116 km<sup>2</sup>.

#### ***Subcuenca Río La Laja 2 (Pericos)***

El colector principal es el río La Laja, desde la presa Ignacio Allende hasta la estación hidrométrica Pericos antes de su confluencia con el río Lerma, tiene una longitud de 250 km y drena una área de 2,078 km<sup>2</sup>.

#### ***Subcuenca Laguna de Yuriria***

La laguna de Yuriria con una capacidad de 188 Mm<sup>3</sup>, es una de las cuencas cerradas del sistema, recibe las aportaciones de varias corrientes y que desde la época colonial artificialmente recibe derivaciones del río Lerma mediante un canal alimentador, además de los excedentes de la laguna de Cuitzeo desde mediados del siglo veinte mediante un dren llamado la Cinta, aportaciones que han sido esporádicas y no deseables, dadas las características de salinidad de las aguas. Debido a esto, la cuenca de la laguna de Yuriria se considera como parte formadora de la cuenca del río Lerma, además junto con las presas Solís, la Purísima y con el apoyo de Tepuxtepec, forman las obras de cabeza del distrito de riego Alto Lerma. El área de la cuenca propia de esta laguna es de 1,202 km<sup>2</sup>.

#### ***Subcuenca Río Lerma 4 (Salamanca)***

Consta de un área de 2,353 km<sup>2</sup> drenada por el tramo del río Lerma acotado desde la presa Solís hasta la estación hidrométrica de Salamanca. Este tramo tiene dirección general hacia el noroeste. En él se encuentra una bifurcación de 20 km que forma dos brazos, aguas abajo de la cual descargan las aguas del río de la Laja, que drena toda la porción noreste de la cuenca del río Lerma. En este tramo comienzan los principales canales que alimentan la zona de riego del Bajío guanajuatense, así como el canal que alimenta artificialmente la laguna de Yuriria, un poco antes del inicio de la bifurcación citada. La longitud medida a lo largo del colector principal es de 118 km.

### ***Subcuenca Río Angulo (Angulo)***

El colector principal del río Angulo se origina en el cerro Nahuatzen, hasta unos 8 km aguas arriba de la desembocadura donde se ubica la presa Melchor Ocampo, cuya capacidad es de 200 Mm<sup>3</sup>, el área drenada es de 2,063 km<sup>2</sup>.

### ***Subcuenca Río Lerma 5 (Corrales)***

El tramo del río Lerma que comprende de la estación hidrométrica Salamanca hasta la estación de nombre Corrales, drenando un área de 7,150 km<sup>2</sup>, recibe por su margen derecha las aportaciones de los ríos Temascalatío, Guanajuato y Turbio y las descarga del río Ángulo aportando por margen izquierda. En este tramo se ubica la derivadora Markazuza donde nacen los canales Huanímaro y Santa Ana, que riegan las unidades Huanímaro del distrito de riego 011 y Pastor Ortiz del 087.

### ***Subcuenca Río Lerma 6 (Yurécuaro)***

Otro tramo del río Lerma desde la estación hidrométrica Corrales hasta la de Yurecuaro, con sólo 42 km de desarrollo y dirección general hacia el norte, drenando una cuenca de 2,022 km<sup>2</sup>.

### ***Subcuenca Río Duero***

Es el último apartador importante del río Lerma, debe mencionarse que a principios del siglo veinte, el río descargaba directamente al lago de Chápala, pero mediante la desecación de lo que hoy se conoce como la Ciénega de Chápala y obras de rectificación del río Duero, convirtieron a éste en un afluente izquierdo del Lerma; de esta manera, la cuenca de aportación al río Lerma es de 2,238 km<sup>2</sup>, medido hasta la estación La Estanzuela.

### ***Subcuenca Río Turbio (Las Adjuntas)***

La Subcuenca del Río Turbio se localiza al noroeste del Estado de Guanajuato, entre los 20°29' y 21°20' de latitud norte y los 101°06' 102°20' de longitud oeste. Abarca parte de los municipios de Abasolo, Cuerámara, Dolores Hidalgo, Guanajuato, Silao, León, Irapuato, Manuel Doblado, Pénjamo, Purísima del Rincón, Romita y San Felipe en el estado de Guanajuato; Arandas Jesús María, Lagos de Moreno, San Diego de Alejandría, San Julián, San Miguel el Alto, Unión de San Antonio, en el estado de Jalisco. Drena una superficie de 3,253 Km<sup>2</sup>.

### ***Subcuenca Río Zula***

El río Zula descarga sobre el río Santiago a la altura de Ocotlán, población donde nace el río Santiago, en el lago de Chápala. La cercanía de estos puntos permite que mediante la operación de compuertas, el río Zula descargue directamente al lago o al río Santiago. Su cuenca de aportación mide 2,607 km<sup>2</sup>, hasta la estación hidrométrica del mismo nombre.

### ***Subcuenca Río Lerma 7 (Chapala)***

Último tramo del río Lerma de 120 km desde la estación hidrométrica de Yurécuaro hasta su desembocadura en el lago de Chapala, referenciando el límite de la subcuenca hasta la estación hidrométrica Poncitlán, sobre el río Santiago. El área drenada es de 6,301 km<sup>2</sup>, recibe por su margen derecha las aportaciones del río Huáscato y por la margen izquierda el río Duero. En ella se ubica el Lago de Chapala, vaso natural que opera como el principal regulador de los escurrimientos del río Lerma con una capacidad de almacenamiento de 7,897 Mm<sup>3</sup>, esto debido a la construcción de la cortina de Poncitlán y de los bordos en la Ciénega de Chapala en el año de 1903, ya que si estas construcciones, su capacidad de almacenamiento es únicamente de 4,495 Mm<sup>3</sup>.

### **Subcuenca Sayula**

Esta cuenca se conforma con varias cuencas cerradas, lagunas de San Marcos, Atoyac y Zapotlán, que tienen la particularidad de poseer uno o varios depósitos centrales a donde confluyen pequeñas corrientes intermitentes. En conjunto drenan un área de 1,413 km<sup>2</sup>.

### **Subcuenca San Marcos**

La Subcuenca San Marcos se localiza entre las coordenadas 20.35 de latitud norte y los -103.57 de longitud oeste, en el Estado de Jalisco, abarca diferentes porciones de los municipios de Zapotlán, Tala, Tlajomulco, San Martín Hidalgo, Villa Corona, Acatlán de Juárez, Jocotepec, Zacoalco de Torres, Atemajac, Teocuitatlán de Corona, Techaluta de Montenegro. Esta Subcuenca drena una superficie de 1,124 Km<sup>2</sup>.

### **Subcuenca Zapotlán**

La Subcuenca Zapotlán se localiza en el Estado de Jalisco, entre los 19.73 de latitud norte y los -103.52 de longitud oeste, abarca los municipios de Gómez Farías, Ciudad Guzmán, Ciudad Venustiano Carranza y Tamazula de Gordiano. Drena una superficie de 381 Km<sup>2</sup>.

En el Cuadro 5.3 se muestra una matriz en la que se relacionan la superficie de cada una de las unidades jerárquicas de la Cuenca Lerma-Chápala.

**Cuadro 5.3. Matriz del porcentaje de superficie de la zona de estudio**

	Territorio Nacional (%)	Región Administrativa (%)	Región Hidrológica (%)	Cuenca (%)
Territorio Nacional	100.0			
Región Administrativa	9.5	100.0		
Región hidrológica	7.0	70.0	100.0	
Cuenca	3.0	31.0	44.0	100.0
Alto Lerma	0.7	7.0	10.0	23.0
Medio Lerma	1.5	16.0	23.0	52.0
Bajo Lerma	0.7	8.0	11.0	25.0

#### 5.4. Clima

La región Lerma-Chapala presenta tres tipos de climas y siete subtipos, según la clasificación de Koppen modificada por García, que se describen a continuación:

El tipo de clima que ocupa mayor superficie es el semicálido subhúmedo con lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal menor de 5, (A) C (W0) (w) abarca en su totalidad las subregiones Alto y Medio Lerma, y se observa en las cuencas de Yurécuaro, Corrales, Salamanca, Pericos y Chapala.

El tipo climático (A) C (W1) (w) semicálido subhúmedo con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5, se localiza principalmente en los municipios de Duero, Yurécuaro, Adjuntas y Cuitzeo.

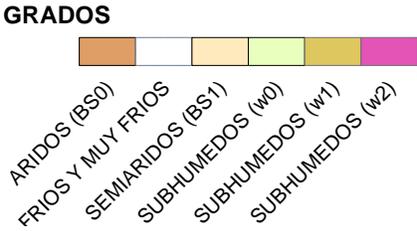
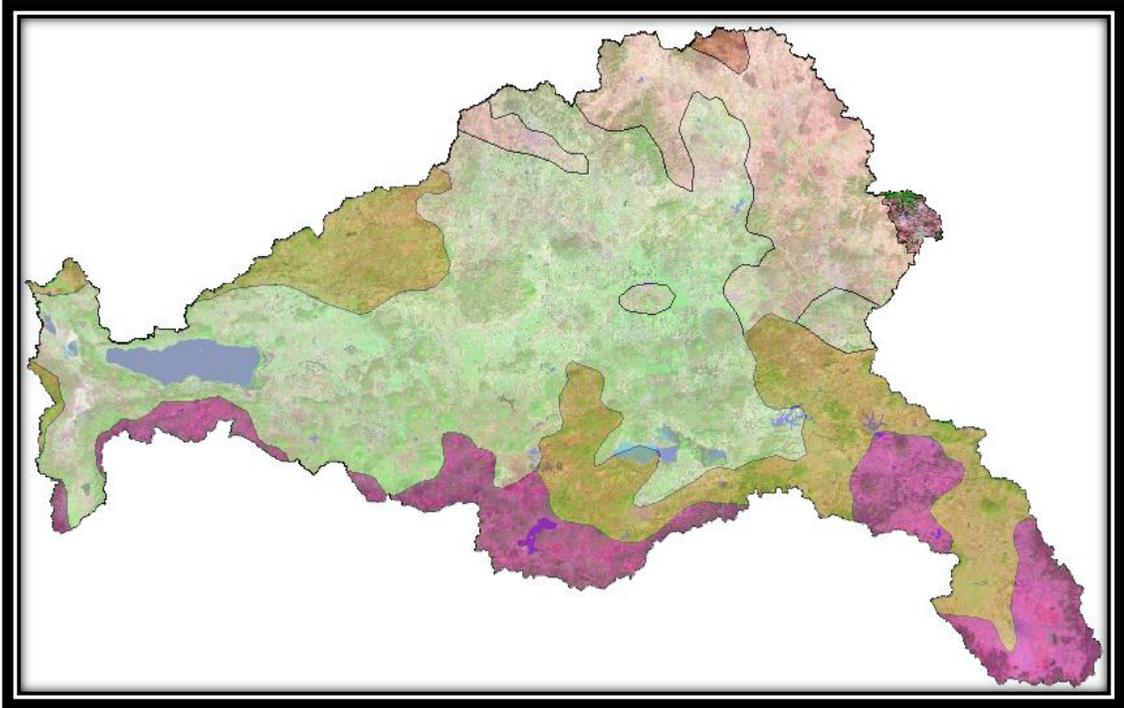
El clima C (W2) (w) templado subhúmedo con lluvias en verano y porcentaje de precipitación invernal menor de 5, se ubica en casi toda la extensión de la zona del Alto Lerma.

El clima templado subhúmedo con lluvias en verano y porcentaje de Precipitación invernal menor de 5, C (W1) (w) se localiza en la parte superior de la zona del Alto Lerma como son las cuencas Cuitzeo, Yuriria y Solís.

Templado subhúmedo con lluvias en verano y porcentaje de Precipitación invernal menor de 5 C (W0) (w), se localizan en las cuencas de Cuitzeo y Salamanca.

El clima semiseco semicálido con lluvias en verano y porcentaje de precipitación invernal menor de 5, del tipo BS1 hw (w), se localiza en una pequeña porción de los estados de Guanajuato y Querétaro, principalmente en las subcuencas Pericos y Ameche.

Finalmente, el semiseco templado con lluvias en verano, porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 del tipo BS1kw, se localizan en el Medio Lerma principalmente en las cuencas Pericos y Ameche (Figura 5.2).



**Figura5.2. Distribución espacial de los diferentes grupos climáticos en le Cuenca LermaChapala**

La precipitación total anual promedio es de 738.6 mm en toda la cuenca Lerma-Chapala. La distribución de la precipitación por región es la siguiente: la región Bajo Lerma con una precipitación de 827 mm, mientras que el Alto Lerma presenta precipitaciones de 754 mm, y finalmente la región Medio Lerma presenta los valores más bajos con 628 mm de precipitación.

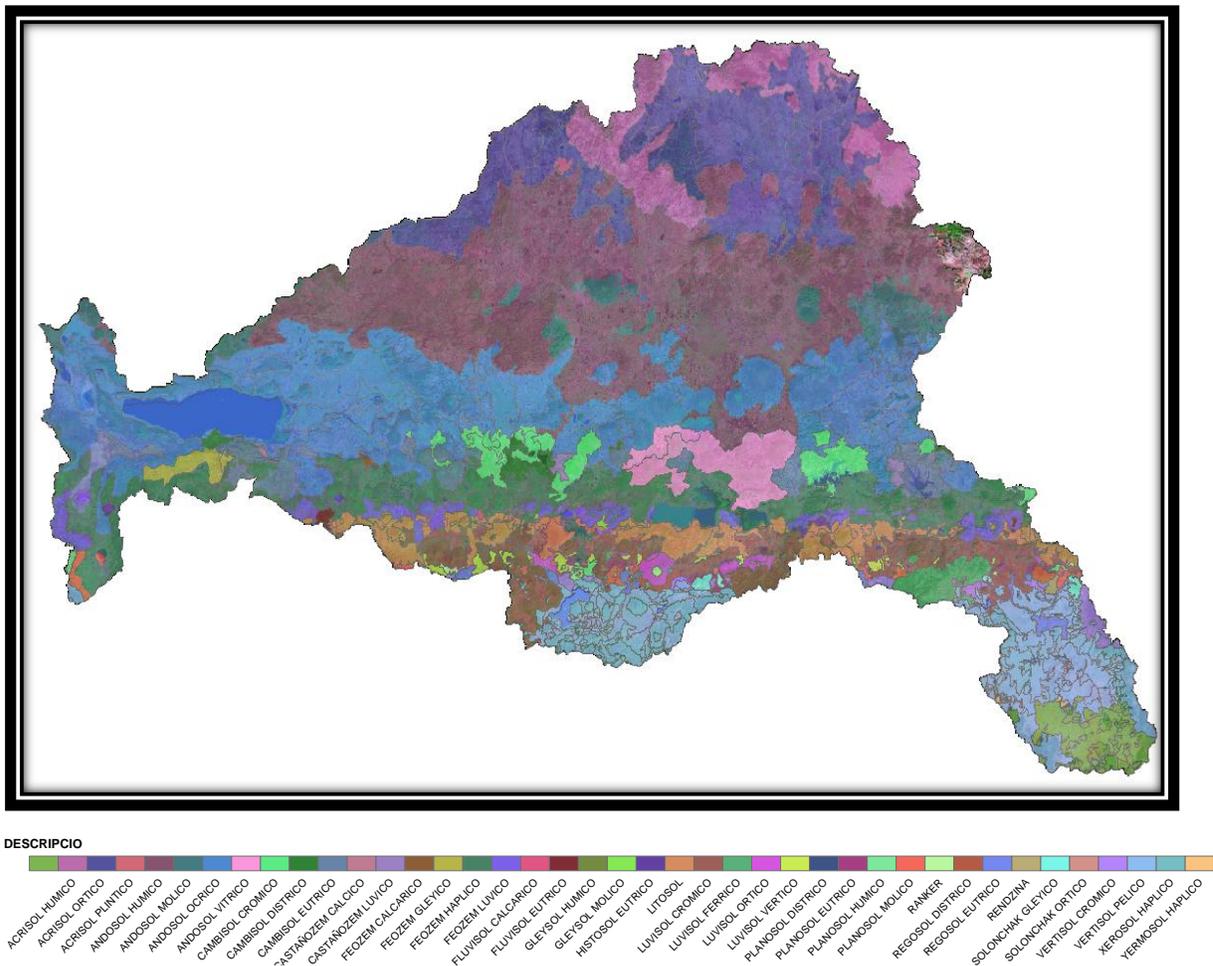
## 5.5. Suelos

En la Cuenca Lerma–Chapala se presenta una gran variabilidad de suelos, se encuentran 18 de los 24 reportados para el territorio nacional y que pueden ser cartografiados a escala 1:250, 000. No obstante, la variabilidad en tipos de suelos, 69% se concentra en dos subunidades: Vertisoles y Feozems y más de 90% de variabilidad en 6 tipos de suelos (Cuadro 5.4).

**Cuadro 5.4. Distribución de los tipos de suelo en la cuenca Lerma-Chapala**

Subunidad de suelo	Superficie	
	Ha	%
Acrisol	793.71	1.35
Andosol	3,877.03	6.60
Cambisol	864.11	1.47
Castañozem	305.12	0.52
Feozem	17,554.67	29.89
Fluvisol	49.40	0.08
Gleysol	48.90	0.08
Histosol	155.43	0.26
Litosol	1,887.04	3.21
Luvisol	4,483.73	7.64
Planosol	2,537.15	4.32
Ranker	71.21	0.12
Regosol	472.75	0.81
Rendzina	22.43	0.04
Solonchak	395.17	0.67
Vertisol	23,045.62	39.24
Xerosol	209.75	0.36
Yermosol	34.91	0.06
Cuerpo de Agua	1,767.99	3.01
Urbano	148.88	0.25
<b>Total</b>	<b>58,725.00</b>	<b>100.00</b>

La distribución espacial de las unidades de suelos localizadas en la Cuenca Lerma-Chapala, se presentan en la Figura 5.3.



**Figura 5.3. Unidades de suelo en la Cuenca Lerma-Chapala**

El suelo del tipo Vertisol ocupa la mayor superficie (2 269,501 ha) equivalente a 39% de la superficie total de la cuenca. El segundo suelo con mayor superficie es el Feozem el cual presenta una superficie de 1 743,132.2 ha equivalentes a 29.9 % del territorio.

Es importante hacer notar que en caso de los Vertisoles, la Cuenca Lerma-Chápala y posiblemente con otras regiones como la península de Yucatán y la región Golfo Norte del país, concentra la mayor parte de los Vertisoles del país, lo que posibilita el desarrollo de las actividades agrícolas económicamente rentables, dado que en este tipo de suelos, cuando son bien manejados, producen buenos rendimientos por sus características, como presentar una alta fertilidad natural, ser

suelos profundos localizados normalmente en zonas de valle, sin pedregosidad superficial y con alta retención de la humedad aprovechable. Sin embargo, ofrecen algunas dificultades en el manejo, característica que le es conferida por el alto contenido de arcilla, lo que los hace suelos pesados, que se agrietan cuando están secos y forman agregados estructurales grandes y difíciles de romper, por lo que el calendario de manejo y la forma de laboreo tienen que ser meticulosamente cuidados para obtener buenos rendimientos.

Por su parte los Feozem son suelos con alta fertilidad natural principalmente por el alto contenido de materia orgánica, buena estructura, lo que facilita la infiltración al subsuelo son moderadamente profundos, aunque algunos pueden presentar pedregosidad superficial y en general no ofrecen dificultad para el laboreo.

De los otros tipos de suelo, que en suma representan 31% de la superficie de la cuenca, destacan los Luvisoles, suelos en donde el proceso de lixiviación de las bases es importante; los Andosoles, que se caracterizan por una alta retención de fósforo dificultando el aprovechamiento de este elemento por las plantas cultivadas, y los Litosoles, que son suelos someros en donde la roca llega a aflorar, representando las áreas más erosionadas y donde las actividades agropecuarias tienen suficientes limitaciones para considerarse productivos.

## **5.6. Geología**

La cuenca Lerma-Chápala se ubica dentro de la región del Eje Neovolcánico, con una composición geológica del tipo ígnea extrusiva con algunas variaciones que se abordarán por subregión de acuerdo con la descripción y distribución presentada en el Atlas del Medio Físico de la República Mexicana (INEGI, 1982).

*Alto Lerma.* En esta región se puede observar que la mayor parte está ocupada por rocas de tipo ígnea extrusiva del periodo Terciario en las cuencas de Pátzcuaro, Cuitzeo y Ruyiría, además de presentar suelos aluviales en las orillas

de los lagos de Pátzcuaro, Ruyiría y Cuitzeo. Las rocas Arenisca y Toba del terciario se observan en las Cuencas Solís y Álzate.

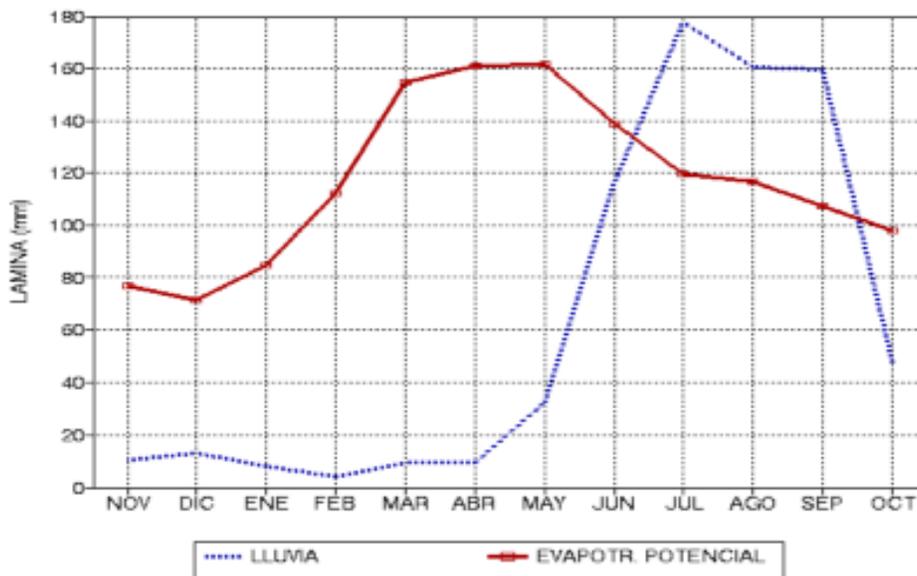
*Medio Lerma.* Esta zona presenta en su mayor territorio rocas ígnea extrusivas ácida y básica. En las cuencas Ameche y La Begoña presentan Areniscas y conglomerados del periodo Terciario, localizándose al Noreste de la región en los estados de Guanajuato y Querétaro.

*Bajo Lerma.* En esta región se puede observar que la mayor parte está ocupada por rocas de tipo ígneas extrusivas, con presencia de suelos aluviales principalmente en los municipios de Chápala y Zula.

### **5.7. Los Sistemas Hidroagrícola en la Cuenca Lerma Chapala**

Mientras que muchos de los Distritos y Unidades de Riego en México se ubican en zonas áridas y semiáridas donde el agua de lluvia es en extremo escasa, y el agua de riego es imprescindible para la agricultura, en la Cuenca Lerma-Chapala las lluvias juegan un papel importante en la producción agrícola al aportar una cantidad de agua considerable al requerimiento de los cultivos, particularmente en el ciclo de Primavera Verano (P-V) y en los segundos cultivos (S-C), requiriendo láminas de riego mucho menores que las utilizadas en cultivos de Otoño-Invierno (O-I).

A partir de la información de precipitación y evaporación media mensual de estaciones meteorológicas representativas para la Cuenca Lerma-Chapala, se realizó el balance hidrológico general de la misma, para mostrar la magnitud del déficit entre la lluvia y la evapotranspiración potencial (ETP) a lo largo del año, el cual se presenta en forma gráfica en la Figura 5.4.



**Figura 5.4. Balance hidrológico de la Cuenca Lerma Chapala**

En esta figura se observa que existe un déficit de lluvia respecto a la ETP desde el mes de octubre hasta mediados de junio. En los meses de julio, agosto y septiembre la lluvia es superior a la ETP. Así, en todos los meses que comprende el subciclo de O-I es necesario e imprescindible el riego, mientras que en P-V y S-C se tiene una importante cantidad de lluvia que contribuye a satisfacer, en caso de ocurrir en tiempo y cantidad, los requerimientos hídricos de los cultivos.

Así mismo, en los Distritos y Unidades de Riego en el país, particularmente en los no costeros, como es el caso de los Distritos y Unidades de Riego de la Cuenca Lerma-Chapala, las denominadas pérdidas de agua, no son en realidad pérdidas totales, ya que en gran parte son aprovechadas aguas abajo y por otra parte alimentan los acuíferos, por lo que un desperdicio del agua en los módulos de riego situados aguas arriba, se convierte en una aportación para los Módulos y Unidades de Riego situados aguas abajo.

Bajo este contexto, la cuantificación de los volúmenes utilizados en la agricultura de riego, en los Distritos y Unidades de Riego con buen temporal, no pueden ser evaluados de igual forma que en los sistemas de riego ubicados en climas secos,

ya que los requerimientos de agua en los cultivos de O-I son cubiertos fundamentalmente mediante el riego, mientras que en P-V y S-C, los requerimientos hídricos son cubiertos en gran medida por la lluvia. Sin embargo, es necesario considerar que no toda la lluvia es aprovechada por los cultivos, siendo necesario el tomar en cuenta aquella cantidad disponible para los cultivos (Precipitación efectiva).

Adicionalmente, en la gran mayoría de los Distrito y Unidades de Riego en México, por una parte se tienen eficiencias totales de uso del agua de presa muy bajas, y por otra se extraen cantidades considerables de agua de los acuíferos, lo cual constituye un grave error dentro de la planeación de los sistemas de riego.

Así, para evaluar en forma correcta las superficies de riego y los volúmenes utilizados en los sistemas de riego de la Cuenca Lerma-Chapala, es necesario el considerar las diferentes modalidades de producción agrícola bajo riego. Estas modalidades son:

- Riego mediante aguas superficiales en Distritos de Riego.
- Riego mediante aguas subterráneas en Distritos de Riego.
- Riego mediante aguas superficiales en Unidades de Riego.
- Riego mediante aguas subterráneas de Unidades de Riego.

Estas cuatro modalidades se refieren únicamente a la superficie física con infraestructura de riego. Sin embargo, para evaluar en forma adecuada los volúmenes utilizados en cada una de estas modalidades, es necesario considerar los diferentes períodos de producción. Así, para cada una de estas modalidades se deben considerar:

- Cultivos de Otoño-Invierno
- Cultivos de Primavera-Verano
- Cultivos Perennes

- Segundos Cultivos

Esta definición de los diferentes tipos de cultivos es muy importante en la cuantificación de los volúmenes utilizados en el riego de los mismos, ya que la cantidad de agua de riego requerida es diferente en cada caso.

Así, se tiene un total de 16 subsistemas, los cuales presentan láminas de riego diferenciales que deben ser consideradas en forma particular al realizar la cuantificación de los volúmenes utilizados para riego en la Cuenca Lerma-Chapala.

El análisis se complica en gran medida al considerar que únicamente los Distritos de Riego tienen información estadística referente a las superficies y volúmenes de riego utilizados. Las Unidades de Riego, tanto de fuente de agua superficial como subterránea, no cuentan con dichas estadísticas actualizadas. Más aún, no se sabe con precisión: número, ubicación, agua utilizada, infraestructura hidroagrícola, ni la información básica de su funcionamiento. La información más reciente es reportada por el Sistema de Información de Unidades de Riego (SIUR, 1998). El SIUR reporta información de la extinta SARH del año 1978.

Los aprovechamientos de agua superficial para uso agrícola en la Cuenca Lerma-Chapala pueden abastecer a los 2 tipos de Sistemas de Riego: Distritos y Unidades. Los Distritos de Riego son:

- 011 Alto Río Lerma
- 013 Estado de Jalisco (parcial)
- 020 Morelia-Queréndaro
- 024 Ciénega de Chápala
- 033 Estado de México
- 045 Tuxpan (parcial)
- 061 Zamora,
- 085 La Begoña

## **5.8. Metodología.**

La metodología utilizada se basa en recorridos de campo para la georreferenciación y caracterización de la infraestructura hidroagrícola, padrón de usuarios y catastro, integrándolos en un Modelo de Sistema de Información Geográfica (SIG).

En forma precisa, esta metodología se indica a continuación.

- a) Adquisición y procesamiento de imágenes de satélite tipo SPOT para el mes de enero de 2009, con resolución similar a las fotografías aéreas rectificadas (ortofotos) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática que abarquen la Cuenca LermaChapala.
- b) Integración de las imágenes de satélite tipo SPOT al Modelo de Sistema de Información Geográfica de la Cuenca LermaChapala.
- c) Recorridos de campo y entrevistas directas a los usuarios de las Unidades de Riego con fuentes de abastecimiento de agua superficial para uso agrícola en la Cuenca LermaChapala.
- d) En estos recorridos de campo se georreferenció cada componente de la infraestructura hidroagrícola (canales, canaletas, tuberías, válvulas, hidrantes, puntos de control, etc.), así como el catastro y el padrón de usuarios asociados al mismo de las Unidades de Riego analizadas.
- e) La información levantada en campo se integró con las imágenes SPOT, verificando puntos de control en campo mediante geoposicionadores globales.

- f) Los resultados obtenidos se transformaron en formatos tipo shape-file (\*.shp) para ser integrados en el Modelo de Sistema de Información Geográfica de la Cuenca LermaChapala.

### **5.8.1. Definición de las capas de información**

Las capas de información que se desarrollaron en formato genérico shapefile, son:

- Fuentes\_abastecimiento
- Parcelas y límite
- Red\_distribución
- Red\_drenaje
- Estructuras\_operación
- Maquinaria

Estas capas de información cuentan con la liga a las fotografías tomadas en campo.

La descripción de los campos que integran cada una de estas capas vectoriales se indican a continuación.

#### **5.8.1.1. Fuentes de abastecimiento**

Los campos que la integran, son:

- Clave de la Unidad de Riego:
  - Dos dígitos para el Estado
  - Tres dígitos para el Municipio
  - Cinco dígitos para consecutivo

### Un dígito para tipo de aprovechamiento

- Nombre del aprovechamiento
- Registro en REPDA
- Fecha de vencimiento en REPDA
- Volumen concesionado
- Longitud
- Latitud
- UTM – X
- UTM – Y
- Cuenca
- Región Hidrológica
- Nombre corriente principal
- Nombre de la Unidad de Riego
- Número y Nombre del Distrito de Desarrollo Rural
- Número y Nombre del CADER
- Nombre de la localidad más cercana
- Superficie dominada
- Superficie ejidal
- Superficie pequeña propiedad
- Superficie comunal
- Tipo de cuota por servicio de riego
- Monto actual de cuota por servicio de riego
- Fecha de renovación de la mesa directiva actual, día, mes y año con sus cuatro dígitos
- Nombre de la Asociación de Usuarios de existir
- Nombre de la Sociedad de Responsabilidad Limitada de existir
- Entidad Federativa
- Municipio
- Grado de marginalidad
- Tipo de cortina
- Tipo de vertedor

- Tipo de estructura de control
- Área hidráulica de conducción, en metros cuadrados
- Gasto promedio
- Número de equipos de bombeo instalados en el caso de plantas de bombeo
- Fuerza motriz con la que se accionan los motores en la planta de bombeo
- Potencia instalada en la planta de bombeo en hp.
- Gasto instalado en la planta de bombeo, en litros por segundo
- Altura de bombeo en metros, del cárcamo a la salida de la descarga
- Capacidad de la subestación eléctrica en KVA
- Número de rebombes en el sistema de bombeo
- Secuencial por unidad
- Fotografía(s) asociada(s) a la estructura

#### **5.8.1.2. Parcelas**

Los campos que la integran, son:

- Clave de la Unidad de Riego
- Nombre de la Unidad de Riego
- Número de lote
- Apellido paterno del usuario
- Apellido materno del usuario
- Nombre(s) del usuario
- Tipo de tenencia
- Sistema de riego
- Superficie en hectáreas
- Cultivo
- Rendimiento (Ton)
- Costo producción (\$)
- Valor de la producción (\$)
- Superficie en hectáreas calculada mediante el SIG

- Superficie en metros cuadrados calculada mediante el SIG
- Perimetral en metros

#### **5.8.1.3. Red de distribución**

Los campos que la integran, son:

- Clave de la Unidad de Riego
- Nombre del canal o tubería
- Tipo de sección hidráulica
- Tipo de revestimiento en caso de ser canal
- Tipo de Tubería
- Diámetro de tubería
- Gasto de conducción en litros por segundo
- Estado físico
- Longitud calculada en metros mediante el SIG

#### **5.8.1.4. Red de drenaje**

Los campos que la integran, son:

- Clave de la Unidad de Riego
- Nombre del dren
- Tipo de construcción del dren
- Estado físico
- Longitud calculada en metros mediante el SIG

#### **5.8.1.5. Estructuras de operación**

Los campos que la integran, son:

- Clave de la Unidad de Riego
- Tipo de estructura
- Longitud
- Latitud
- UTM – X
- UTM – Y
- Descripción de la estructura
- Estado de conservación
- Fotografía(s) asociada(s) a la estructura

#### **5.8.1.6. Maquinaria**

Los campos que la integran, son:

- Clave de la Unidad de Riego
- Secuencial por unidad
- Nombre de maquinaria
- Número de serie
- Volumen de capacidad en metros cúbicos
- Estado de conservación
- Fotografía(s) asociada(s)

#### **5.8.2. Integración del Modelo de Sistema de Información Geográfica**

Para integrar el Modelo de Sistema de Información Geográfica y el análisis de la información de las Unidades de Riego con aprovechamiento superficial de la cuenca Lerma Chapala, se utilizó el software comercial ArcView 3.2 de Esri.

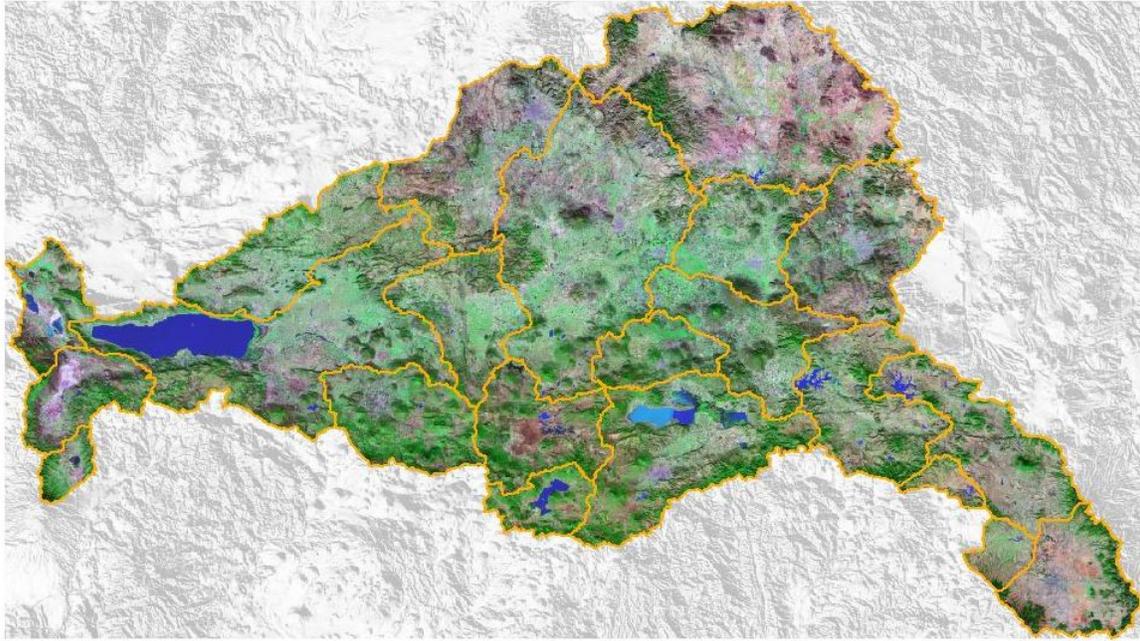
## **VI.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos mediante la georreferenciación y caracterización de la infraestructura hidroagrícola, padrón de usuarios y catastro, así como su integración en un Modelo de Sistema de Información Geográfica (SIG).

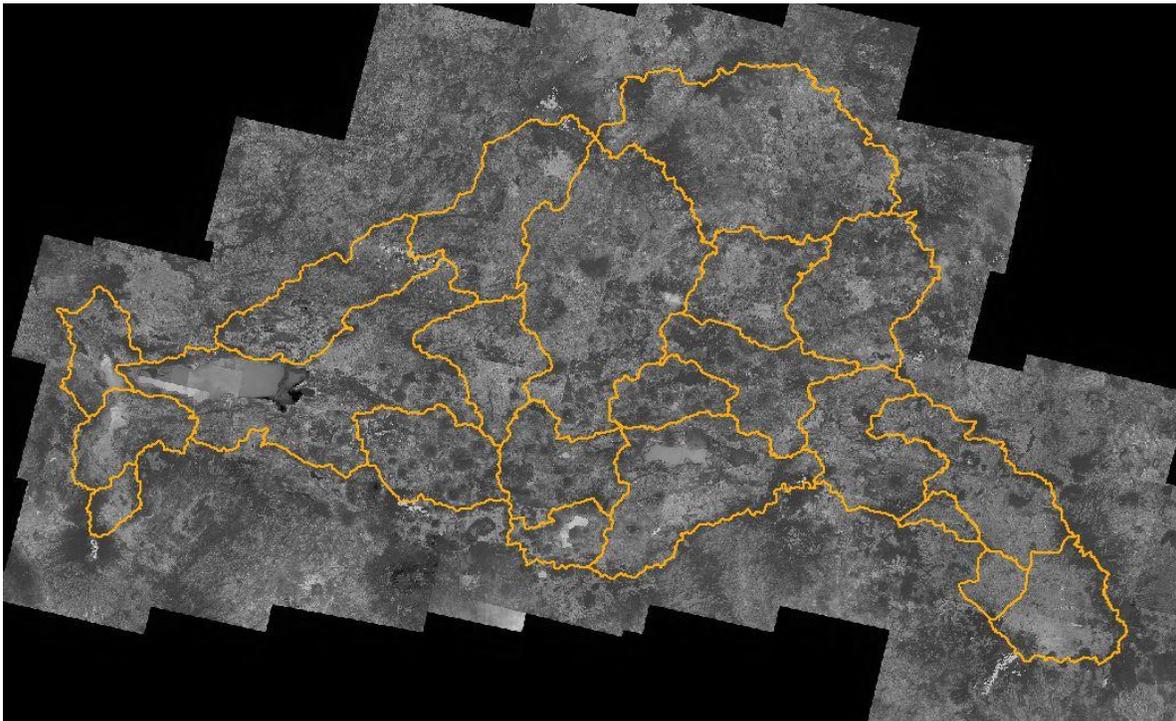
### **6.1. A nivel de cuenca**

Mediante el procesamiento (georreferenciación y ortorrectificación) de imágenes de satélite tipo SPOT para el año 2007, con una resolución de 2.5 metros, se realizó la fusión de dichas imágenes para generar una imagen completa y continua que cubre la Cuenca Lerma Chapala. Este mapa base de SPOT permitió tener un excelente control de calidad de los levantamientos en campo, ya que permite verificar el parcelamiento actual de las Unidades de Riego con aprovechamiento superficial.

Esta imagen fusionada SPOT se integró al Modelo de SIG de la Cuenca Lerma Chápala (Figura 6.1), este proceso se presenta en la Figura 6.2.



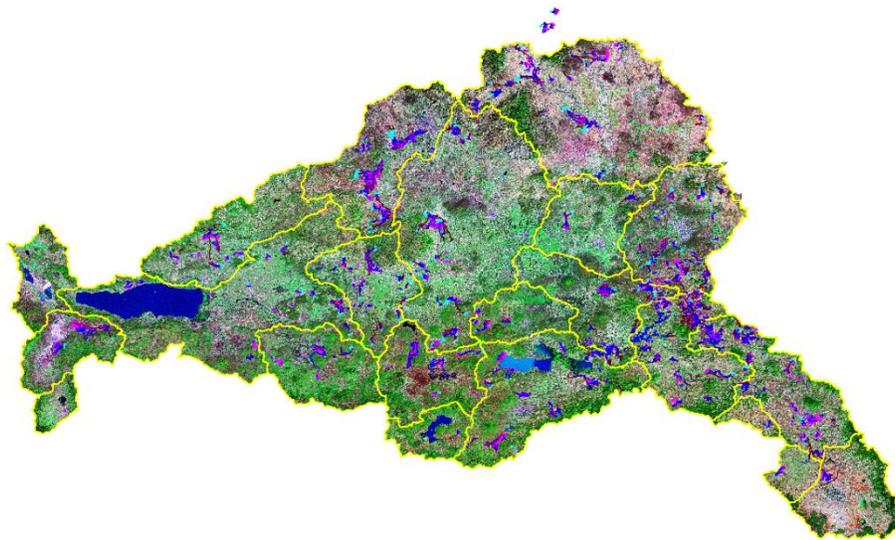
**Figura 6.1. Modelo de SIG de la Cuenca Lerma Chapala**



**Figura 6.2. Integración de Imágenes SPOT al Modelo de SIG de la Cuenca Lerma Chapala**

Se realizaron recorridos de campo y entrevistas directas a los usuarios de las Unidades de Riego con fuentes de abastecimiento de agua superficial para uso agrícola en la Cuenca LermaChapala.

En estos recorridos de campo se georreferenció cada componente de la infraestructura hidroagrícola (canales, canaletas, tuberías, válvulas, hidrantes, puntos de control, etc.), así como el catastro y el padrón de usuarios asociados al mismo de las Unidades de Riego analizadas. La información levantada en campo se integró con las imágenes SPOT, verificando puntos de control en campo mediante geoposicionadores globales. Los resultados obtenidos se transformaron en capas de información en formatos tipo shape-file (\*.shp) para ser integrados en el Modelo de Sistema de Información Geográfica de la Cuenca LermaChapala (Figura 6.3).



**Figura 6.3. Capas de Información de las Unidades de Riego con Aprovechamiento Superficial integradas al Modelo de SIG de la Cuenca Lerma Chapala**

Las capas de información vectorial generadas para las Unidades de Riego son: canales, caminos, drenes, estructuras, maquinaria y parcelas. Así mismo, se tienen fotografías ligadas del estado actual de la infraestructura hidroagrícola.

El resumen de la caracterización de la infraestructura hidroagrícola, así como del padrón de usuarios y catastro de las Unidades de Riego con fuentes de abastecimiento de agua superficial para uso agrícola en la Cuenca LermaChapala, permitieron obtener la información reportada en el Cuadro 6.1.

**Cuadro 6.1. Resumen de resultados en la Cuenca Lerma Chapala**

<i>Característica</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>
<i>Unidades de Riego</i>	<i>Número</i>	<i>1,364</i>
<i>Aprovechamientos</i>	<i>Número</i>	<i>1,815</i>
<i>Superficie catastrada</i>	<i>Hectáreas</i>	<i>114,975.26</i>
<i>Usuarios</i>	<i>Número</i>	<i>56,266</i>
<i>Parcela Media</i>	<i>Hectáreas</i>	<i>2.04</i>
<i>Longitud Red de Conducción</i>	<i>Kilómetros</i>	<i>3,435.867</i>
<i>Longitud Red de Drenaje</i>	<i>Kilómetros</i>	<i>2,643.313</i>
<i>Estructuras Hidroagrícolas</i>	<i>Número</i>	<i>34,965</i>
<i>Maquinaria</i>	<i>Número</i>	<i>9</i>

Es de suma importancia el remarcar que este resumen presentado en el Cuadro 6.1 constituye información actualizada y precisa de la infraestructura hidroagrícola, así como del padrón de usuarios y catastro de las Unidades de Riego con fuentes de abastecimiento de agua superficial. Así, se tiene una actualización a Diciembre de 2010, superando por mucho la información general que se reportaba en 1978 por la extinta SARH. El patrón de cultivos levantado en campo se presenta en el Cuadro 6.2.

**Cuadro 6.2. Patrón de cultivos en la Cuenca Lerma Chapala.**

	<i>CULTIVO</i>	<i>SUPERFICIE</i>	<i>PORCENTAJE</i>	<i>PORCENTAJE</i>
		<i>(HA)</i>	<i>(%)</i>	<i>ACUMULADO</i>
				<i>(%)</i>
1	Maíz	81,394.66	70.79	70.79
2	Sorgo	11,780.89	10.25	81.04
3	Trigo	9,588.18	8.34	89.38
4	Frijol	2,165.36	1.88	91.26
5	Alfalfa	2,133.91	1.86	93.12
6	Baldío	1,321.34	1.15	94.27
7	Chile	999.41	0.87	95.14
8	Hortalizas	741.51	0.64	95.78
9	Pasto	616.58	0.54	96.32
10	Avena	558.72	0.49	96.8
11	Lenteja	555.72	0.48	96.29
12	Garbanzo	539.13	0.47	97.76
13	Cebolla	376.71	0.33	98.08
14	Jitomate	233.93	0.2	98.29
15	Aguacate	226.63	0.2	98.48
16	Fresa	215.5	0.19	98.67
17	Ajo	200.48	0.17	98.85
18	Maíz amarillo	196.91	0.17	99.02
19	Col	167.69	0.15	99.16
20	Brócoli	162.42	0.14	99.3
21	Pino	152.31	0.13	99.44
22	Camote	148.9	0.13	99.57
23	Guayaba	119.87	0.1	99.67
24	Manzana	104.55	0.09	99.76
25	Calabacita	102.89	0.09	99.85
26	Esparrago	69.64	0.06	99.91
27	Pasto Forrajero	64.6	0.06	99.97
28	Agave	19.97	0.02	99.99
29	Cebada	8.45	0.01	99.99
30	Frutales	5.83	0.01	100
31	Arroz	2.59	0	100
	<b>Total</b>	<b>114,975.26</b>	<b>100</b>	

El Cuadro 6.2 indica que los 4 principales cultivos en la Cuenca son Maíz, Sorgo, Trigo y Frijol, representando más del 90 por ciento de la superficie cultivada en las Unidades de Riego analizadas. De estos cuatro cultivos, el Maíz, Sorgo y Frijol se cultivan en Primavera-Verano.

Mientras que muchos de los Distritos y Unidades de Riego en México se ubican en zonas áridas y semiáridas donde el agua de lluvia es en extremo escasa, y el agua de riego es imprescindible para la agricultura, en la Cuenca Lerma Chapala las lluvias juegan un papel importante en la producción agrícola al aportar una cantidad de agua considerable al requerimiento de los cultivos, particularmente en el ciclo de Primavera-Verano.

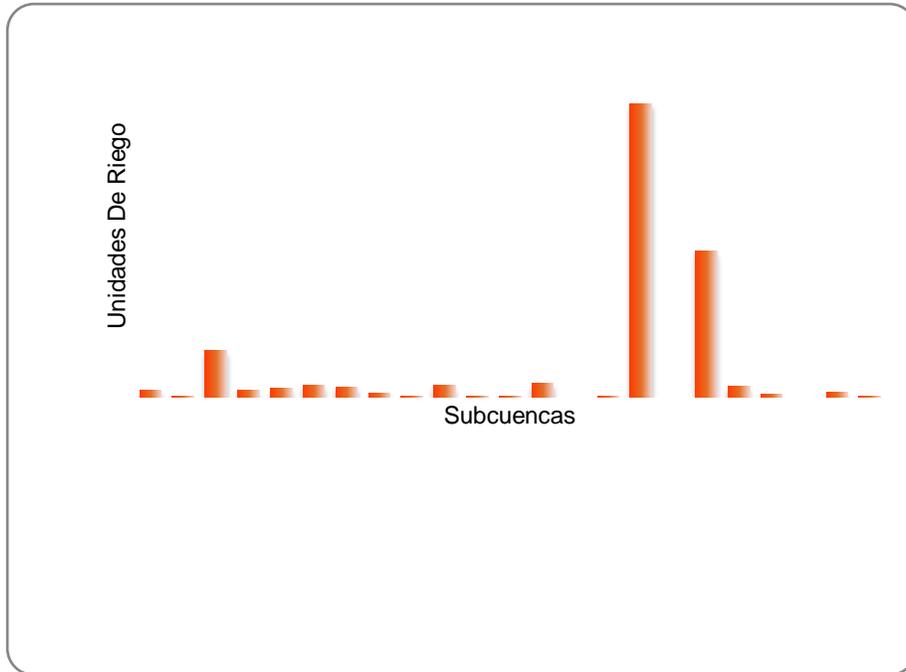
Así, es necesario remarcar que más del 90% de los usuarios de las Unidades de Riego con fuente de agua superficial optan por asegurar cultivos de Primavera-Verano con una lámina de riego reducida en comparación a la requerida en cultivos de Otoño-Invierno.

## **6.2. A nivel de subcuenca**

De la información recopilada e incorporada en el Modelo de Sistema de Información Geográfica de la Cuenca Lerma-Chapala se desarrollo el análisis y cuantificación de unidades de riego e infraestructura hidroagrícola a nivel de cada una de las 22 subcuencas. Para lo anterior se presentan el Cuadro 6.2.A. con información a nivel de subcuenca:

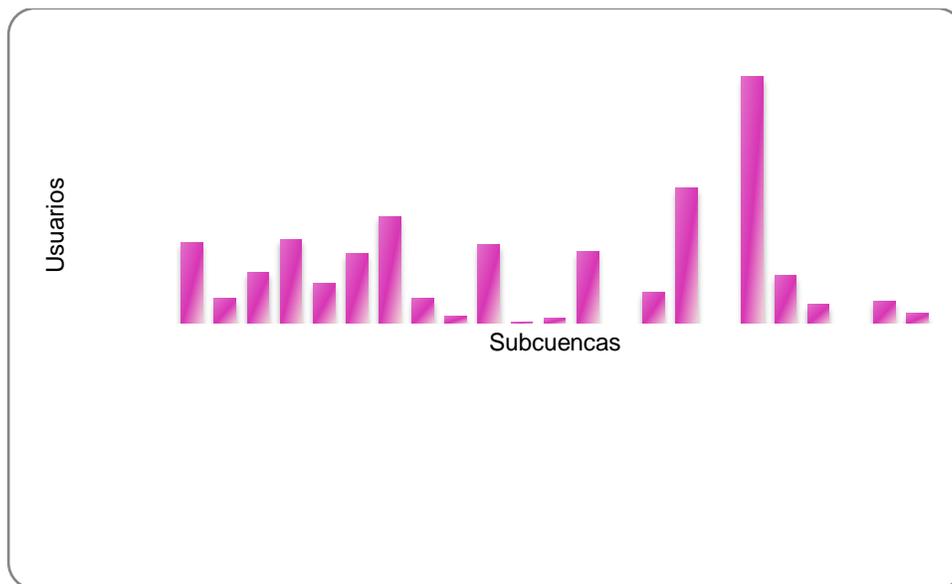
**Cuadro 6.2.A. Resultados por subcuenca**

No.	Subcuenca	Unidades de riego	No. Usuarios.	Superficie (ha)	Numero de Aprovechamientos	Red de Canales (km)	Red de Drenaje (km)	Estructuras (Piezas)
1	ALTO TURBIO	16	3,920	14,633.20	24	337.554	199.879	2,891
2	ALZATE	3	1,200	1,102.30	14	44.759	36.458	640
3	AMACHE	109	2,488	8,149.44	131	274.485	243.846	2273
4	ANGULO	15	4,054	4,567.21	24	116.651	62.537	1,636
5	CHAPALA	20	1,955	4,522.36	23	107.454	56.625	1,081
6	CORRALES	27	3,400	9,267.26	28	250.927	229.175	2,578
7	CUITZEO	24	5,174	9,250.83	73	289.540	193.998	2,617
8	DUERO	10	1,201	2,938.26	11	74.899	27.177	469
9	I. RAMÍREZ	1	377	521.00	1	21.691	0.000	175
10	LA BEGOÑA	27	3,825	8,796.60	55	294.490	303.832	2,170
11	PÁTZCUARO	1	88	134.04	1	11.149	1.113	0
12	PERICOS	2	259	1,083.06	3	48.588	55.499	300
13	SALAMANCA	33	3,492	6,973.98	40	293.202	183.845	2,473
14	SAN MARCOS	0	0	0.00	0	0.000	0.000	0
15	SAYULA	3	1,518	5,186.31	5	112.428	59.781	1,084
16	SOLÍS	685	6,548	11,001.81	866	386.198	472.494	5,243
17	TEPATITLÁN	0	0	0.00	0	0.000	0.000	0
18	TEPUXTEPEC	341	11,935	12,855.94	450	399.277	266.270	5,885
19	YURECUARO	26	2,344	6,176.62	26	184.274	138.483	1,604
20	YURIRIA	7	912	1,995.84	23	51.572	34.466	606
21	ZAPOTLAN	0	0	0.00	0	0.000	0.000	0
22	ZULA	12	1,094	4,500.52	14	92.042	52.212	820
23	FUERA DE LIMITE	2	482	1,318.69	3	44.687	16.623	420
<b>Total</b>		<b>1,364</b>	<b>56,266</b>	<b>114,975.26</b>	<b>1,815</b>	<b>3,435.867</b>	<b>2,634.313</b>	<b>34,965</b>



**Figura 6.4. Distribución de Unidades de Riego por subcuenca**

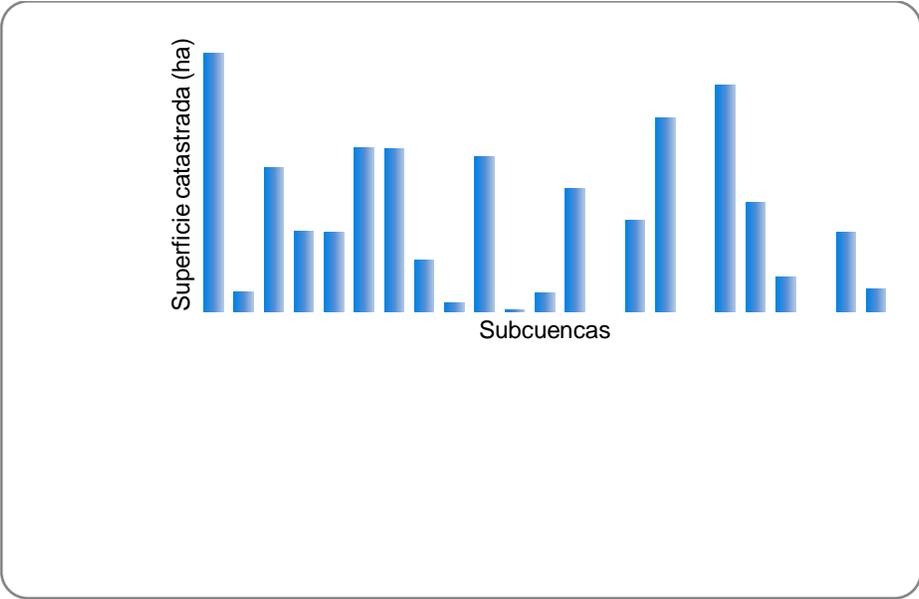
Respecto al número de usuarios de unidades de riego en las subcuencas, se presenta la Figura 6.5.



**Figura 6.5. Usuarios de Unidades de Riego por subcuenca**

La figura anterior muestra que la mayor concentración de usuarios de unidades de riego, se ubica en la subcuenca Tepuxtepec, seguida Solís y Cuitzeo, cubriendo entre ellas el 43% de los usuarios de la Cuenca Lerma – Chapala.

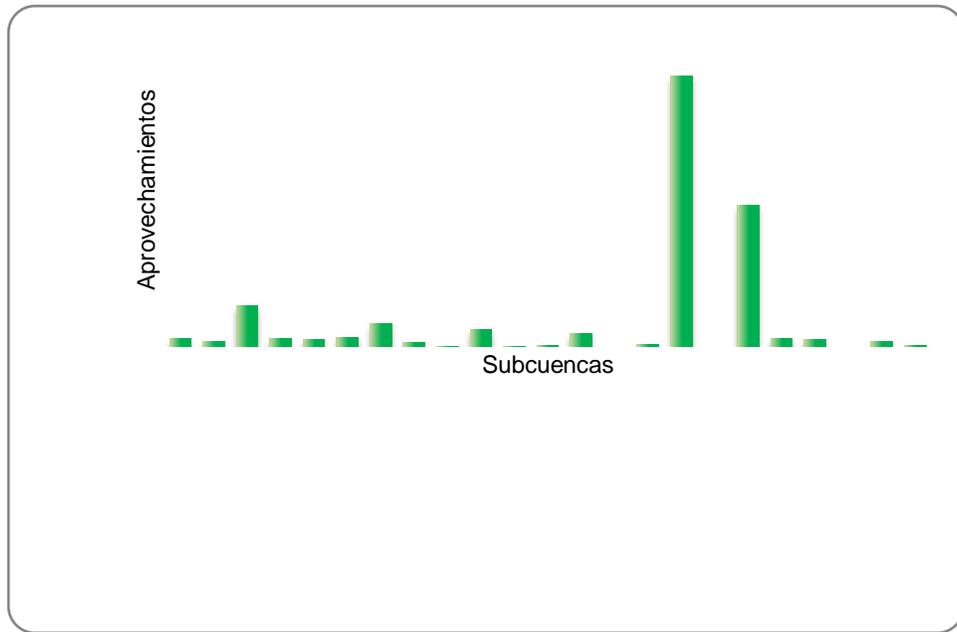
La distribución de superficie por subcuenca se presenta en la Figura 6.6.



**Figura 6.6. Superficie catastrada en Unidades de Riego por subcuenca**

Como se aprecia en la figura anterior, que entre cinco subcuencas: Alto Turbio, Tepuxtepec, Solís, Cuitzeo, Corrales y La Begoña se incluye el 57% de la superficie catastrada en unidades de riego de la Cuenca Lerma-Chapala.

Finalmente, el número de aprovechamientos superficiales que abastecen de agua a las unidades de riego mencionadas, se presenta en la Figura 6.7.



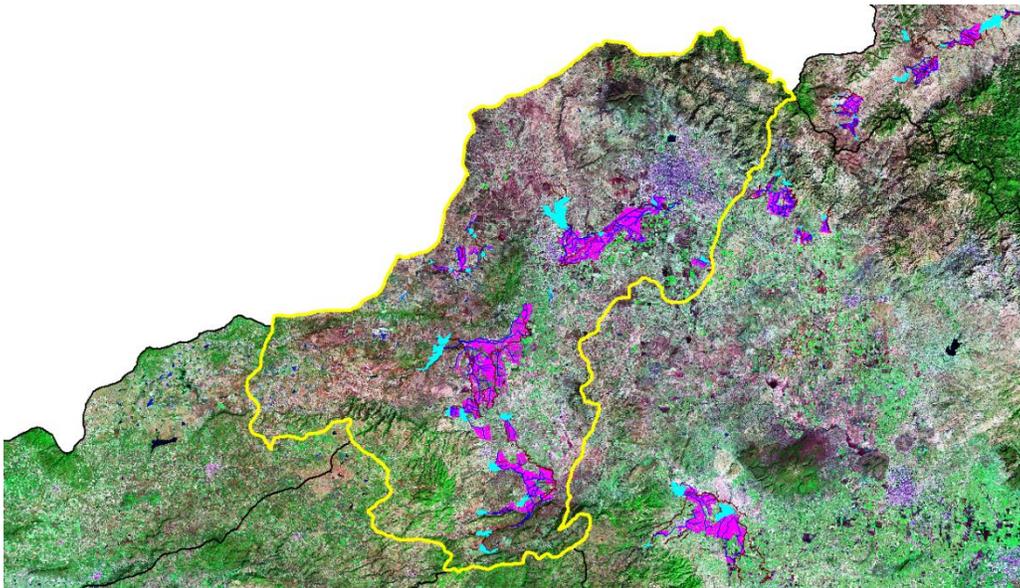
**Figura 6.7. Numero de aprovechamientos superficiales para uso agrícola por subcuenca**

Como se aprecia en la figura anterior, la mayor cantidad de aprovechamientos superficiales para agua de riego, se concentra en dos subcuencas: Solís y Tepuxtepec.

### 6.3. Resultados particulares por subcuenca.

#### *Subcuenca Alto Turbio*

En la Subcuenca Alto Turbio se caracterizaron y georreferenciaron 16 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.8.



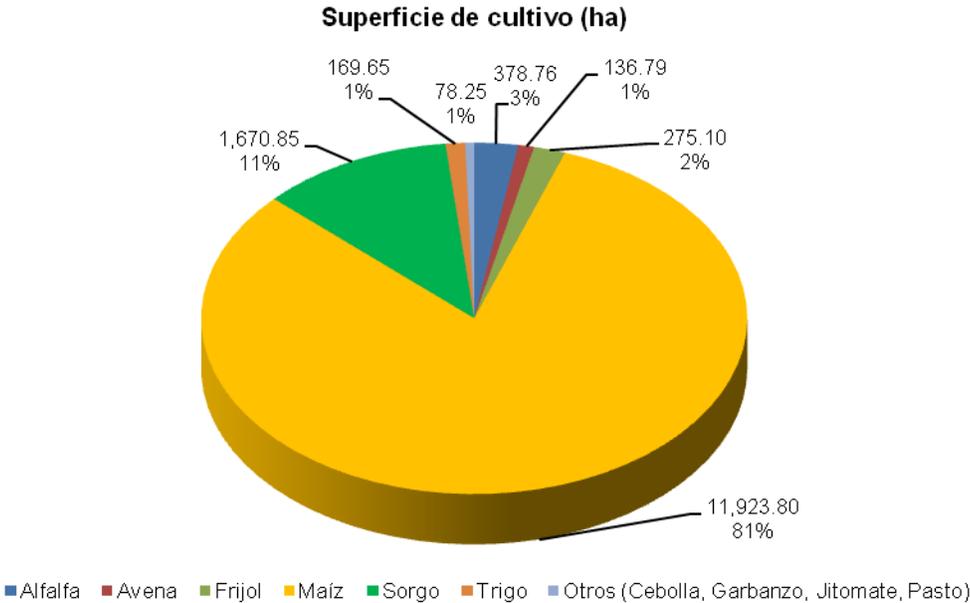
**Figura 6.8. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Alto Turbio**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar tanto infraestructura, como padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Alto Turbio, Cuadro 6.3.

**Cuadro 6.3 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Alto Turbio**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
ALTO TURBIO	16	3,920	14,633.20	24	337.554	199.879	2,891

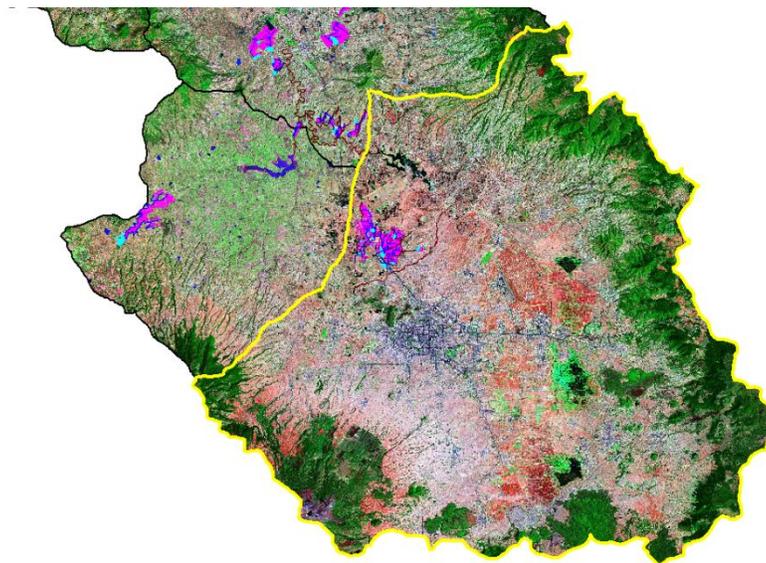
Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Alto Turbio. Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos (Figura 6.9), donde se observa que los cultivos predominantes en la subcuenca son el maíz y sorgo, con 81 y 11 % respectivamente.



**Figura 6.9. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Alto Turbio**

## Subcuenca Álzate

En la Subcuenca Álzate se caracterizaron y georreferenciaron 3 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.10.



**Figura 6.10. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Álzate**

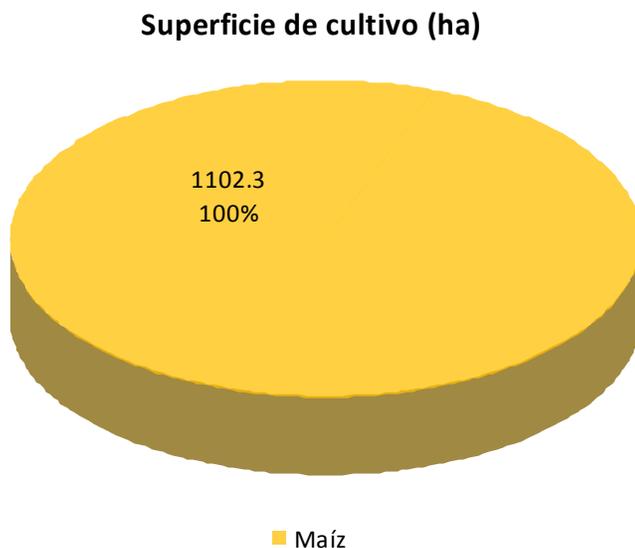
Las capas vectoriales de información permiten cuantificar infraestructura, padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Álzate, Cuadro 6.4.

**Cuadro 6.4 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Álzate**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
ALZATE	3	1,200	1,102.300	14	44.759	36.458	640

Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Álzate.

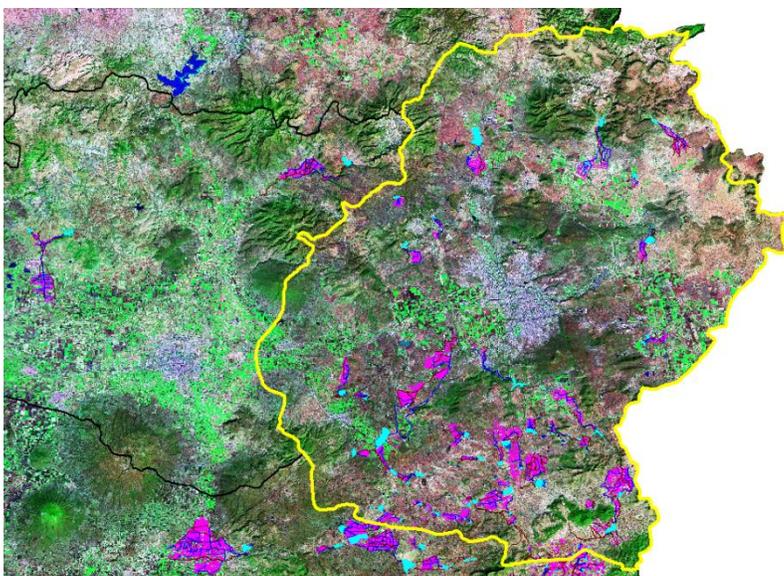
Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos (Figura 6.11), donde se observa que el maíz es el único cultivo en la subcuenca.



**Figura 6.11. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Ázate**

### ***Subcuenca Ameche***

En la Subcuenca Ameche se caracterizaron y georreferenciaron 109 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.12.



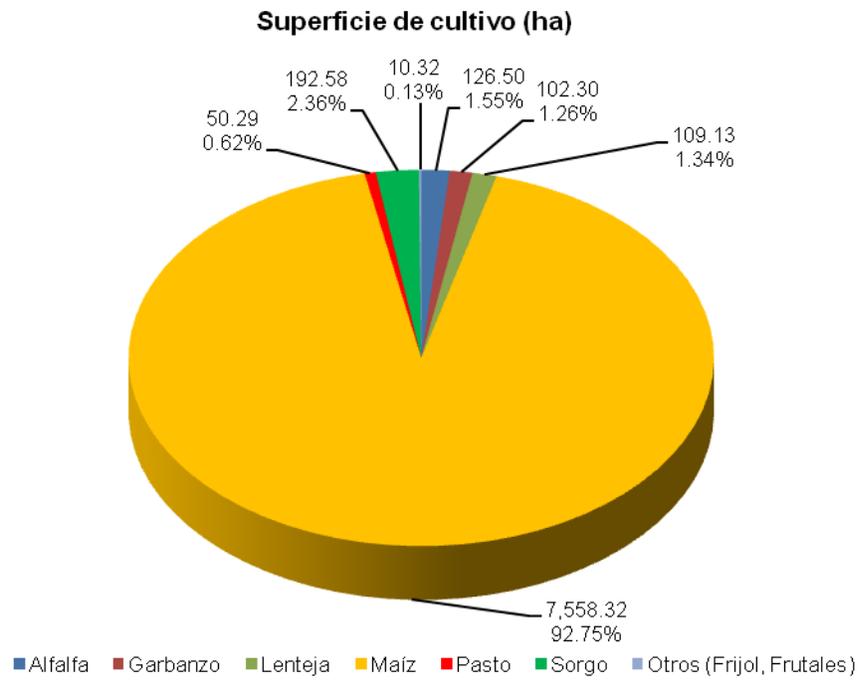
**Figura 6.12. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Ameche**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar tanto infraestructura como padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Ameche, Cuadro 6.5.

**Cuadro 6.5 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Ameche**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
AMECHE	109	2,488	8,149.44	131	274.485	243.846	2,273

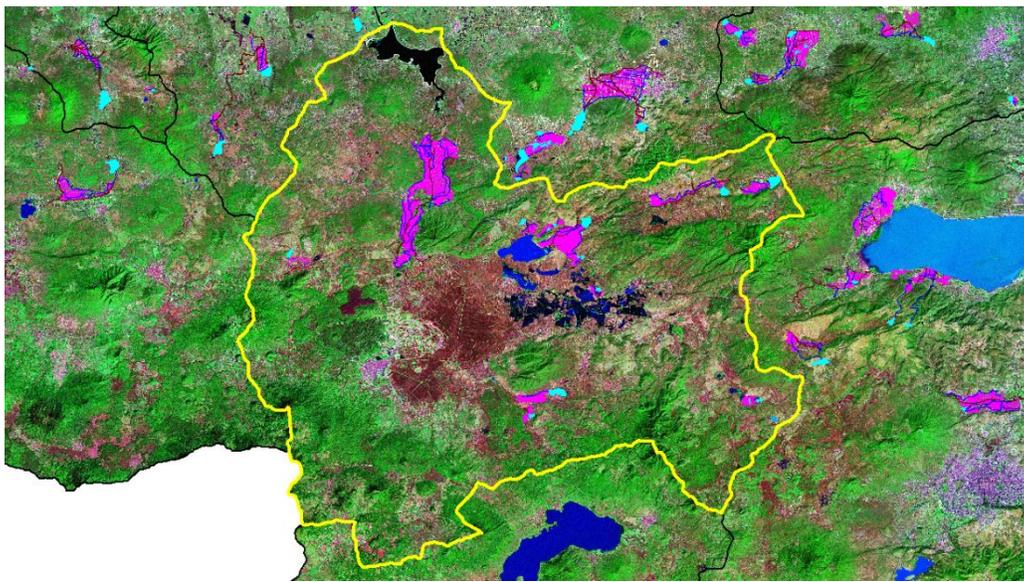
Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Ameche. Adicionalmente, se incluye información correspondiente al padrón de cultivos (Figura 6.13), se observa que el cultivo dominante es el maíz con 92.75 % y cada uno de los restantes no superan el 2.36%.



**Figura 6.13. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Ameche**

### **Subcuenca Angulo**

En la Subcuenca Angulo se caracterizaron y georreferenciaron 15 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.14.



**Figura 6.14. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Angulo**

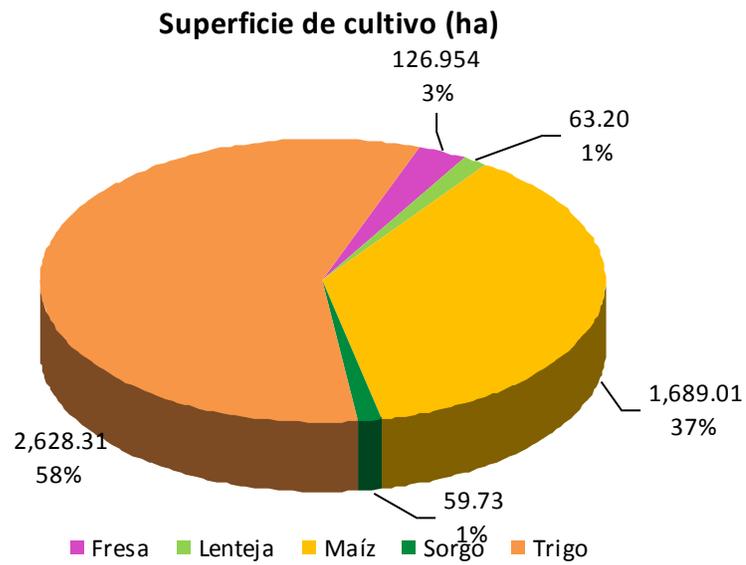
Las capas vectoriales de información permiten cuantificar infraestructura, padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Angulo, Cuadro 6.7.

**Cuadro 6.7. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Angulo**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
ANGULO	15	4,054	4,567.209	24	116.651	62.537	1,636

Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Angulo.

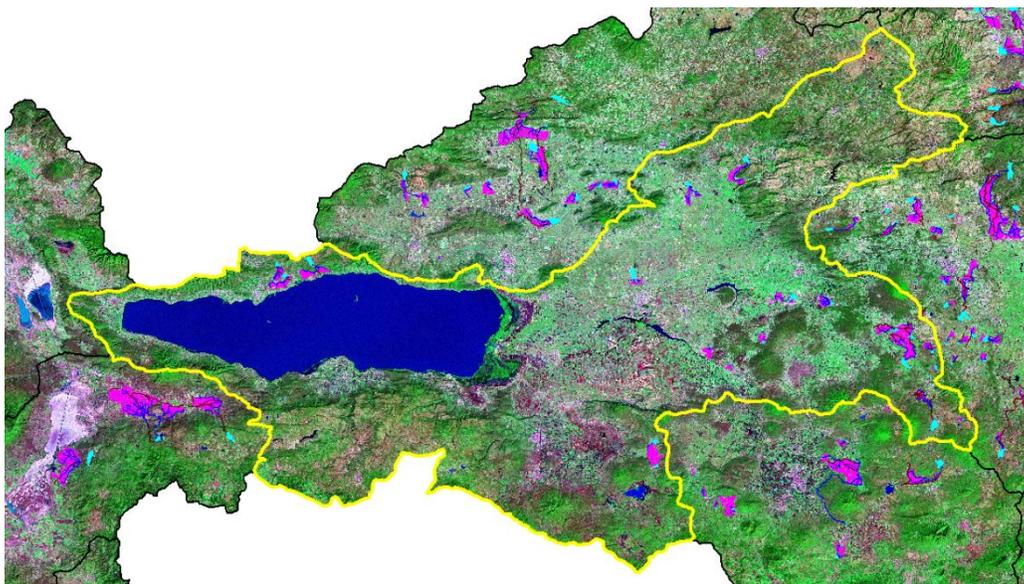
Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos (Figura 6.15), en la que el Trigo presenta la mayor superficie en la subcuenca con 58%, seguido del Maíz con 37%.



**Figura 6.15. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Angulo**

## Subcuenca Chapala

En la Subcuenca Chápala se caracterizaron y georreferenciaron 20 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.16.



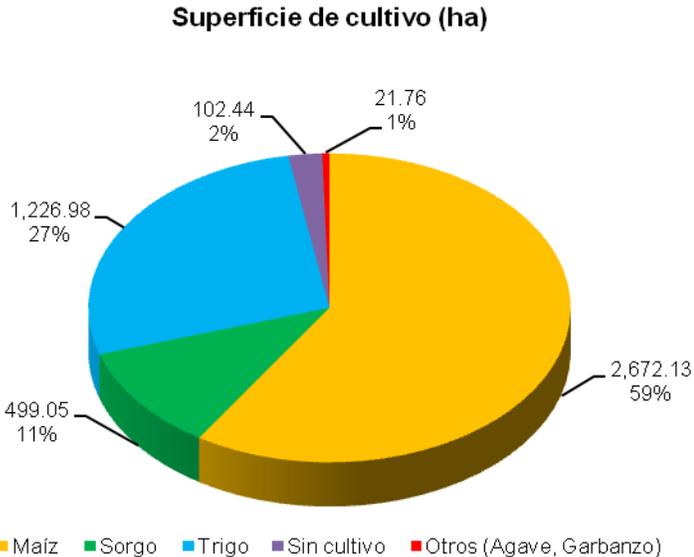
**Figura 6.16. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Chapala**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar tanto infraestructura como padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Chapala, Cuadro 6.7.

**Cuadro 6.7. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Chapala**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
CHAPALA	20	1,955	4,522.36	23	107.454	56.625	1,081

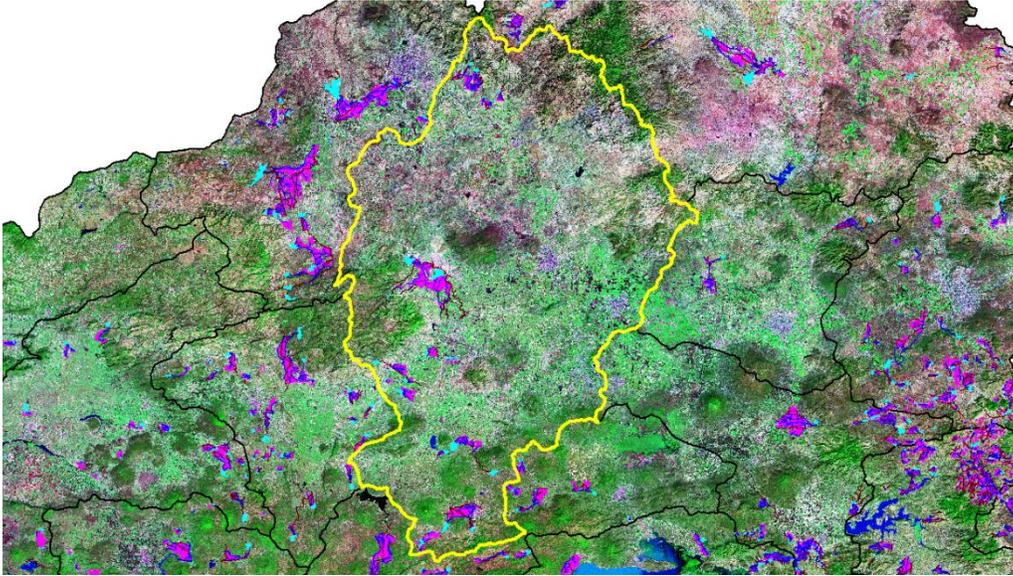
Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Chapala. Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos (Figura 6.17). En este caso las mayores superficies las presentan el Maíz, el Trigo y Sorgo con 59, 27 y 11 %, respectivamente.



**Figura 6.17. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Chapala**

### **Subcuenca Corrales**

En la Subcuenca Corrales se caracterizaron y georreferenciaron 27 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.18.



**Figura 6.18. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Corrales**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar infraestructura, padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Corrales, Cuadro 6.8.

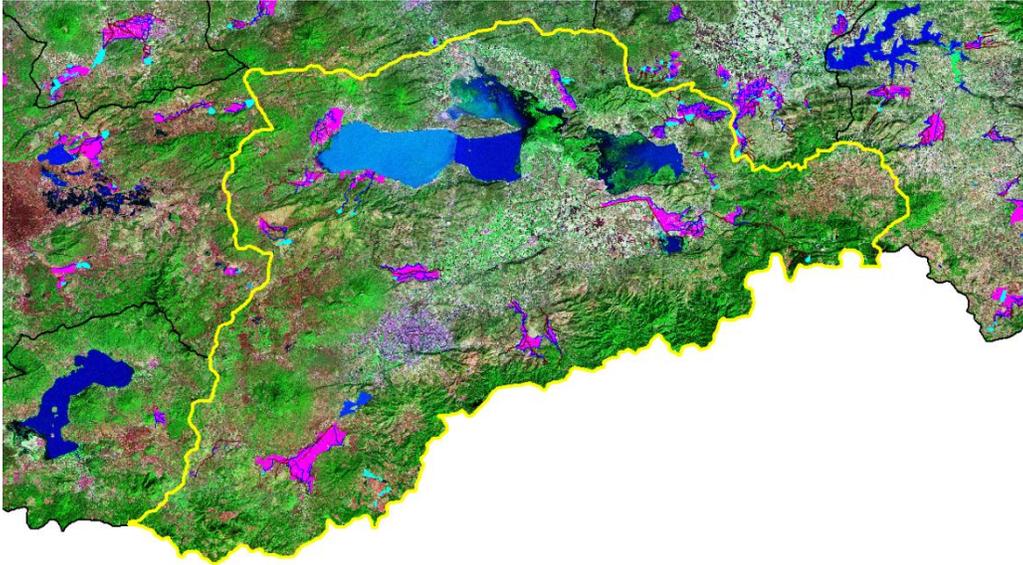
**Cuadro 6.8. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Corrales**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
CORRALES	27	3,400	9,267.27	28	250.927	229.175	2,578



### **Subcuenca Cuitzeo**

En la Subcuenca Cuitzeo se caracterizaron y georreferenciaron 24 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.20.



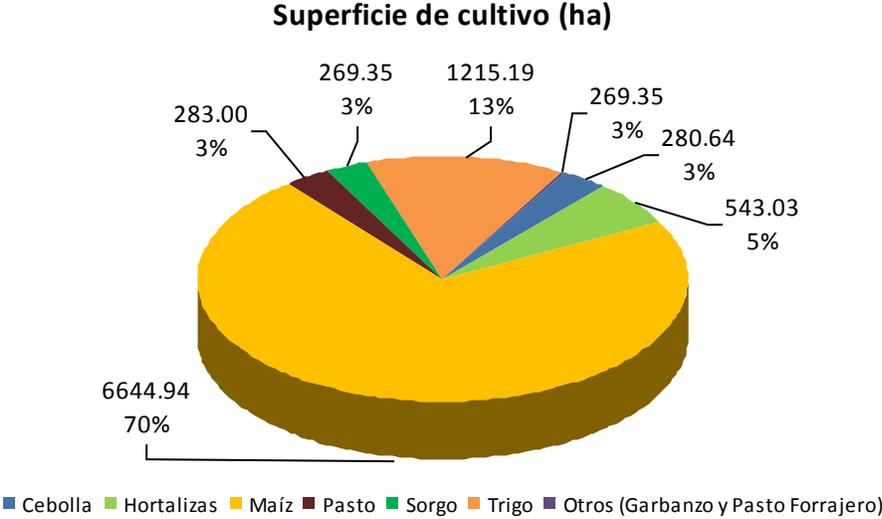
**Figura 6.20. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Cuitzeo.**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar tanto infraestructura como padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Cuitzeo, Cuadro 6.9.

**Cuadro 6.9. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Cuitzeo.**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
CUITZEO	24	5,174	9,250.833	73	289.540	193.998	2,617

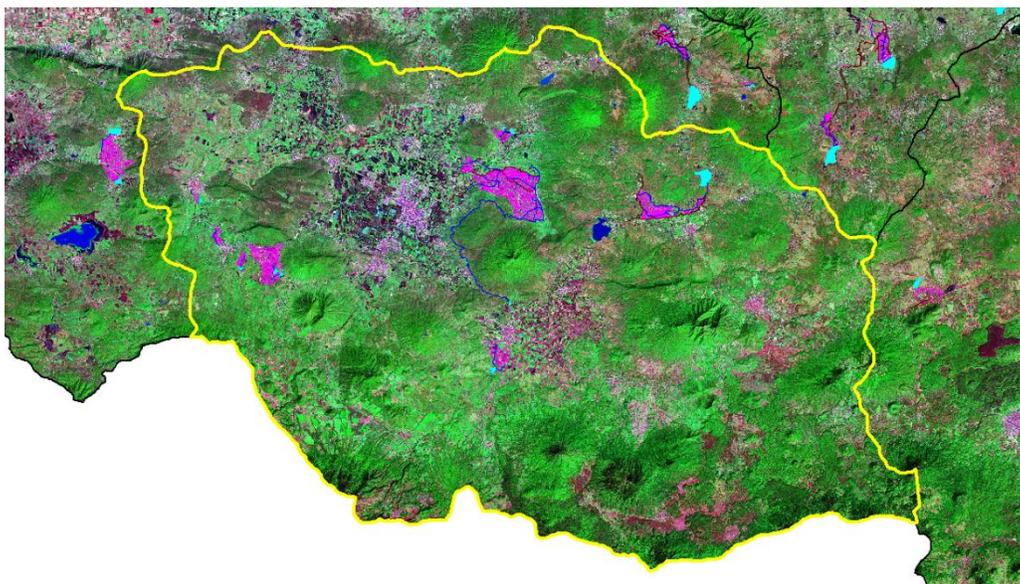
Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Cuitzeo. Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos (Figura 6.21), Se aprecia que el cultivo predominante en la subcuenca es el maíz con 70% y el trigo con 13%.



**Figura 6.21. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Cuitzeo.**

## Subcuenca Duero

En la Subcuenca Duero se caracterizaron y georreferenciaron 10 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.22.



**Figura 6.22. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Duero**

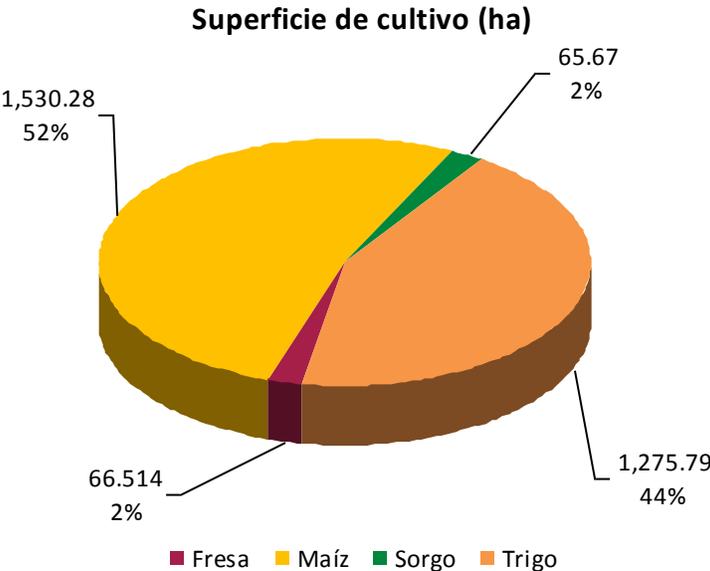
Las capas vectoriales de información permiten cuantificar tanto infraestructura como padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Duero, Cuadro 6.10.

**Cuadro 6.10 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Duero**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
DUERO	10	1,201	2,938.255	11	74.899	27.177	469

Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Duero.

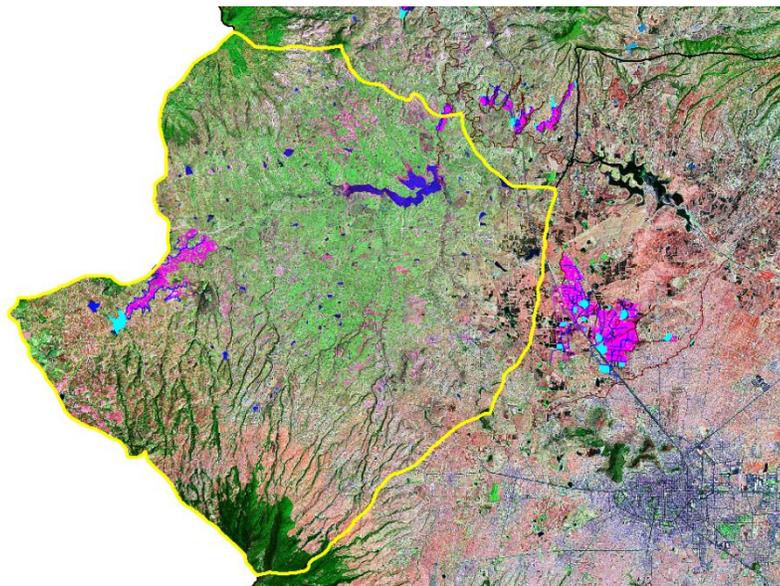
Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos, (Figura 6.23), en ello se observa que los cultivos predominantes son el maíz con 52% y el trigo con 44%.



**Figura 6.23. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Duero.**

### **Subcuenca I. Ramírez**

En la Subcuenca I. Ramírez se caracterizaron y georreferenciaron 1 unidad de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.24.



**Figura 6.24. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca I. Ramírez.**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar infraestructura, padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la Subcuenca I. Ramírez, Cuadro 6.11.

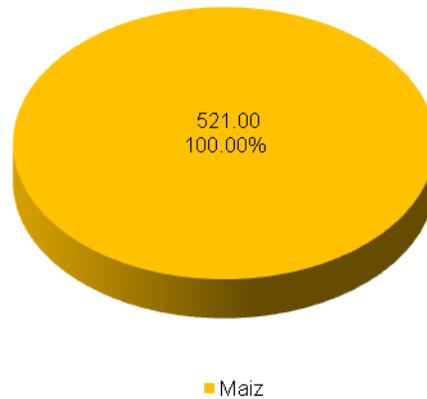
**Cuadro 6.11. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca I. Ramírez**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
I. Ramírez	1	377	521.00	1	21.691	0	175

Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca I.

Ramírez. Adicionalmente en Figura 6.25, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos, en ella se ilustra que el cultivo de maíz domina en su totalidad.

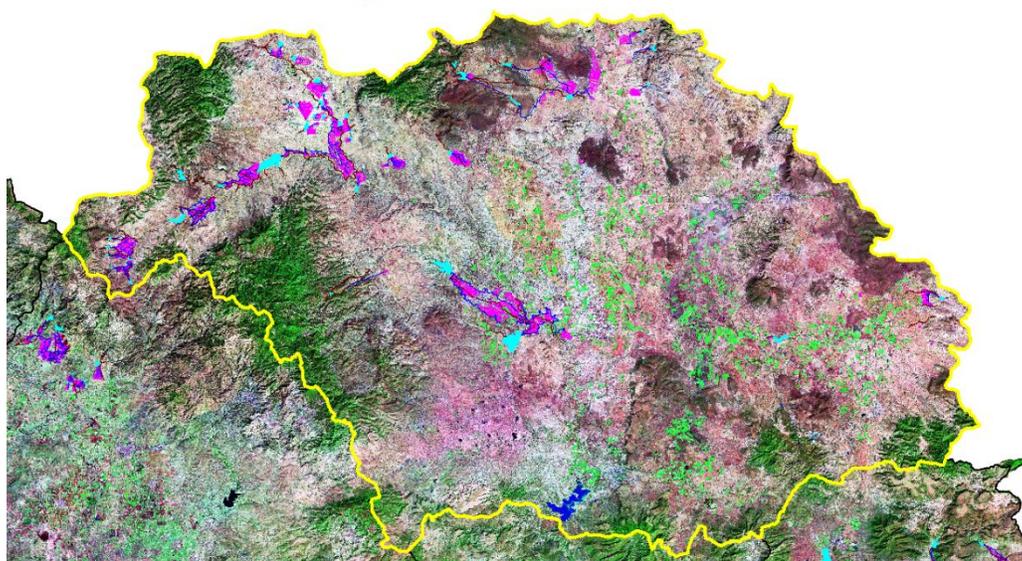
### Superficie de Cultivo (ha)



**Figura 6.25. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca. Ramírez.**

### **Subcuenca La Begoña**

En la Subcuenca La Begoña se caracterizaron y georreferenciaron 27 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.26.



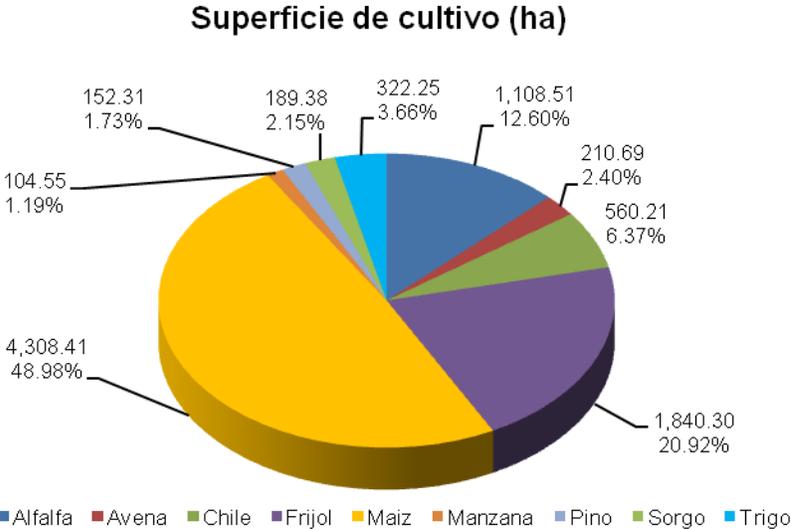
**Figura 6.26. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca La Begoña.**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar infraestructura, padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca La Begoña, Cuadro 6.12.

**Cuadro 6.12 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca La Begoña**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
LA BEGOÑA	27	3,825	8,796.60	55	294.490	303.832	2,170

Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca La Begoña. Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos, en Figura 6.27 se muestra que la superficie con mayor área cultivada es el Maíz y Frijol con 48.98 y 20.92% respectivamente.



**Figura 6.27. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca La Begoña.**

## Subcuenca Pátzcuaro

En la Subcuenca Pátzcuaro se caracterizaron y georreferenciaron 1 unidad de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.28.



**Figura 6.28. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Pátzcuaro.**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar infraestructura, padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Pátzcuaro, Cuadro 6.13.

**Cuadro 6.13. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Pátzcuaro**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
PÁTZCUARO	1	88	134.039	1	11.149	1.113	0

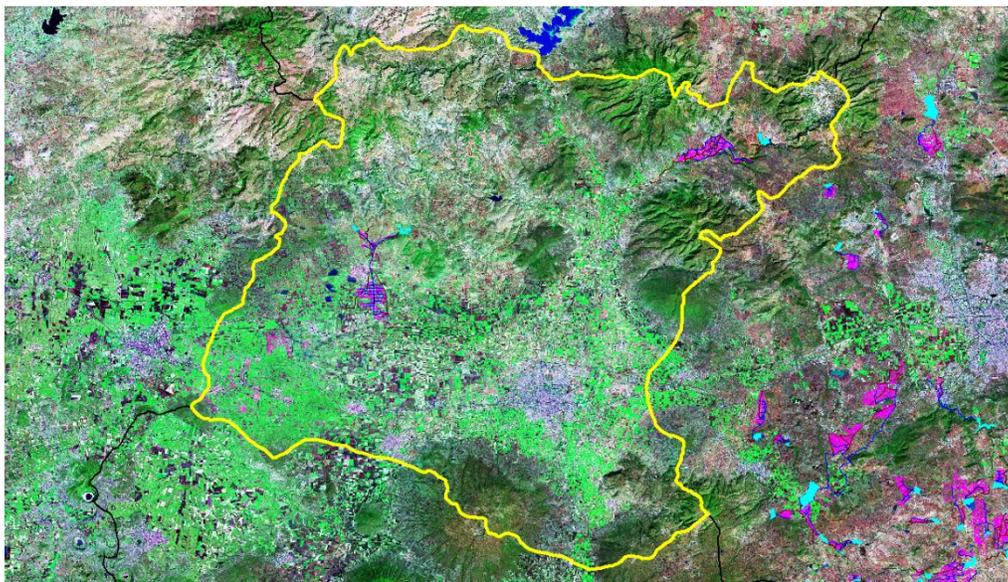
Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Pátzcuaro. Adicionalmente en Figura 6.29, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos, en ella se ilustra que el cultivo de maíz domina en su totalidad.



**Figura 6.29. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Pátzcuaro.**

### **Análisis de resultados de la Subcuenca Pericos**

En la Subcuenca Pericosse caracterizaron y georreferenciaron 2 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.30.



**Figura 6.30. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Pericos.**

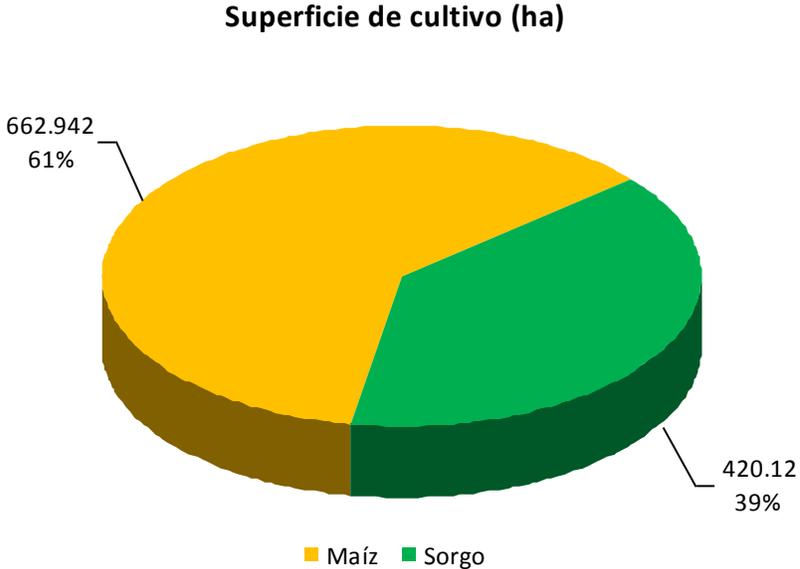
Las capas vectoriales de información permiten cuantificar tanto infraestructura como padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Pericos, Cuadro 6.14.

**Cuadro 6.14. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Pericos**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
PERICOS	2	259	1,083.064	3	48.588	55.499	300

Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Pericos.

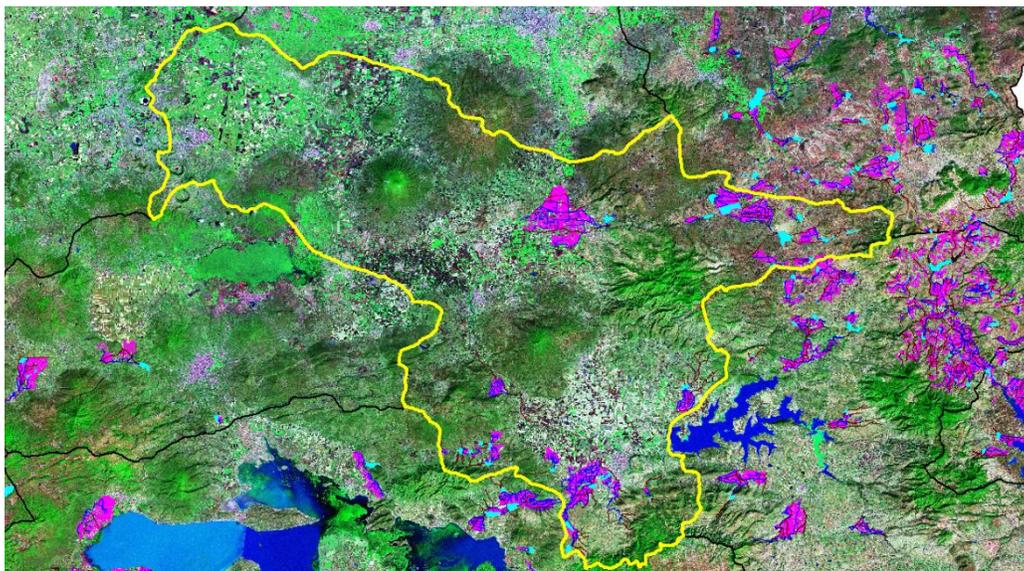
Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos como se muestra en la Figura 6.31, observándose que los cultivos que con mayor presencia en la subcuenca son el maíz y sorgo con 61 y 39%, respectivamente.



**Figura 6.31. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Pericos.**

### **Subcuenca Salamanca**

En la Subcuenca Salamancase caracterizaron y georreferenciaron 33 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.32.



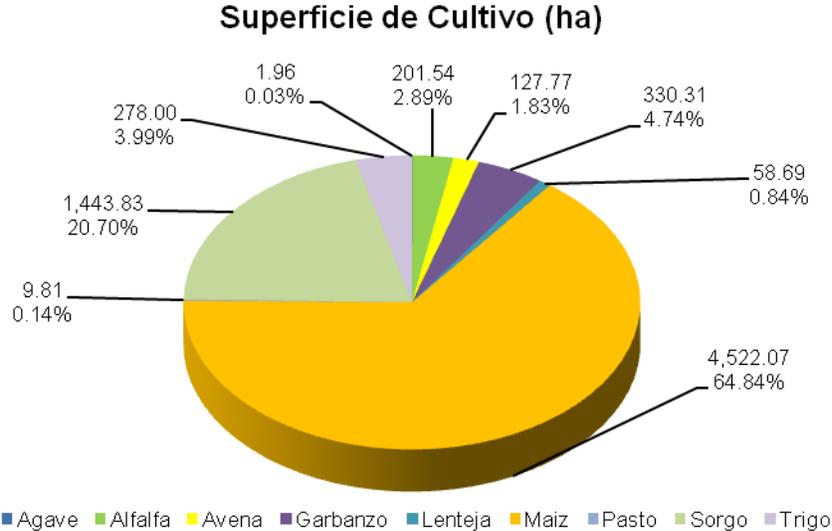
**Figura 6.32. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Salamanca.**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar infraestructura, padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Salamanca, Cuadro 6.15.

**Cuadro 6.15 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Salamanca**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
SALAMANCA	33	3,492	6,973.98	40	293.202	183.845	2,473

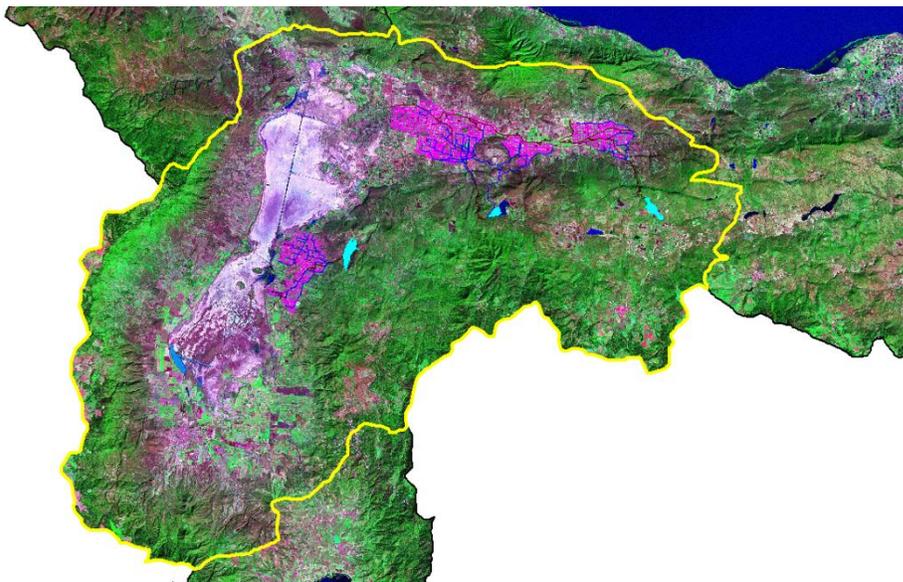
Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Salamanca. Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos en la cual se observa que del total de la subcuenca el 64.84% se cultiva maíz, seguido del sorgo con 20.70% como ilustra en la Figura 6.33.



**Figura 6.33. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Salamanca.**

### Subcuenca Sayula

En la Subcuenca Sayula se caracterizaron y georreferenciaron 3 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.34.



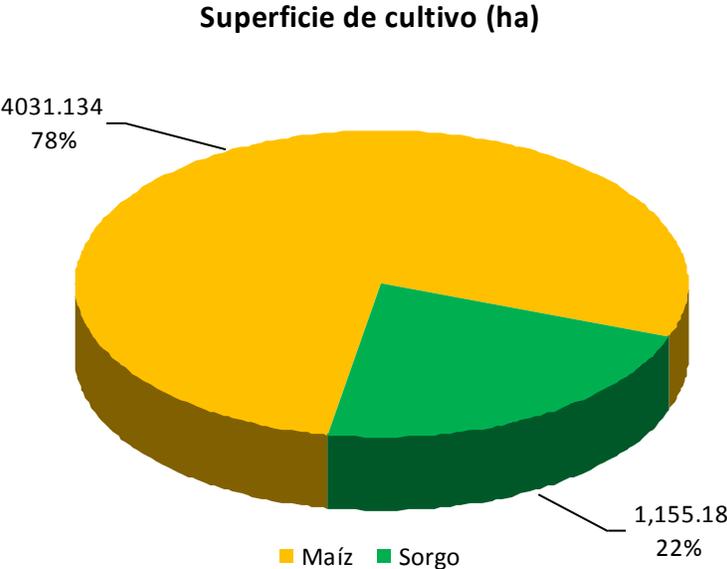
**Figura 6.34. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Sayula.**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar tanto infraestructura como padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Sayula, Cuadro 6.16. Adicionalmente, en el Anexo de Resultados por Subcuenca se presentan la información a nivel de unidad de riego.

**Cuadro 6.16. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Sayula**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
SAYULA	3	1,518	5,186.314	5	112.428	59.781	1,084

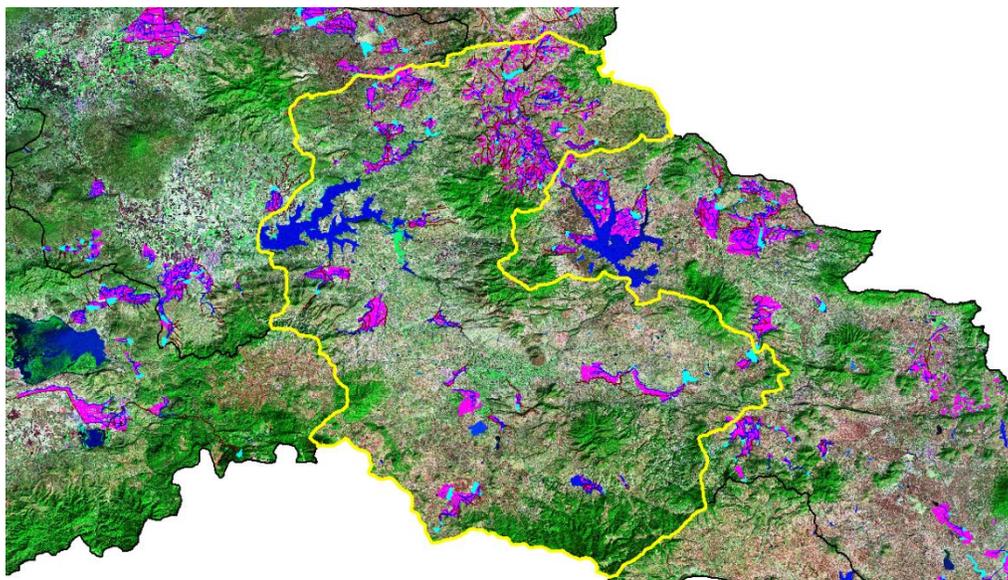
Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Sayula. Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos dominando maíz y sorgo con 78 y 22% como se presenta en la Figura 6.35.



**Figura 6.35. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Sayula.**

### **Subcuenca Solís**

En la Subcuenca Solís se caracterizaron y georreferenciaron 685 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.36.



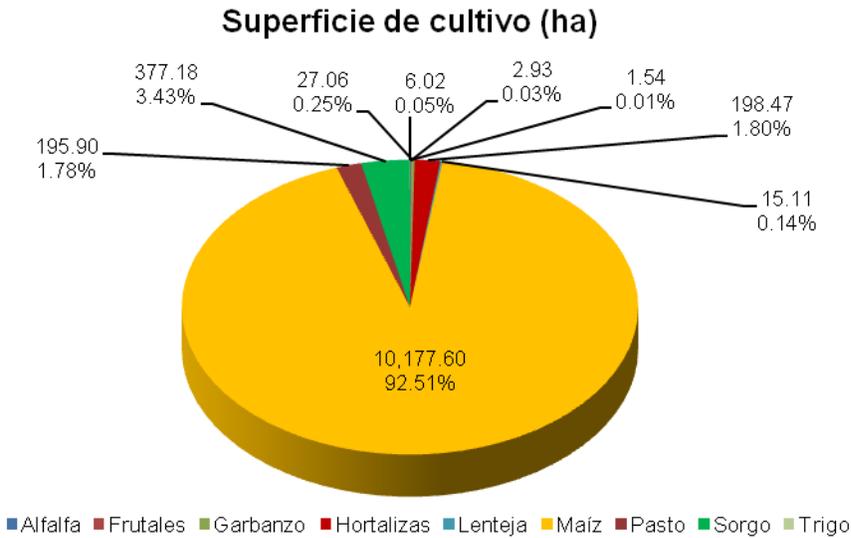
**Figura 6.36. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Solís.**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar tanto infraestructura como padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Solís, Cuadro 6.17.

**Cuadro 6.17 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Solís**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
SOLIS	685	6,548	11,001.81	866	386.198	472.494	5,243

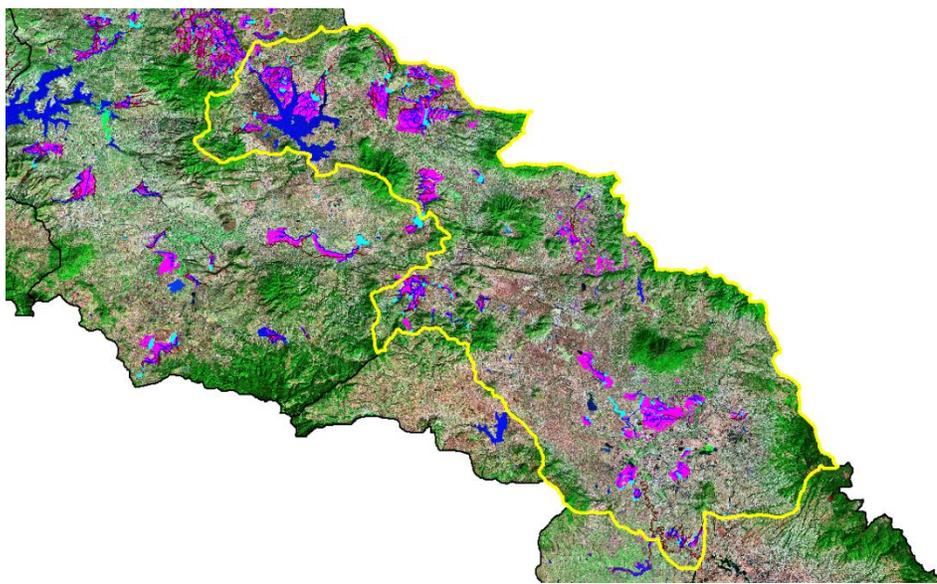
Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Solís. Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos (Figura 6.37), mostrándose que el cultivo de maíz cuenta con la mayor parte de la superficie sembrada en la subcuenca ocupando el 92.51%.



**Figura 6.37. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Solís.**

### **Subcuenca Tepuxtepec**

En la Subcuenca Tepuxtepecse caracterizaron y georreferenciaron 341 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.38.



**Figura 6.38. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Tepuxtepec.**

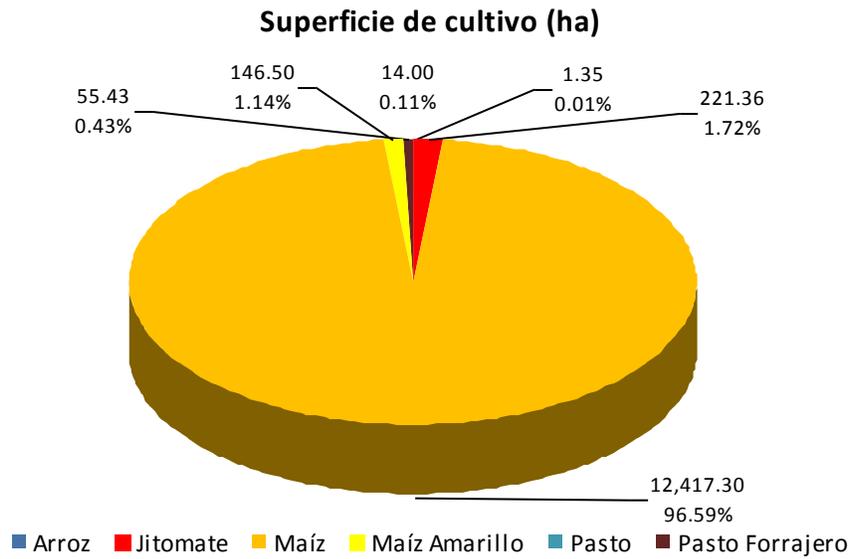
Las capas vectoriales de información permiten cuantificar infraestructura, padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Tepuxtepec, Cuadro 6.18.

**Cuadro 6.18 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Tepuxtepec**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
TEPUXTEPEC	341	11,935	12,855.943	450	399.277	266.270	5,885

Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Tepuxtepec. Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de

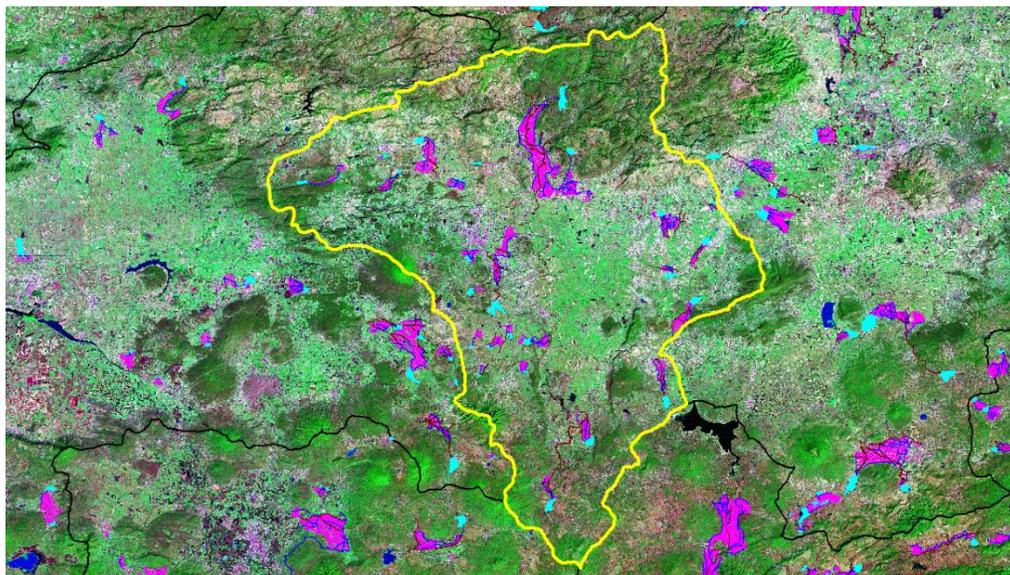
cultivos (Figura 6.39), como en la mayoría de las subcuencas, el cultivo predominante para este caso es el maíz con el 96.59%.



**Figura 6.39. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Tepuxtepec.**

### **Subcuenca Yurécuaro**

En la Subcuenca Yurécuaro se caracterizaron y georreferenciaron 26 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.40.



**Figura 6.40. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Yurécuaro.**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar infraestructura, padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Yurécuaro, Cuadro 6.19.

**Cuadro 6.19 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Yurécuaro**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
YURÉCUARO	26	2,344	6,176.616	26	184.274	138.483	1,604

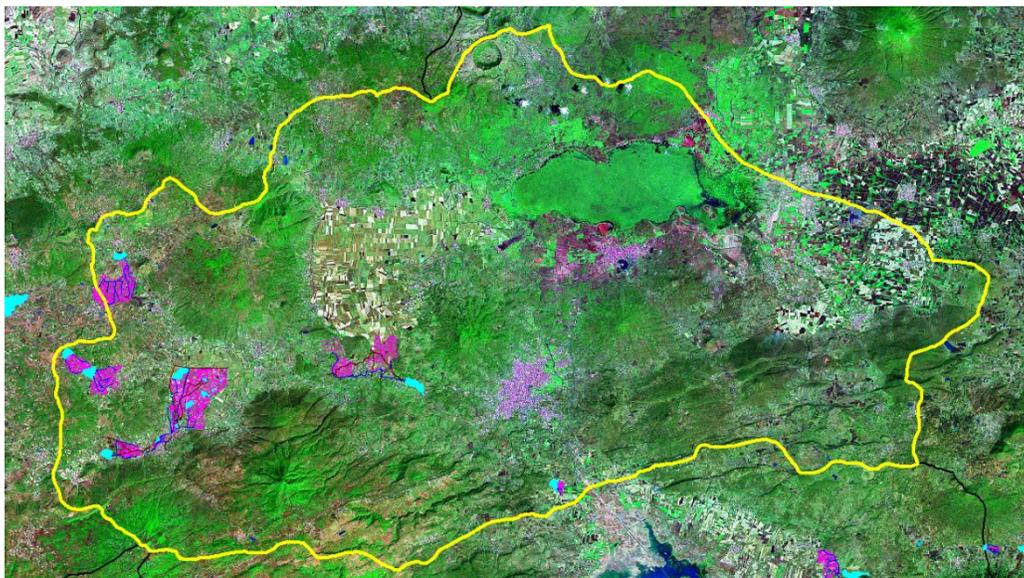
Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Yurécuaro. Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos, Figura 6.41, en esta subcuenca los cultivos predominantes son el maíz y sorgo con el 53.5 y 42.0%, respectivamente.



**Figura 6.41. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Yurécuaro.**

## Subcuenca Yuriria

En la Subcuenca Yuririase caracterizaron y georreferenciaron 7 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.42.



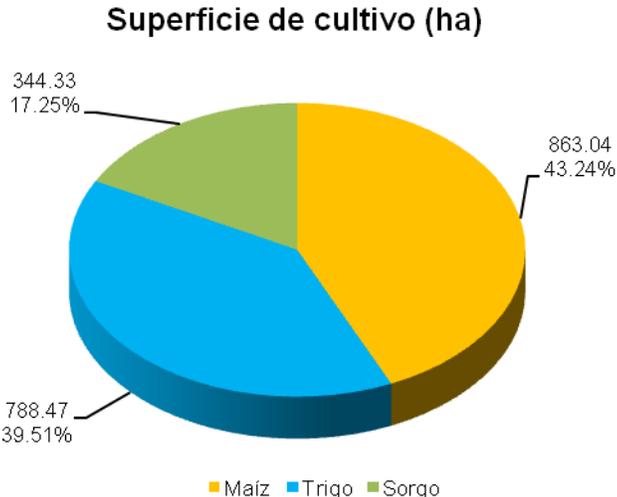
**Figura 6.42. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Yuriria.**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar infraestructura, padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Yuriria, Cuadro 6.20.

**Cuadro 6.20. Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Yuriria**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
YURIRIA	7	912	1,995.84	23	51.572	34.466	606

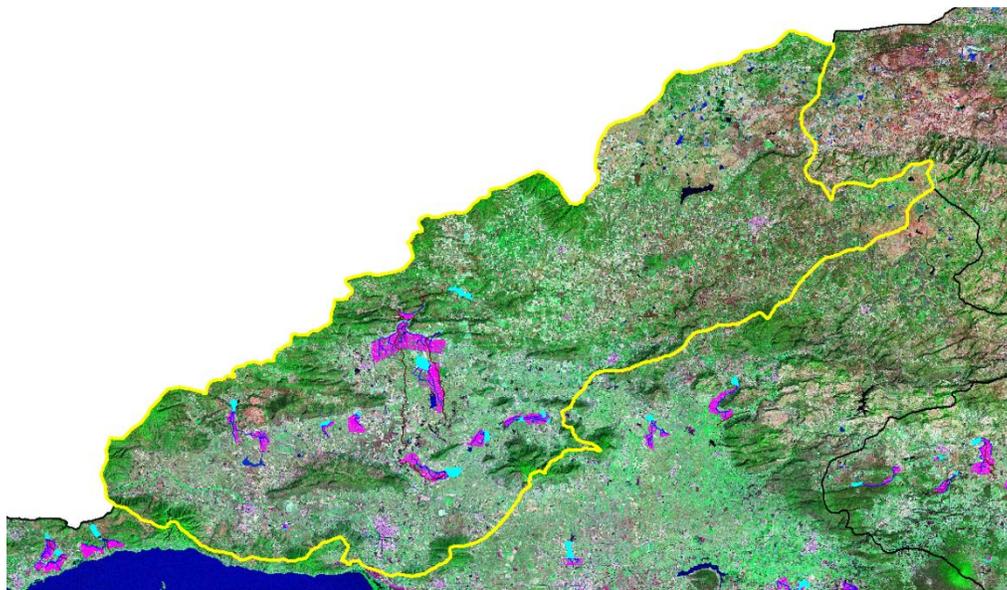
Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Yuriria. En esta se presenta evidencia que los cultivos predominantes son el trigo, maíz y sorgo como se ilustra en la Figura 6.43.



**Figura 6.43. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Yuriria.**

## Subcuenca Zula

En la Subcuenca Zula se caracterizaron y georreferenciaron 12 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.44.



**Figura 6.44. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales de la Subcuenca Zula.**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar tanto infraestructura como padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego dentro de la subcuenca Zula, Cuadro 6.21.

**Cuadro 6.21 Información general de infraestructura en unidades de riego de la Subcuenca Zula**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
ZULA	12	1,094	4,500.522	14	92.042	52.212	820

Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego de la Subcuenca Zula.

Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos, Figura 6.45, en esta se visualiza como en casos anteriores, que los cultivos predominantes son el maíz, trigo y sorgo con el 80, 13 y 7%, respectivamente.



**Figura 6.45. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego de la Subcuenca Zula.**

## Fuera de Límite de la Cuenca Lerma

Fuera de límite de la cuenca Lermase caracterizaron y georreferenciaron 2 unidades de riego con su respectiva infraestructura, como se muestra en la Figura 6.46.



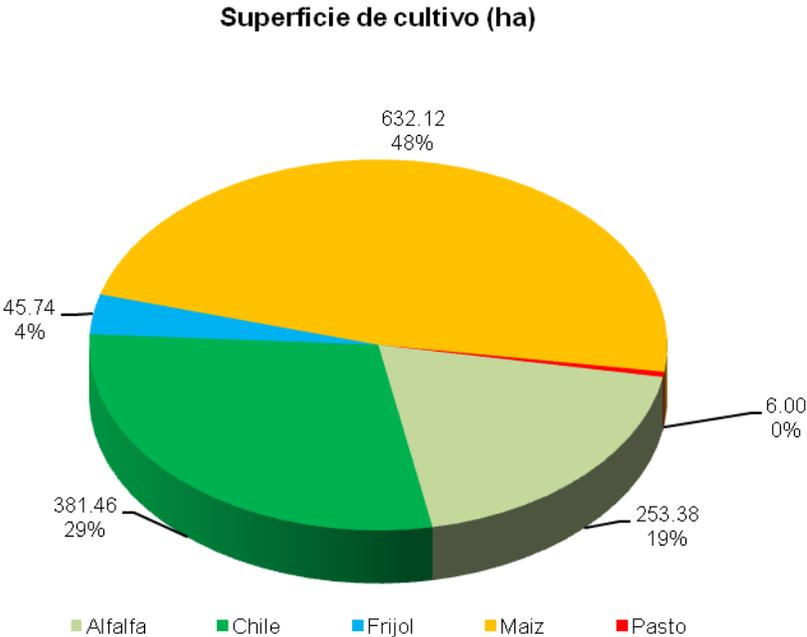
**Figura 6.46. Capas de información de las Unidades de Riego con Aprovechamientos Superficiales Fuera de Límite de la Cuenca Lerma.**

Las capas vectoriales de información permiten cuantificar tanto infraestructura como padrón de usuarios y catastro de las unidades de riego localizadas fuera de límite de la cuenca Lerma, Cuadro 6.22.

**Cuadro 6.22 Información general de infraestructura en unidades de riego Fuera de Límite de la Cuenca Lerma**

Subcuenca	Unidades de Riego	Usuarios	Superficie Catastrada (ha)	Aprovechamientos	Longitud Redes (km)		Estructuras Hidroagrícolas (Piezas)
					Canales	Drenaje	
Fuera de Limite	2	482	1,318.69	3	44.687	16.623	420

Este cuadro presenta el resumen actualizado a diciembre de 2010, de las condiciones de infraestructura de las unidades de riego Fuera de Límite de la Cuenca Lerma. Adicionalmente, se incluye información correspondiente al patrón de cultivos, Figura 6.47, en esta se visualiza como en casos anteriores, que los cultivos predominantes son el maíz, chile y alfalfa con el 48, 29 y 19% respectivamente.



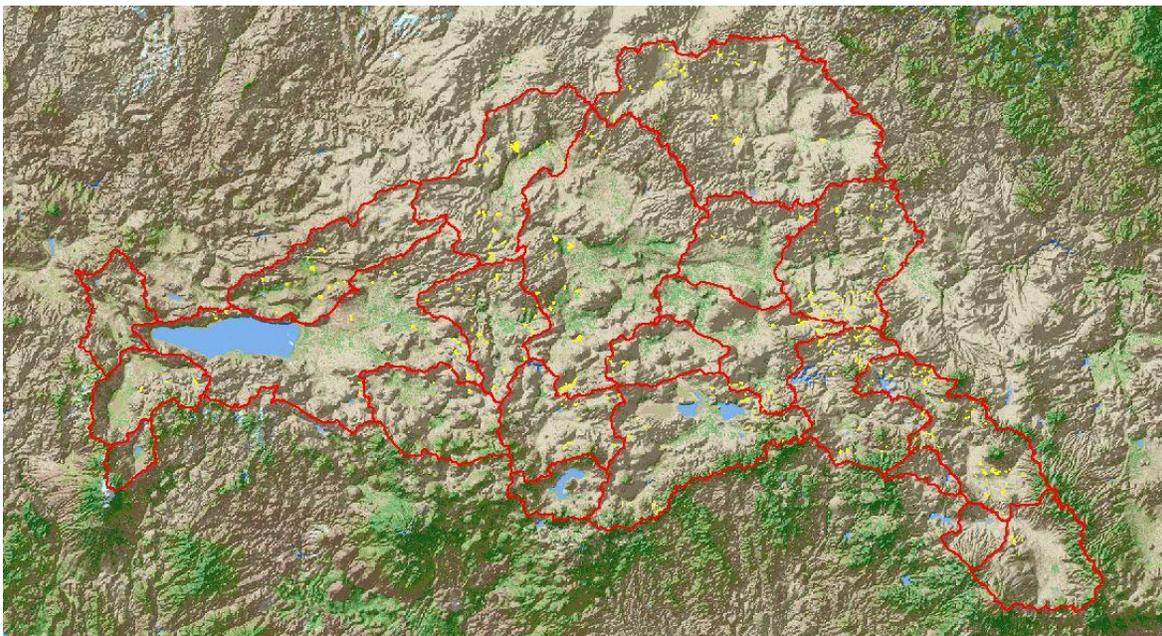
**Figura 6.47. Composición del patrón de cultivos de las Unidades de Riego Fuera de Límite de la Cuenca Lerma.**

#### **6.4. Aplicaciones a nivel de Unidad de Riego.**

Al tener georreferenciadas en forma precisa la infraestructura hidroagrícola, catastro y padrón de usuarios, integrándolos dentro de un Modelo de SIG de las Unidades de Riego con fuente de aprovechamiento superficial en la Cuenca Lerma Chapala, es posible el desarrollar diferentes tipos de análisis en la planeación, seguimiento y evaluación del manejo de dichas Unidades de Riego.

##### ***Ubicación de los cuerpos de agua que abastecen a las Unidades de Riego***

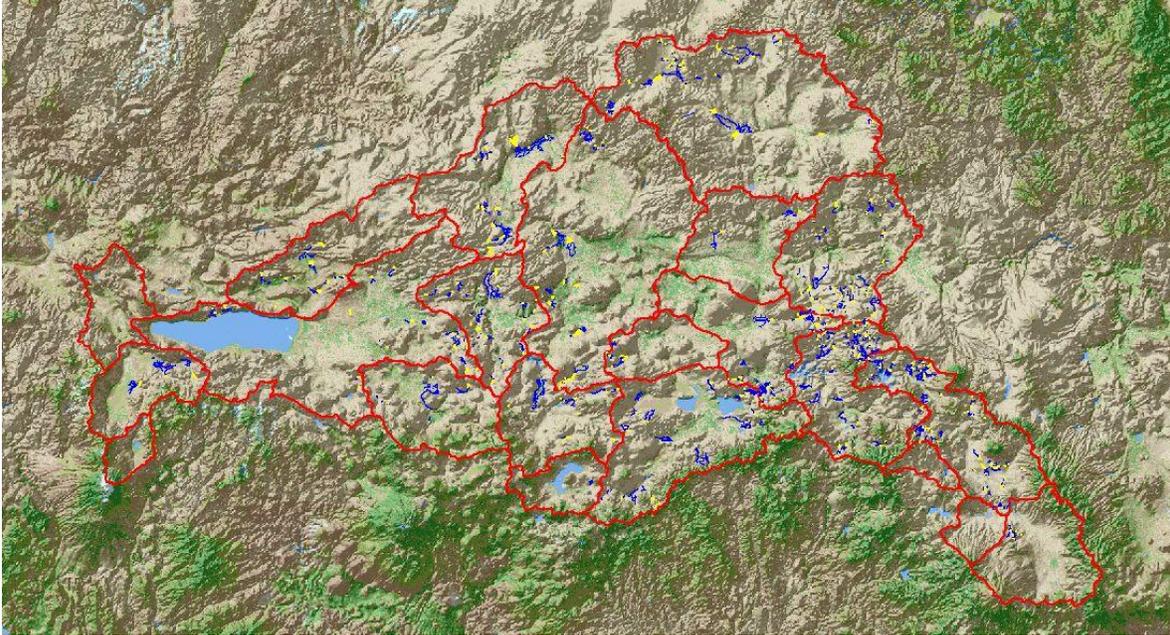
En la Figura 6.48 se presentan los cuerpos de agua que abastecen a las Unidades de Riego de la Cuenca Lerma Chapala.



**Figura 6.48. Cuerpos de agua que abastecen a las Unidades de Riego de la Cuenca Lerma Chapala.**

##### ***Redes de conducción de las Unidades de Riego***

En la Figura 6.49 se presentan las redes de conducción de las Unidades de Riego de la Cuenca Lerma Chapala.

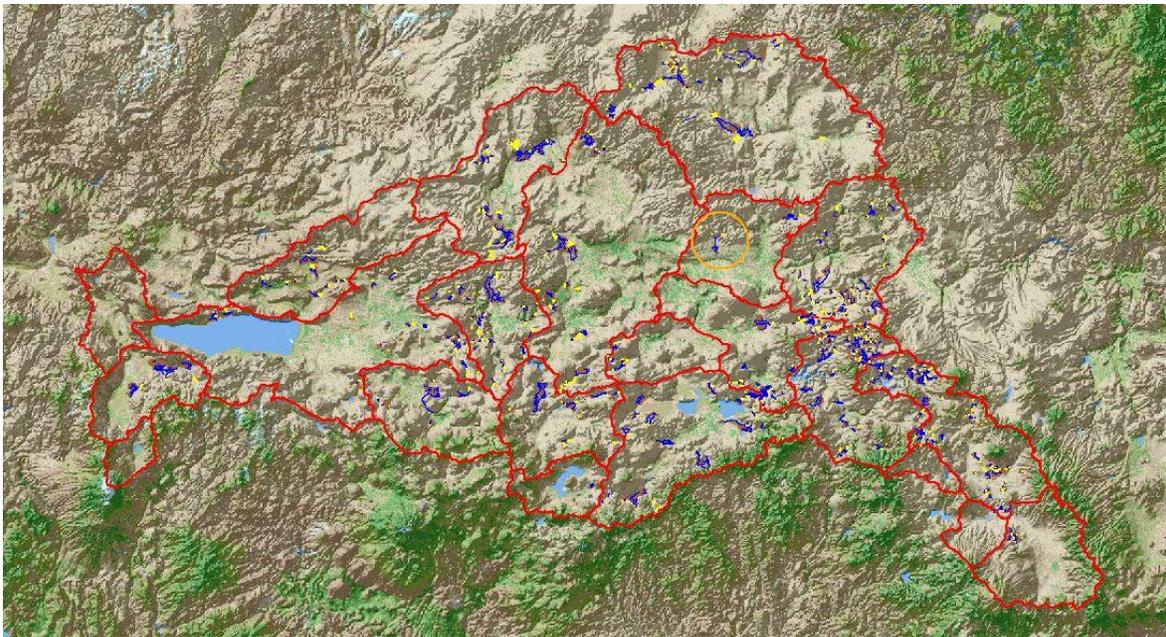


**Figura 6.49. Redes de conducción de las Unidades de Riego de la Cuenca Lerma Chapala.**

### ***Aplicaciones del Modelo a nivel de Unidad de Riego***

En la Figura 6.50 se presenta la ubicación de la Unidad de Riego San Pedro que se ubica en la subcuenca Pericos

En la Figura 6.51 se muestra el Modelo de SIG de la Unidad de Riego San Pedro.



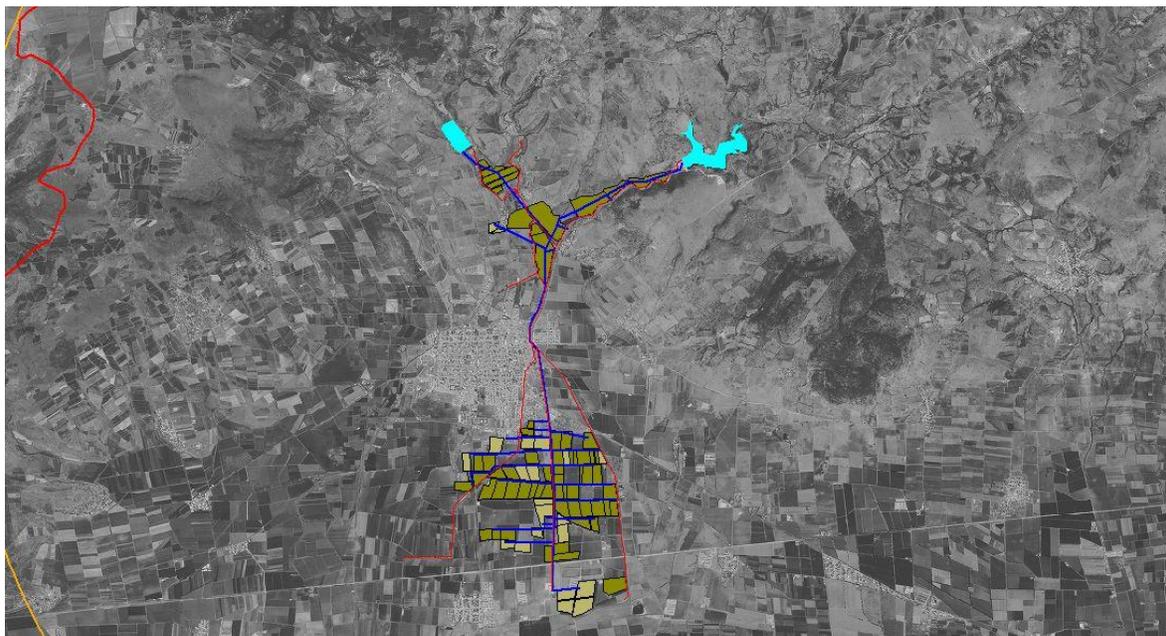
**Figura 6.50. Ubicación de la Unidad de Riego San Pedro. Subcuenca Pericos.**



**Figura 6.51. Modelo de SIG de la Unidad de Riego San Pedro.**

#### **6.4.1. Mosaico de cultivos de la Unidad de Riego San Pedro.**

A partir de la información obtenida es posible el realizar rápidamente el mosaico de cultivos de la Unidad de Riego (Figura 6.52).



**Figura 6.52. Mosaico de cultivos de la Unidad de Riego San Pedro.**

#### **6.4.2. Manejo y actualización del padrón de usuarios – catastro**

El Modelo de SIG desarrollado permite en forma ágil y eficiente realizar la actualización del padrón de usuarios a nivel de Unidad de Riego (Figura 6.53), así como el plano catastral asociado al mismo (Figura 6.54).

ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 76 selected

Attributes of Shape-san-pedro.shp

Shape	Id	Clave_ariel	Nombre	Numero	Numero_p	Numero_m	Numero_o	Tipoteren	Tipodrieg	Superficie	Cultivo	Flordiseno
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	29	CONEJO	MOZQUEDA	PEDRO	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		5.47	MAIZ	12.0000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	30	FRAIRE	PRIETO	PABLO	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		1.32	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	31	GUERRERO	MOZQUEDA	LUIS	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		6.17	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	52	ROCHA	RAYAS	JUAN	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		8.74	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	32	GOMEZ	ALVAREZ	ESPERANZA VILLA	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		5.78	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	28	MORENO	ALVAREZ	RAMON	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		6.21	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	27	GUERRERO	MOZQUEDA	SERGIO	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		8.32	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	12	MORENO	CARRILLO	FRANCISCO	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		7.40	MAIZ	12.0000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	63	ABOYTES	MARTINEZ	GUERRERO	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		6.38	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	62	VALDEZ	TOVAR	MARTINA	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		3.81	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	74	ABOYTES	GUERRERO	JORGE	PEQUEÑA PROPIEDAD GRAVEDAD		7.19	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	73	ABOYTES	GUERRERO	DEMETRIO	PEQUEÑA PROPIEDAD GRAVEDAD		6.26	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	56	ALVAREZ	MORENO	ELEAZAR	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		7.53	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	57	RANGEL	LOPEZ	HERMELINA	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		7.58	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	58	GUERRERO	IBARRA	LUIS	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		7.43	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	60	CERRITO	AVILA	ANTONIO	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		3.86	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	39	CERRITO	RODRIGUEZ	JOSE	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		3.68	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	19	CERVANTES	ORTEGA	ROSA	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		2.02	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	18	ROBLES	MOZQUEDA	MARCELINO	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		2.76	MAIZ	12.0000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	24	ORTEGA	RODRIGUES	ISMAEL	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		3.41	MAIZ	12.0000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	23	MUNOZ	LOPEZ	MARTIN	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		2.25	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	22	ORTEGA	NORIA	SILVESTRE	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		1.98	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	17	ARELLANO	PALACIOS	ANTONIA	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		7.25	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	26	ROCHA	TORRES	MANUEL	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		6.85	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	35	SANCHEZ	ABOYTES	ANTONIO	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		5.99	MAIZ	12.0000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	36	CANO	IBARRA	JUAN PABLO	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		6.58	MAIZ	12.0000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	48	GUERRERO	ACOSTA	LEONARDO	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		4.15	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	49	GUERRERO	ACOSTA	RICARDO	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		4.15	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	51	LOPEZ	PEREZ	MARIA	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		9.27	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	50	RICO	ARELLANO	AUSENCIA	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		7.94	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	53	LEON	OLIVARES	MARIA JOSEFINA	EJIDO JUVENTINO ROS GRAVEDAD		8.00	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	69	GUERRERO	MOZQUEDA	RAMON	PEQUEÑA PROPIEDAD GRAVEDAD		4.87	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	67	GUERRERO	MOZQUEDA	JAVIER	PEQUEÑA PROPIEDAD GRAVEDAD		6.47	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	68	GUERRERO	MOZQUEDA	RAUL	PEQUEÑA PROPIEDAD GRAVEDAD		3.34	SORGO	12.5000000
Polygon	0	1103500006_1	SAN PEDRO	70	GUERRERO	MOZQUEDA	LUIS	PEQUEÑA PROPIEDAD GRAVEDAD		4.39	MAIZ	12.0000000

08:33 p.m. 02/11/2012

Figura 6.53. Padrón de usuarios de la Unidad de Riego San Pedro.

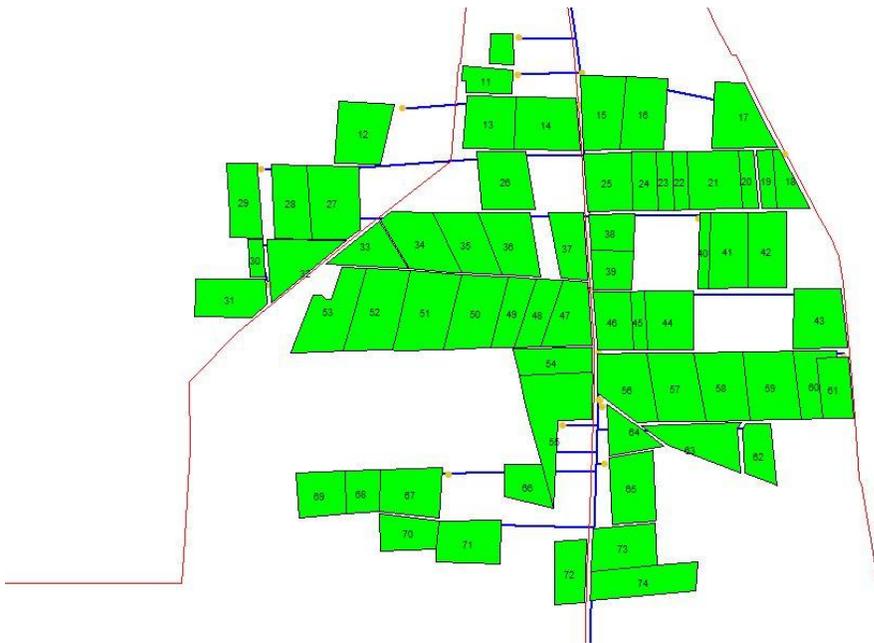
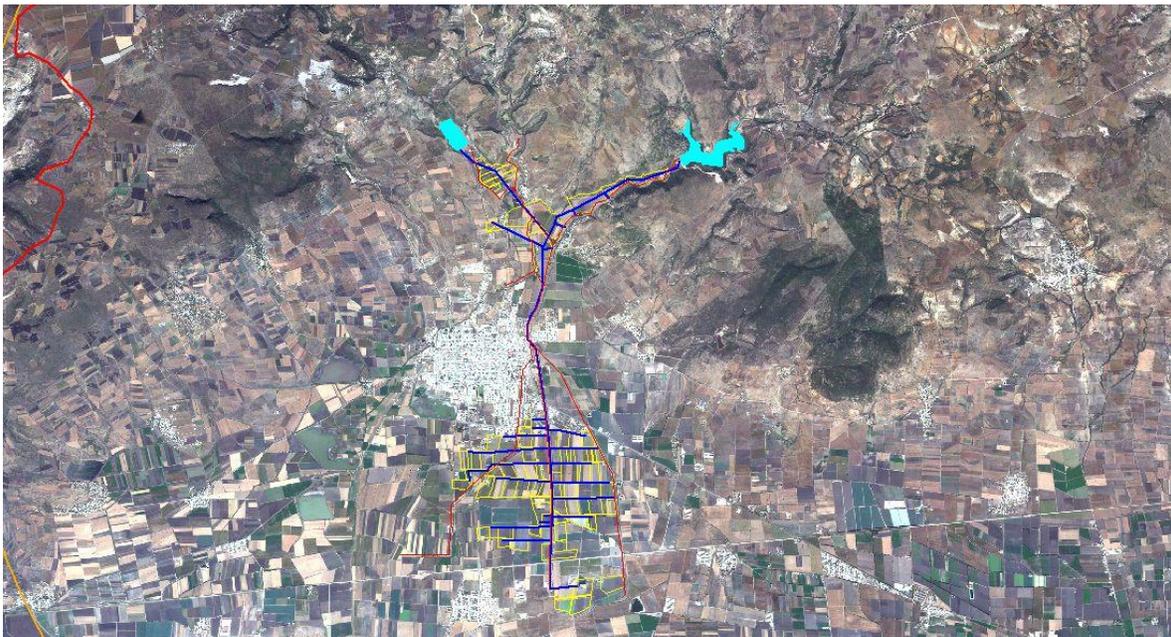


Figura 6.54. Plano catastral relacionado al padrón de usuarios de la Unidad de Riego San Pedro.

### **6.4.3. Cuantificación de superficies de cultivo mediante técnicas de percepción remota.**

A partir del Modelo de SIG desarrollado es factible el definir a nivel de Unidad de Riego o de parcela, la superficie que se tiene establecida en una fecha determinada.

En la Figura 6.55 se presenta la superficie de cultivo establecida para el mes de marzo de 2010 mediante la utilización de imágenes multiespectrales tipo RapidEye que tienen una resolución de 5 por 5 metros.



**Figura 6.55. Superficie de cultivo establecida para el mes de marzo de 2010 en la Unidad de Riego San Pedro.**

Estas aplicaciones presentan algunas de las grandes ventajas que se tienen al utilizar el Modelo de SIG desarrollado para las Unidades de Riego con aprovechamiento superficial de la Cuenca Lerma Chapala, a nivel de cada una de las mismas.

Así, de una forma ágil, sencilla y eficiente se puede hacer el seguimiento de las 1,364 unidades de riego con un total de 56,266 usuarios que detentan 114,975.26 hectáreas factibles de regar con fuentes de agua superficial.

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

#### **Del Modelo de SIG desarrollado:**

- La georreferenciación y caracterización de la infraestructura hidroagrícola, padrón de usuarios y catastro de las Unidades de Riego con fuentes de abastecimiento de agua superficial para uso agrícola en la Cuenca Lerma Chapala, permite conocer en forma precisa información relevante de dichas Unidades.
- La integración de las capas de información generadas en formato shape-file (\*.shp) al Modelo de SIG de la Cuenca Lerma Chapala, permite tener herramientas valiosas de apoyo en la toma de decisiones para el correcto direccionamientos de las acciones estructurales y no estructurales para lograr el uso sustentable del agua en esta Cuenca.
- El Modelo de SIG de la Cuenca Lerma Chapala, permitirá, a través del uso de imágenes de satélite, cuantificar en forma precisa la superficie cultivada a nivel de parcela y estimar en forma indirecta el uso de agua para riego.

#### **De las Unidades de Riego:**

- Se caracterizaron 1,364 unidades de riego con un total de 56,266 usuarios que detentan 114,975.26 hectáreas factibles de regar con fuentes de agua superficial.
- La longitud de la red de conducción es de 2,435 km y la longitud de la red de drenaje es de 2,643 km, con 34,965 estructuras de control. La

integración de las capas de información generadas en formato shape-file (\*.shp) al Modelo de SIG de la Cuenca Lerma Chapala, permite tener herramientas valiosas de apoyo en la toma de decisiones para el correcto direccionamientos de las acciones estructurales y no estructurales para lograr el uso sustentable del agua en esta cuenca.

- Más del 90% de los usuarios de las Unidades de Riego con fuente de agua superficial optan por asegurar cultivos de Primavera-Verano con una lámina de riego reducida en comparación a la requerida en cultivos de Otoño-Invierno. El patrón de cultivos se integra fundamentalmente por maíz (70.79%), sorgo (10.25%) y trigo (8.34%).

## **7.2. Recomendaciones**

A partir del análisis de los resultados obtenidos, se generan las recomendaciones siguientes:

Utilizar el Modelo de SIG desarrollado para la planeación, seguimiento y evaluación de las diferentes actividades inherentes al manejo de las Unidades de Riego con aprovechamiento superficial en la Cuenca Lerma Chapala.

Utilizar las técnicas de percepción remota para cuantificar las superficies cultivadas a nivel de Unidad de Riego para tener estadísticas confiables de la producción en las Unidades de Riego.

Desarrollar un Modelo de SIG para integrar todas las Unidades de Riego a nivel nacional.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

ESRI. 2012. ArcView®. Environmental Systems Research Institute, Inc. <http://www.esri.com>

Barocio F., C., M.Á. Giner J., L. O. Ramírez A. y M. Reyes A. 1994. La Receta de Riego. Primer Diplomado en Planeación y Mejoramiento de la Productividad en los Distritos de Riego. 26 de septiembre al 18 de noviembre de 1994. Centro de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 101 pág.

CONAGUA. 1994. Uso Eficiente del Agua y la Energía Eléctrica. Comisión Nacional del Agua. México, D.F. 1,6 pág.

CONAGUA. 2005. Estadísticas del Agua en México. Síntesis. Sistema Unificado de Información Básica del Agua. Comisión Nacional del Agua. México, D.F. 104 p.

CONAGUA. 2006. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Año Agrícola 2004 – 2005. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. México, D.F.

Giner J. M.Á. 1994. Introducción al Uso de Surfer. Primer Diplomado en Planeación y Mejoramiento de la Productividad en los Distritos de Riego. 26 de septiembre al 18 de noviembre de 1994. Centro de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 58 pág.

INEGI. 1992. Atlas del Medio Físico de la República Mexicana. 26 pág.

Mejía S., E., A. Exebio G., E. Palacios V., A.L. Santos H. y Ma. E. Delgadillo P. 2003a. Mejoramiento del manejo de Distritos y Módulos de Riego utilizando sistemas de información geográfica. TERRA. 21(4): 513-522.

Mejía S., E., E. Palacios V., J. Chávez M., F. Zazueta R., L. Tijerina Ch., y E. Casas D. 2003b. Evaluación del proceso de transferencia del Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Gto. TERRA. 21(4): 523-532.

Mejía S., E., L. Núñez de S., E. Palacios V., F.J.A. Pedraza O., E. Torres B., A.L. Santos H., A. Rodríguez G., D. Vásquez S. y J.A. Salgado T. 2010. Manual Práctico del ArcView GIS 3.2. Mundi Prensa México. 221 pág.

Santos H., A. L., E. Mejía S., E. Palacios V., J. A. Matus G., y J. Alexander F. 2009. Impacto técnico – económico de la rehabilitación en unidades de riego por bombeo. TERRA LATINOAMERICANA. 27 (2) 153-160.

SEMARNAT. 2002. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica en la cuenca Lerma-Chápala, Esc. 1:250,000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 122 pág.

SIACON. 2006. Información Agrícola de los años 1980 a 2005. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. SAGARPA. México. D.F.

SIUR. 1998. Catalogo de Unidades de Riego a Nivel Nacional. Sistema de Información de Unidades de Riego. CONAGUA. México. D.F.