



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS.**



**MODERNIZACIÓN DEL MÓDULO 03 BALLESTEROS DE SAN CRISTÓBAL DEL
DISTRITO DE RIEGO “CIÉNEGA DE CHAPALA”, EN EL ESTADO DE
MICHOACÁN.**

TESIS

**Para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

Presenta:

**Ing. Moisés Caravantes Álvarez
Ingeniero Civil**

Director de Tesis:

**Dr. Benjamín Lara Ledesma.
Doctor en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente**

Co – directora de Tesis:

**Dra. Liliana García Romero
Doctora en Ingeniería del Agua y Medioambiental**

Morelia Michoacán, México. Junio , 2024

RESUMEN

El Distrito de Riego 024 (DR-024) Ciénega de Chapala surgió a partir de la desecación de la parte oriental del lago de Chapala mediante la construcción de un bordo que actualmente corre desde la localidad de La Palma extendiéndose hasta el límite oeste del Distrito de Riego siguiendo el cauce del río Duero. Cuenta con un título de concesión de aguas superficiales con un volumen total de 122.9 millones de metros cúbicos y tiene una superficie de riego de 46,742 hectáreas distribuidas en tres módulos que son Módulo La Palma de la Ciénega, Módulo de Ballesteros y el Módulo Cumuato, cuenta con un total de 14,940 usuarios.

Debido a la topografía de la zona y a la presencia del bordo de contención que se construyó para confinar las aguas del Lago de Chapala, el Distrito de Riego presenta problemas para drenar los excedentes de agua debido a las lluvias dado que sobrepasa la capacidad de evacuación de los 629 km de drenes volviendo necesario operar los 16 equipos de bombeo instalados en el Distrito para evacuar el agua al Lago de Chapala, convirtiéndolo en un distrito de drenaje y en una zona productora de granos debido a que implica que tiene una menor pérdida en caso de inundación y que ya se han presentado recientemente.

El D.R. se integra por tres módulos de riego legalmente conformados en Asociaciones Civiles:

- Módulo de Riego No.01 “La Palma de la Ciénega, A.C.”
- Módulo de Riego No. 02 “Cumuato”, A.C.
- Módulo de Riego No. 03 Ballesteros de San Cristóbal, A.C.

El Módulo de riego Ballesteros de San Cristóbal se distribuye en la parte noreste del Distrito, en los municipios de Ixtlán de los Hervores, Pajacuarán y Vista Hermosa.

En el D.R. el Módulo 03 abarca un 29.63% de la superficie de riego con una superficie física de 13,848 hectáreas y cuenta con 4,524 usuarios que agrupa el 30.28% del padrón de usuarios del D.R.

El nivel tecnológico del D.R. ha mostrado poco avance, los cambios registrados en cuanto a la instalación de los sistemas de riego asciende solamente a un total de 570 hectáreas, e incluye tanto presurizados como multi-compuertas y la mayor parte de ella se localiza en el Módulo 01, en el Módulo 03 se tienen 120 hectáreas con riego presurizado, utilizado en el cultivo de granos.

El riego aplicado mayormente es a gravedad, generando grandes pérdidas de volúmenes de agua en tiempos de estiaje. Realizar un diseño de riego utilizando el modelo EPANET 2.0, adecuado para estos diseños; es gratuito y no es complejo en su uso, con el objetivo final es la modernización del modelo de riego aplicado en el Módulo 03 del D.R. 024 “Ciénega de Chapala” en Michoacán México para finalmente cuantificar los ahorros de agua y aumentar la producción.

Palabras clave: riego, modernización, productividad, ahorro, eficacia.

ABSTRACT

Irrigation District 024 (DR-024) Ciénega de Chapala arose from the drying out of the eastern part of Lake Chapala through the construction of a bank that currently runs from the town of La Palma extending to the western limit of the District of Chapala irrigation following the bed of the Duero River it has a surface water concession title with a total volume of 122.9 million cubic meters and has an irrigation surface of 46,742 hectares distributed in three modules, which are the La Palma de la Ciénega Module, the Ballesteros Module and the Cumuato module with a total of 14,940 users.

Due to the topography of the area and the presence of the containment embankment that was built to confine the waters of Lake Chapala, the Irrigation District presents problems in draining the surplus water due to the rains since it exceeds the evacuation capacity of the 629 km of drains making it necessary to operate the 16 pumping equipment installed in the District to evacuate the water to Lake Chapala, turning it into a drainage district and a grain producing area because it implies that it has a lower loss in case of flooding and that have already occurred recently.

The Irrigation District it is made up of three irrigation modules legally formed into Civil Associations:

- Irrigation Module No.01 “La Palma de la Ciénega, A.C.”
- Irrigation Module No. 02 “Cumuato”, A.C.
- Irrigation Module No. 03 Ballesteros de San Cristóbal, A.C.

The Ballesteros de San Cristobal irrigation module is distributed in the northeastern part of the District, in the municipalities of Ixtlan de los Hervores, Pajacuaran and Vista Hermosa.

In the Irrigation District Module 03 covers 29.63% of the irrigation surface with a physical surface of 13,848 hectares and has 4,524 users, which represents 30.28% of the Irrigation District user registry.

The technological level of the Irrigation District has shown little progress, the changes registered in terms of the installation of irrigation systems only amounts to a total of 570 hectares, and includes both pressurized and multi-gates and most of it is located in Module 01, in the Module 03 has 120 hectares with pressurized irrigation, used in the cultivation of grains.

The irrigation applied is mostly gravity, generating large losses of water volumes in times of dryness. Carry out an irrigation design using the EPANET 2.0 model, suitable for these designs; it is free and not complex to use, with the final objective being the modernization of the irrigation model applied in Module 03 of the D.R. 024 “Ciénega de Chapala” in Michoacán Mexico to finally quantify water savings and increase production.

Keywords: irrigation, modernization, productivity, savings, effectiveness.



Contenido

1.Introducción.....	4
2.Justificación.....	6
3.Antecedentes.....	8
4.Objetivos.....	12
4.1. Objetivo General.....	12
4.2. Objetivos específicos.....	12
5.Hipótesis.....	12
6.Metodología.....	13
6.1. Recopilación de datos geoespaciales e información del módulo 03.....	14
6.2. Caracterización del módulo 03.....	14
6.3. Cálculo del uso consuntivo del mosaico de cultivos.....	14
6.4. Diseño del modelo de riego en parcela piloto.....	14
6.5. Estimación de volúmenes de agua brutos para riego del módulo 03 con riego tecnificado.....	15
6.6. Comparativa de resultados obtenidos con la distribución histórica de aguas en el módulo 03.....	15
7.Discusión y resultados.....	16
7.1. Recopilación de datos geoespaciales e información del módulo 03.....	16
7.1.1. Descripción general.....	16
7.1.2. Recursos naturales.....	18
7.1.3. Fuentes de agua superficial y Subterránea.....	21
7.1.4. Producción Agrícola.....	26
7.1.5. Tenencia de tierra y agua.....	28
7.2. Caracterización del módulo 03.....	28
7.3. Cálculo del uso consuntivo del mosaico de cultivos del módulo 03.....	39
7.4. Diseño del modelo de riego en parcela piloto.....	43
7.4.1. Selección de Parcela Piloto.....	43
7.5. Estimación de volúmenes de agua brutos para riego del módulo 03 con riego tecnificado.....	53
7.6. Comparativa de resultados obtenidos con la distribución histórica de aguas en el módulo 03.....	57
8. Conclusiones.....	59
9. Referencias.....	60





Índice de Tablas

Tabla 1. Superficie de física y de riego por municipios del módulo 03.....	18
Tabla 2. Usuarios del Módulo 03 por municipio.	18
Tabla 3. Volumen de extracción anual permitido por fuente de abastecimiento en el D.R. 024.....	21
Tabla 4. Pozos módulo 03 Ballesteros de San Cristóbal.....	22
Tabla 5. Calidad del Agua del D.R. 024	22
Tabla 6. Presencia de Coliformes fecales y bacterias en los cuerpos de agua.	23
Tabla 7. Balance Hídrico Módulo 03.....	23
Tabla 8. Propiedades físicas Presa Derivadora Barraje de Ibarra.....	24
Tabla 9. volúmenes concesionados Presa Barraje de Ibarra.	24
Tabla 10. Plantas de Bombeo Módulo 03.....	25
Tabla 11. Volúmenes entregados.....	25
Tabla 12. Superficies de riego.....	27
Tabla 13. volúmenes demandados por cultivo.....	27
Tabla 14. Tenencia de la Tierra Módulo Ballesteros de San Cristóbal.....	28
Tabla 15. Estaciones meteorológicas D.R. 024.....	40
Tabla 16. Temperatura promedio mensual de la estación ficticia.....	40
Tabla 17. Uso consuntivo mensual.	42
Tabla 18. Usos consuntivos de los principales cultivos.....	43
Tabla 23. Gasto por turno.....	52
Tabla 24. Requerimientos del maíz.....	52
Tabla 25. Tiempos de riego por turno.....	53
Tabla 26. Metros cúbicos por hectárea de parcela piloto.....	53
Tabla 19. Superficie total por cultivo.....	53
Tabla 20. Datos climatológicos del módulo 03.....	54
Tabla 21. Uso consuntivo de cultivos.....	54
Tabla 22. Uso consuntivo.....	55
Tabla 27. Extrapolación de datos al módulo 03.....	55
Tabla 28. Volúmenes requeridos del maíz.....	57
Tabla 29. Hectárea aprovechable con ahorro de agua.....	58





Índice de figuras.

Figura 1. Metodología general.....	13
Figura 2. Módulos que conforman el Distrito de Riego 024.....	16
Figura 3. Municipios D.R. 024.....	17
Figura 4. Climas módulo 03.....	19
Figura 5. Tipos de suelos en el módulo 03.....	20
Figura 6. Mosaico de cultivos del módulo 03.....	26
Figura 7. Superficie del D.R. 024.....	29
Figura 8. Bordo de contención para confinar las aguas del Lago de Chapala.....	30
Figura 9. Distritos vecinos del D.R. 024 y colindancia con el D.R. 061 Zamora en el municipio Ixtlán de los Hervores.....	31
Figura 10. Módulos del D.R. 024.....	32
Figura 11. Municipios que conforman el D.R. 024.....	33
Figura 12. Red de Drenaje D.R. 024 Ciénega de Chapala.....	33
Figura 13. Red de Canales Distrito de Riego Ciénega de Chapala.....	34
Figura 14. Pozos Profundos concesionados en el D.R. 024.....	34
Figura 15. Modelo Digital de Elevaciones D.R. 024.....	35
Figura 16. Modelo Digital de Elevaciones Módulo 3.....	36
Figura 17. Pozos módulo 03.....	36
Figura 18. Visualización y análisis 3D del módulo 03.....	37
Figura 19. Mapa Módulo 03.....	38
Figura 20. Ubicación parcela piloto respecto al D.R. 024.....	39
Figura 22. Polígonos de Voronoi de las estaciones meteorológicas con datos suficientes.....	41
Figura 23. Características de la parcela piloto.....	44
Figura 24. Clasificación de los sistemas de riego con base en el nivel de presión requerida.....	45
Figura 25. Componentes principales de un sistema de riego localizado. Fuente Enciso et al (1998). ...	46
Figura 29. Plantas por hectárea.....	47
Figura 30. Fuentes de Abastecimiento Parcela, mover a selección de parcela.....	47
Figura 31. Proceso EPANET 1.....	48
Figura 32. Proceso EPANET 2.....	48
Figura 33. Proceso EPANET 3.....	49
Figura 34. Proceso EPANET 4.....	49
Figura 35. Proceso EPANET 5.....	50
Figura 36. Configuración EPANET.....	50
Figura 37. Configuración EPANET 2.....	51
Figura 38. Configuración del modelo de riego para la parcela piloto.....	51
Figura 39. Elementos empleados en EPANET.....	52
Figura 40. Superficie por módulo.....	56
Figura 41. Comparativo volumen de riego con volumen autorizado.....	57





1.Introducción.

Un Distrito de Riego se define como una zona geográfica con una o más fuentes de abastecimiento de agua en común, con un conjunto de canales de distribución de agua y drenajes para abastecer las áreas de cultivos, que cuentan con un decreto de creación por parte del poder ejecutivo federal, con un título de concesión otorgado a los usuarios para uso de las aguas y administración, operación y conservación de la infraestructura hidroagrícola. (Pedroza González & Hinojosa Cuéllar, 2014)

De acuerdo con la Gerencia de Distritos de Riego de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), en México se operan 86 Distritos de Riego, con alrededor de 3.4 millones de hectáreas y 560,000 usuarios, agrupados en 46 organizaciones civiles de usuarios (ACU) y 18 sociedades de Responsabilidad Limitada (SRL). Entre los Distritos se encuentra el D.R. 024 “Ciénega de Chapala”, donde una de sus fuentes de agua superficial es el Lago más importante del país, El Lago de Chapala. (Pedroza González & Hinojosa Cuéllar, 2014)

El Distrito de Riego 024 “Ciénega de Chapala”, se forma a partir de la desecación de la parte oriente del Lago de Chapala; confinando las aguas del Lago mediante la construcción de un borde de tierra que va desde el poblado de La Palma hasta la Maltaraña; actualmente se extiende el bordo sobre el cauce del río Duero hasta los límites con Ixtlán, formando la parte del bordo de contención de la zona Duero-Lerma (Conagua, 2005).

El Distrito de Riego está ubicado al noreste del Estado de Michoacán, se encuentra distribuido en nueve municipios del estado: Briseñas, Ixtlán de los Hervores, Jiquilpan, Pajacuarán, Sahuayo, Tingüindín, Venustiano Carranza, Villamar y Vista Hermosa.

Al Distrito de Riego 024 lo integran tres módulos de riego: Módulo de Riego 1 “La Palma de la Ciénega”, Módulo de Riego 2 “Cumuato” y el Módulo de Riego 3 “Ballesteros de San Cristóbal”.

El Distrito de Riego 024 cuenta con una superficie de 46,774 hectáreas distribuidas en los tres módulos de riego, de las cuales 46,742 hectáreas son de riego.

El módulo de Riego No. 3 Ballesteros de San Cristóbal, A.C. se localiza en la parte noreste del Distrito de Riego, en los municipios de Ixtlán de los Hervores, Pajacuarán y Vista Hermosa, las oficinas del Módulo se ubican en la cabecera municipal; Pajacuarán.

El Módulo de Riego No. 3 abarca un 29.63% de la superficie total del Distrito de Riego 024, con una superficie con riego de 13,848 hectáreas, el río Duero es el principal abastecedor del Módulo 03, el módulo recibe los escurrimientos de los excedentes del agua del Dren Garbanzo del Distrito de Riego 061.





El bordo Duero-Lerma continua el bordo con el que se confinan las aguas del Lago de Chapala, y con el mismo se confinan las aguas de la presa derivadora Barraje de Ibarra ubicada sobre el río Duero.

El Módulo 03 cuenta con dos plantas de bombeo para el drenaje de los excedentes de agua producto de la precipitación, riego y drenaje también del Módulo 06 del Distrito de Riego de Zamora.

La superficie con sistemas de Riego en todo el Distrito de Riego es de 570 hectáreas, con sistemas de riego presurizados del tipo multi-compuertas, el Módulo 03 cuenta con solo 120 hectáreas con sistemas de riego presurizado en la zona El Capulín-La Luz- Valenciano.

Los cultivos que siembran en el Módulo son el trigo, sorgo, maíz, cártamo, cebada y hortalizas.

El Módulo 03 a igual que los otros dos módulos del Distrito de Riego usan los drenes como fuentes de abastecimiento de agua para el riego en temporada de estiaje, retienen el agua en los drenes, almacenando el agua hasta niveles que faciliten el riego a los usuarios.

En los módulos del Distrito de Riego se presentan prácticas de riego a gravedad que generan grandes pérdidas de agua, por lo tanto, también se presenta poco aprovechamiento de los apoyos institucionales, hay invasión de terrenos agrícolas por urbanización y principalmente en el Módulo 03 problemáticas con el Distrito de Riego de Zamora y una baja producción.





2. Justificación.

Las zonas de riego como el módulo 03 “Ballesteros de San Cristóbal”; constituyen un componente esencial para alcanzar las metas nacionales en materia de seguridad alimentaria y generación de empleos, mejorando el nivel de vida de los productores y habitantes de la zona, mediante una mayor producción de cultivos producto de una buena implementación del riego.

El módulo 03, cuenta con varias ventajas para el riego, cuenta con suelos fértiles, buen clima, cuenta con agua en cantidad y calidad para una buena operación, lo que lo hace apto para promover una modernización a nivel parcelario para producir cultivos más rentables.

La modernización parcelaria en el módulo 03 impactará positivamente la superficie regada en el distrito de riego 024, que en promedio equivale aproximadamente al 40% de la superficie total, aumentando el nivel tecnológico de la superficie regada, en donde la superficie de riego tecnificada en todo el Distrito de Riego asciende sólo a las 570 hectáreas.

La infraestructura hidroagrícola presente en el módulo 03 está a cargo de la CONAGUA y de los usuarios, la infraestructura hidroagrícola a cargo de la CONAGUA corresponde a las obras de cabeza, que son las obras de toma principales, y la demás infraestructura hidroagrícola está a cargo de los usuarios y son los puntos de control presentes en canales y drenes del distrito, el agua extraída de los obras de toma de cabeza es mayor al agua medida en los puntos de aforo por los usuarios, al modernizar el sistema de riego a nivel parcela se instalaría un aforo a nivel parcela que ayudaría a cuantificar el volumen neto por usuario y tener un mayor control de la eficiencia de conducción presente en el módulo 03, ayudando a identificar las pérdidas de agua por conducción, operación y falta de conservación.

Los usuarios del módulo 03, también están a cargo de 2 de los 16 bombeos que se utilizan para drenar los excedentes de agua y para suministrar los volúmenes de agua de reúso. Por lo anterior, es también un beneficio el uso racional del agua mediante un modelo de riego, que ayude a reducir el tiempo de operación de los bombeos a cargo de los usuarios, traduciéndose en menos consumo de energía eléctrica. Otro detalle a considerar es que los usuarios del Módulo 03 pagan cuotas de riego y drenaje, las cuales son calculadas y presentadas para su aprobación al comité hidráulico del distrito de riego y por las características propias del Distrito las cuotas de drenaje son mayores a las de riego, se destina un 40% del recurso disponible para la operación del D.R. solo para drenar los excedentes de agua, una modernización del riego aplicado ayudaría a disminuir las cuotas a beneficio de los usuarios por el menor volumen de agua a bombear o a drenar, debido a la eliminación de pérdidas de láminas de agua que se





generan por el riego a gravedad. Al tener la necesidad de utilizar menos los equipos de bombeos estos requerirían menos mantenimiento.

La superficie de riego del módulo 03 que en promedio son 5,833 ha podría aumentar acercándose a su superficie total de 13,848.2 ha, con los ahorros de agua producto de la modernización de riego y motivaría al usuario a sembrar cultivos más rentables y/o a una mayor producción de granos factibles para ello, como el maíz, dado que un sistema de riego presurizado aporta al cultivo el agua necesaria en todas sus fases de desarrollo, cuidando la inversión del usuario.

El beneficio sería transferible a la recarga de los dos acuíferos presentes en la zona; Briseñas – Yurécuaro y Ciénega de Chapala; disminuyendo la extracción de agua de los pozos concesionados.

Los usuarios que mediante el uso de bombas charqueras aprovechan el agua de los drenes se verán de igual manera beneficiados al requerir menor agua en sus parcelas dada la modernización.

A mayor tecnificación de riego se mejorará de manera sustancial la disponibilidad y entrega de agua, llevando un mejor control del líquido, respecto a los volúmenes entregados.

La nivelación de tierras y la tecnificación del riego parcelario, tiene gran efecto en los ahorros de agua y mejoran los rendimientos alcanzados en los cultivos más rentables que los granos, por lo que en los Distritos de Riego dentro de su plan director esta entre sus prioridades la tecnificación de los sistemas de riego parcelario (Conagua, 2005).

Se han observado diversas fortalezas que plantean el impacto que implicara proponer un modelo de riego moderno tecnificado, entre las que se puede reiterar que el Módulo 03 dispone de agua en cantidad y calidad suficientes, existe maquinaria para la operación y conservación, cuenta con suelos de buena calidad, existe buen clima, los productores conocen los cultivos que siembran, se producen granos básicos y hortalizas, se dispone de los apoyos para el campo, hay ingresos de divisas o remesas de los inmigrantes, y el Módulo 03 se encuentra cerca de los mercados importantes y existe buena comunicación (Conagua, 2005).





3. Antecedentes

La economía de un país depende de varios sectores entre ellos el sector agrario, siendo un detonante en la economía de un país, por ejemplo, en España se han estudiado los efectos de la modernización en las parcelas de los Distritos de Riego, conocidos como regadíos, se han identificado efectos positivos al mantener al sector agrario tecnificado y competitivo, y es el de mantener a los productores trabajando sus tierras, ya que la pérdida de vitalidad en el sector agrario provoca un desplazamiento en la población, y en México la pérdida de vitalidad en el campo se traduce al abandono del campo por los usuarios emigrando en su mayoría al país vecino del norte, otro de los efectos positivos es el aumento de la producción de alimento, beneficiando a la población al tener una oferta de alimentos a precios asequibles y uno muy importante es la eficiencia y racionalización en el aprovechamiento del recurso globalmente tan escaso mejorando la producción de los cultivos reduciendo el consumo del agua. Una modernización de los riegos se traduce en un menor volumen de extracción de las fuentes de abastecimiento, facilita el cobro de una tarifa volumétrica ayudando a distinguir el volumen netamente aplicado en la parcela del volumen extraído, ayudando a cuantificar las pérdidas de agua por una baja eficiencia de conducción y evaporación. La modernización ayuda a mejorar la gestión del riego, a tener un mejor control y a automatizar el riego sustituyendo el trabajo humano en cierta medida (Julio Berbel, 2017).

Entre otros casos de estudio se encuentra una tesis doctoral donde se mide el impacto de la modernización de los sistemas de riego sobre la cantidad y calidad de los retornos de riego, con el objetivo de evaluar lo que implica la modernización del sistema de riego, entre las que se detectó una mejora en la eficiencia del riego del 56% al 80% cuyo efecto también fue una reducción del volumen de agua devuelto a los drenes de la zona agrícola, reduciendo los volúmenes de rehúso preservando la calidad de la misma sin contaminantes asociados a ello, y como consecuencia de lo anterior dejando un mayor volumen de agua disponible para usos posteriores (Aguirre, 2017).

Otro estudio referente a la modernización con riego localizado; evalúa los efectos de la modernización de las zonas agrícolas con riego por goteo, dicho estudio se realiza en la Comunidad Valenciana, entre los efectos en las entidades agrícolas es el cambio positivo en la forma de organización del riego, con una mayor eficiencia hidráulica y económica, generando que todas las políticas de ahorro de agua sean sinónimo de una ampliación de la superficie regable. La mejora de la eficiencia de riego ayuda a equilibrar el balance hídrico entre las extracciones y usos, este tipo de acciones se notó muy atractiva para los agricultores, constructores e industria del sector agrícola, siendo el mayor motivador el





ahorro de agua mediante la eficiencia de la aplicación de un riego localizado. Lo anterior provocó una reducción de los sobrantes de riego que se generaban en el riego por gravedad, escurrimientos que eran usados por otros usuarios que aprovechaban las aguas de retorno. Dicho fenómeno fue calificado como “Paradoja de regadío”; donde se estudia la relación de las tecnologías ahorradores en los sistemas de riego y el efecto “negativo” que provoca una mayor intensificación en la producción de cultivos generando un mayor consumo a nivel de cuenca sin reducir el volumen de consumo de agua, si no que se optimizaría su uso y en tal caso fue un efecto finalmente positivo, que mejoró la eficiencia en la producción con la garantía de suministro generando grandes exportaciones. Entre los efectos para los usuarios se hace hincapié en una mejora en la calidad de vida de los trabajadores del campo, en la reducción de costos laborales por la reducción en la preparación de las tierras, mayor calidad de agua, aplicación de la práctica de fertirrigación. Un indicativo importante en cuanto al uso de agua subterránea en la zona agrícola fue el 40% de ahorro energético, debido a la disminución de los tiempos de bombeos al requerir menos agua (Carles Sanchis Ibor, 2015).

El riego es el principal usuario de agua en el mundo, lograr un uso más eficiente del agua de riego será un objetivo general en el mundo. La modernización de riego se ha visto dirigida a modernizar infraestructuras sin tomar en cuenta los elementos no estructurales que deberían ir implícitos en el concepto de modernización, los elementos no estructurales son las mejoras de la gestión del sistema de riego y el diseño agronómico a nivel cuenca, se refieren a poner énfasis en la relación suelo-agua-planta, demostrando que la modernización considerando los elementos no estructurales se impacta positivamente a la producción cambiando un uso de agua turnado fijo a uno de demanda en función de la demanda diaria del cultivo (Gabriel Angella, 2017).

Referente a la modernización de los sistemas de riego en Michoacán, México, entre los objetivos planteados en el plan director del Distrito de Riego 024 “Ciénega de Chapala”, el más importante va dirigido al ahorro del agua, en el Módulo 03 se busca lograr un ahorro de 32.8 millones de metros cúbicos de agua, con acciones que van desde el incremento de la eficiencia de conducciones en los canales, modernización de las estructuras de control y del incremento de la eficiencia de aplicación del agua donde se incluye la nivelación de terrenos de cultivo y la tecnificación del riego parcelario. (Conagua, 2005)

En cuanto al manejo del suelo y del agua, desde el año 2003 el Módulo de Riego 03 cuenta con una superficie de 120 hectáreas con sistemas de riego, y se ha promovido el uso eficiente del agua mediante el mejoramiento de métodos para aplicar el agua de riego, existen varios tipos de riego, siendo el más eficiente el sistema de riego por goteo.





En los periodos de lluvias el módulo de riego 03 presenta serios problemas para drenar los excedentes de agua y mantener los niveles permisibles de los drenes, durante este periodo se operan los 2 bombeos ubicados en el Módulo generando altos consumos de energía eléctrica ocasionando insuficiencia de recursos para mantenimiento normal del módulo y riesgo de inundación de los cultivos si algún sistema de bombeo no se opera correctamente, si alguno presenta alguna falla o si se rebasa la capacidad de drenaje de los equipos de bombeo.

Mediante entrevistas, los usuarios del Módulo 03 están de acuerdo en mejorar la medición del uso del agua para contribuir a mejorar la operación y la relación de distribución y tener más control entre el agua que se les entrega por sus cuotas, aunado a la tecnificación a nivel parcelario.

La entrega de agua en el módulo se realiza bajo demanda semanal, la entrega de agua se realiza por extracción del vaso de derivación de las tomas directas de los Ríos Lerma y Duero; así como de los diversos pozos existentes, se ha demostrado que un sistema de riego localizado ayudaría a aplicar una tarifa volumétrica más puntual que motive al usuario a pagar el agua neta que utiliza su parcela.

La topografía de la zona ayuda a que los usuarios utilicen los drenes como fuentes de abastecimiento de agua en temporada de estiaje, reteniendo el agua en los mismos, afectando la capacidad hidráulica de drenaje al usarlos como almacenamiento, un daño colateral que tendría menos impacto al requerir menos volúmenes de agua en el riego por goteo.

El agua es un factor importante que influye en el rendimiento del cultivo en todos los sistemas de producción agrícola, el sistema de riego influye directamente en el uso del agua que se le aporta al cultivo (Martínez C, y otros, 2015).

El Distrito de riego se considera productor de granos, en donde destacan el maíz, alfalfa, fresa, trigo, sorgo, maíz, cártamo y cebada, muchos de los productores de granos hicieron un cambio productivo de granos a hortalizas, aunque la mayoría regreso a la producción de granos por el menor riesgo de perdidas dado el riesgo de inundaciones, las superficies de agave y alfalfa han crecido notablemente dado el mercado existente y a la rentabilidad de ellos (Conagua, 2005). La tecnificación de riego aun produciendo granos daría grandes beneficios económicos al usuario.

En el proyecto Estratégico de Tecnificación del Riego, en 2009, tuvo como objetivo la tecnificación del riego que permita un uso más eficiente y productivo del agua mediante la instalación de sistemas de riego presurizado para su operación dentro del predio o parcela.

El sistema de riego por goteo se aplicó a 20,578 ha y debido a un buen diseño hidráulico y pese a una eficiencia de aplicación del 74% a causa de que la mayoría de los productores agrícolas no disponen de servicios tecnológicos apropiados y de los conocimientos necesarios para definir con mayor precisión





Modernización del Módulo 03 Ballesteros de San Cristóbal del Distrito de Riego
“Ciénega de Chapala”, en el Estado de Michoacán.

la cantidad de agua que requiere el cultivo y el momento oportuno de aplicar el riego, se logró reducir el volumen utilizado de 918.8 millones de metros cúbicos a 741.6 millones de metros cúbicos. (Firco, 2010)





4.Objetivos.

4.1. Objetivo General.

Proponer la modernización del sistema de riego del Módulo 03 en el Distrito de Riego 024 “Ciénega de Chapala” para la optimización de los volúmenes de agua suministrados actualmente.

4.2. Objetivos específicos.

- Recopilación de datos geoespaciales e información del Módulo 03.
- Caracterizar el Módulo de riego 03 “Ballesteros de San Cristóbal”.
- Calcular el uso Consuntivo del mosaico de cultivos del Módulo.
- Diseño del modelo de riego en parcela piloto.
- Estimación de volúmenes de agua brutos para riego del módulo 03 con riego tecnificado.
- Comparativa de resultados obtenidos con la distribución histórica de aguas en el módulo 03.

5.Hipótesis.

La modernización parcelaria del Módulo 03 localizado en el Distrito de Riego 024 “Ciénega de Chapala” a través de la implementación de un modelo de riego por goteo permitirá el ahorro de importantes volúmenes de agua; mejorando la productividad en beneficio de los usuarios.





6. Metodología.

La metodología desarrollada en esta investigación se observa en la Figura 1. A continuación, se describe detalladamente cada etapa.

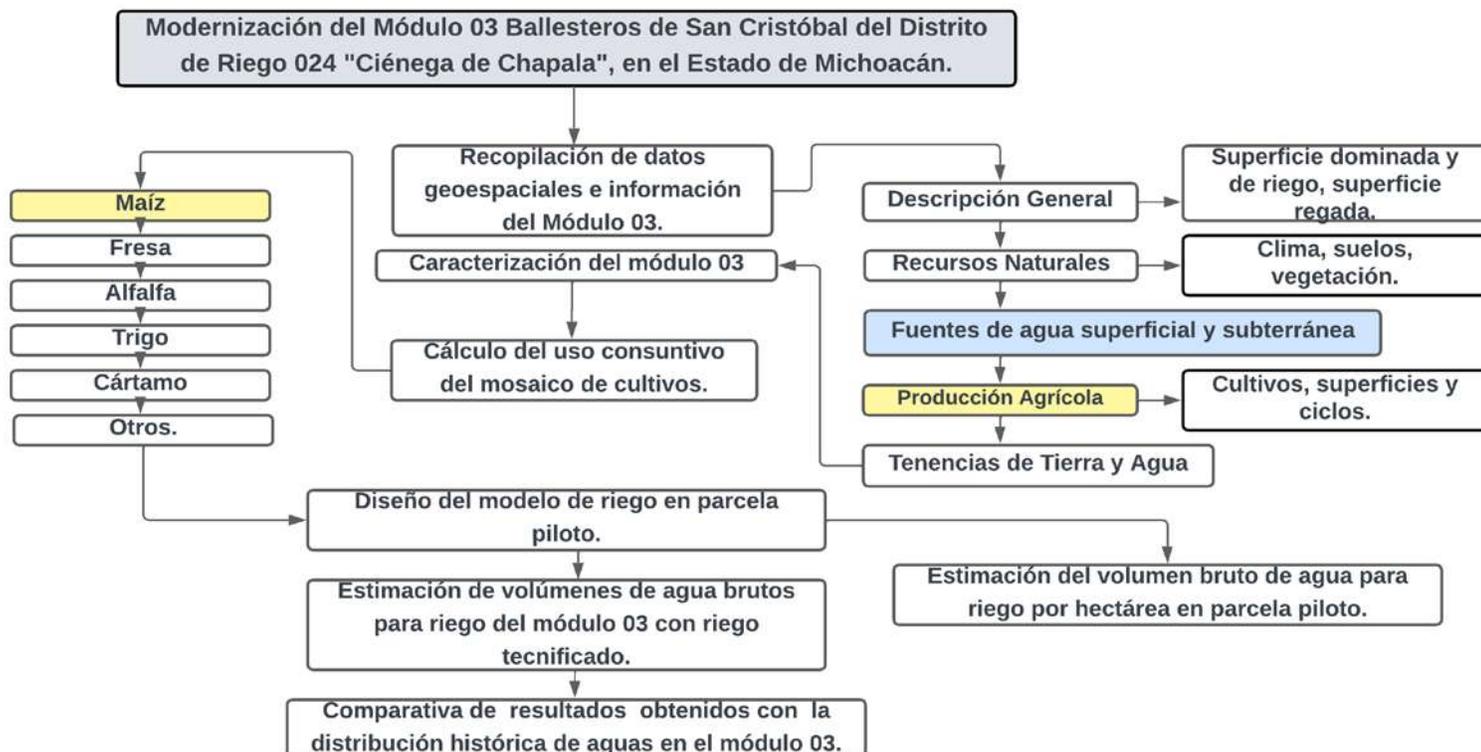


Figura 1. Metodología general.





6.1. Recopilación de datos geospaciales e información del módulo 03.

La recopilación de información consiste en obtener toda la información relacionada al Distrito de Riego 024 y especialmente al Módulo 03 Ballesteros de San Cristóbal, para entender cómo se opera en conjunto la infraestructura hidroagrícola con las fuentes de abastecimiento, el mosaico de cultivos, y tener una descripción general para proponer la modernización del Módulo, en base a los recursos naturales, fuentes de agua, producción agrícola y tenencia de la tierra de todo el Módulo 03.

6.2. Caracterización del módulo 03.

La caracterización del Módulo 03 consiste en interpretar la información obtenida referente al Distrito y especialmente al Módulo en cuestión; su zona geográfica, conjunto de los canales de riego, las fuentes de abastecimiento de agua y las áreas de cultivo, infraestructura hidroagrícola, sus aspectos legales, administrativos, socioeconómicos y productivos para entender la sinergia entre todos los elementos mencionados que nos ayuden a entender la problemática presente en el Módulo.

Para la caracterización se utilizarán los archivos de Sistemas de Información Geográfica disponible.

6.3. Cálculo del uso consuntivo del mosaico de cultivos.

El uso consuntivo es un factor determinante en el diseño de sistemas de riego, para su cálculo se utilizará el método de Blaney-Criadle, ya que además de tomar en cuenta la temperatura también toma en cuenta las horas de sol diarias, el tipo de cultivo, la duración del ciclo vegetativo, la temporada de siembra y zona. El valor de evapotranspiración que se obtiene representa la cantidad de agua que requieren las plantas para un desarrollo normal. (Aparicio, 1992). Se calculará el uso consuntivo de todo el mosaico de cultivos para tener datos de referencia para comparar la superficie sembrada de maíz respecto a la superficie sembrada de los cultivos restantes.

6.4. Diseño del modelo de riego en parcela piloto.

El riego por goteo es uno de los sistemas más eficientes, presenta ventajas como eficiencia de conducción y aplicación, uniformidad de distribución y emisión, así como eficiencia en el uso del agua, el diseño de sistemas de riego por goteo consta de tres fases: diseño agronómico, diseño geométrico y diseño hidráulico; utilizando EPANET.





El diseño se realizará utilizando una parcela piloto ubicada en la parte más alta del Módulo para su modelación y diseño.

El diseño agronómico consiste en calcular el requerimiento hídrico relacionado con la evapotranspiración calculada, para calcular dosis, frecuencia y tiempo de riego, número de goteros y caudal de los mismos. El diseño geométrico consiste en definir el trazo de la línea de conducción y las líneas de distribución de acuerdo con la topografía del terreno y finalmente el diseño hidráulico consiste en diseñar un sistema que suministre un gasto con las presiones mínimas requeridas en las zonas más desfavorables. (Intagri, 2019). El volumen que es necesario para la parcela depende del cultivo, en este caso nos enfocaremos en el maíz; por su rentabilidad y conocimiento de este, el volumen de riego para la parcela piloto se obtiene de la modelación realizada en EPANET, indicada en la tubería principal que conecta con la fuente de abastecimiento. Se Obtendrán los metros cúbicos por hectárea (m^3/ha) como indicativo.

6.5. Estimación de volúmenes de agua brutos para riego del módulo 03 con riego tecnificado.

El volumen que es necesario para el riego del módulo se calcula en función de la superficie de riego, se obtendrá el volumen requerido con la superficie de riego promedio del módulo 03, considerando que en su totalidad se sembrará maíz y los m^3/ha que se requieren con el riego por goteo y así aplicarlo a la superficie de riego total.

6.6. Comparativa de resultados obtenidos con la distribución histórica de aguas en el módulo 03.

Una vez aplicado los metros cúbicos requeridos por hectárea en la superficie de riego del módulo 03, se compararán los resultados de agua requeridos en el módulo con los volúmenes de agua que están concesionados para denotar la diferencia de los volúmenes de agua brutos requeridos en el sistema de riego por goteo.



7. Discusión y resultados.

En este apartado se describirán y se discutirán detalladamente los resultados encontrados en esta investigación.

7.1. Recopilación de datos geospaciales e información del módulo 03.

7.1.1. Descripción general.

El módulo de riego 03 “Ballesteros de San Cristóbal” junto con los módulos “La Palma de la Ciénega” y “Cumuato”; conforman el D.R. 024 “Ciénega de Chapala” como se muestra en la Figura 2, la sede del módulo 03 se encuentra en la localidad de Pajacuarán; cabecera municipal.

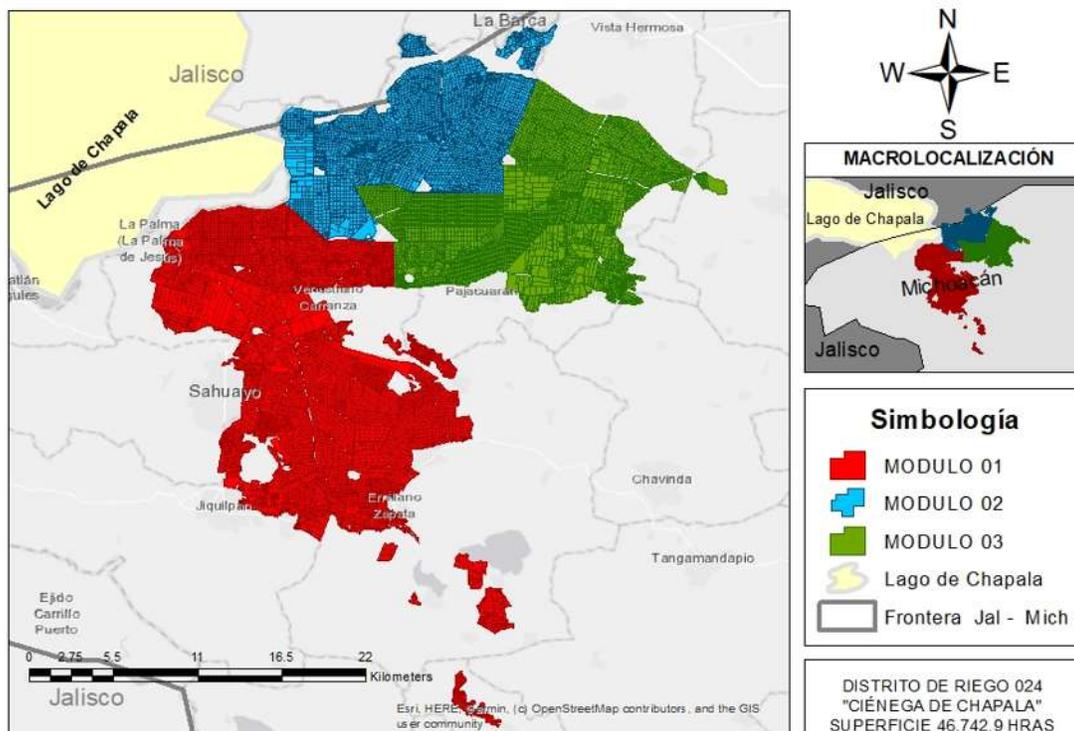
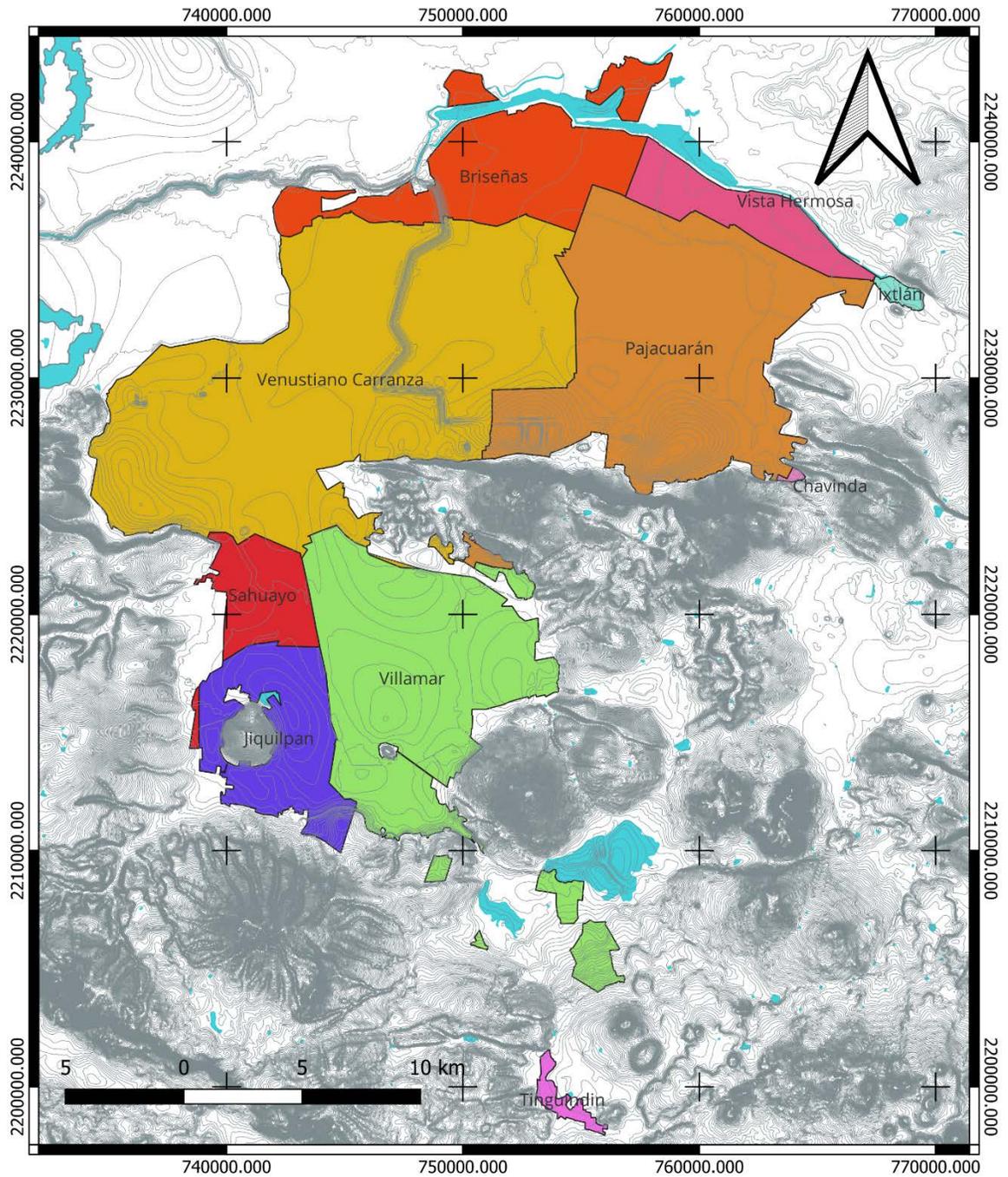


Figura 2. Módulos que conforman el Distrito de Riego 024.

La superficie física del módulo 03 está comprendida en los municipios de Ixtlán de los Hervores, Pajacuarán, Venustiano Carranza y Vista Hermosa; véase Figura 3, con una superficie total de 13,848 hectáreas de las cuales en su mayoría son superficie de riego, como se indica en la Tabla 1.



Modernización del Módulo 03 Ballesteros de San Cristóbal del Distrito de Riego "Ciénega de Chapala", en el Estado de Michoacán.



SIMBOLOGÍA

Municipios DR 024	Jiquilpan	Villamar
Briseñas	Pajacuarán	Vista Hermosa
Chavinda	Sahuayo	Curvas de nivel
Ixtlán	Tinguindín	Cuerpos de Agua
Venustiano Carranza		

MAPA MUNICIPIOS D.R. 024 "CIENEGA DE CHAPALA"

Figura 3. Municipios D.R. 024.





Tabla 1. Superficie de física y de riego por municipios del módulo 03.

Módulo / Municipios	Superficie (ha)	
	Física	Riego
Ballesteros de San Cristóbal	13,848	13,848
Ixtlán de los Hervores	702	702
Pajacuarán	9,457.7	9,457.7
Venustiano Carranza	756.3	756.3
Vista Hermosa	2,933	2,932
Total	46,774	46,743

Fuente: CONAGUA, Distrito de Riego 024, Padrón de Usuarios 2004-2005.

El módulo 03 cuenta con un total de 4,524 usuarios, representando un 30.28 % del total de usuarios del Distrito de Riego 024. El municipio con mayor número de usuarios corresponde a Pajacuarán; como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Usuarios del Módulo 03 por municipio.

Módulo/Municipio	Usuarios
Ballesteros de San Cristóbal	4,524
Ixtlán de los Hervores	247
Pajacuarán	2,814
Venustiano Carranza	426
Vista Hermosa	1,037
Total	4,524

Fuente: CONAGUA, Distrito de Riego 024, Padrón de Usuarios 2004-2005.

7.1.2. Recursos naturales.

- Clima.

Los climas presentes en el módulo 03 son dos, el clima “Semicálido subhúmedo” y el “Templado subhúmedo”, predominado casi en su totalidad el “Semicálido subhúmedo”. El clima es apto para una variedad de cultivos. En la Figura 4 se observa como predomina uno de los dos climas mencionados sobre el otro.



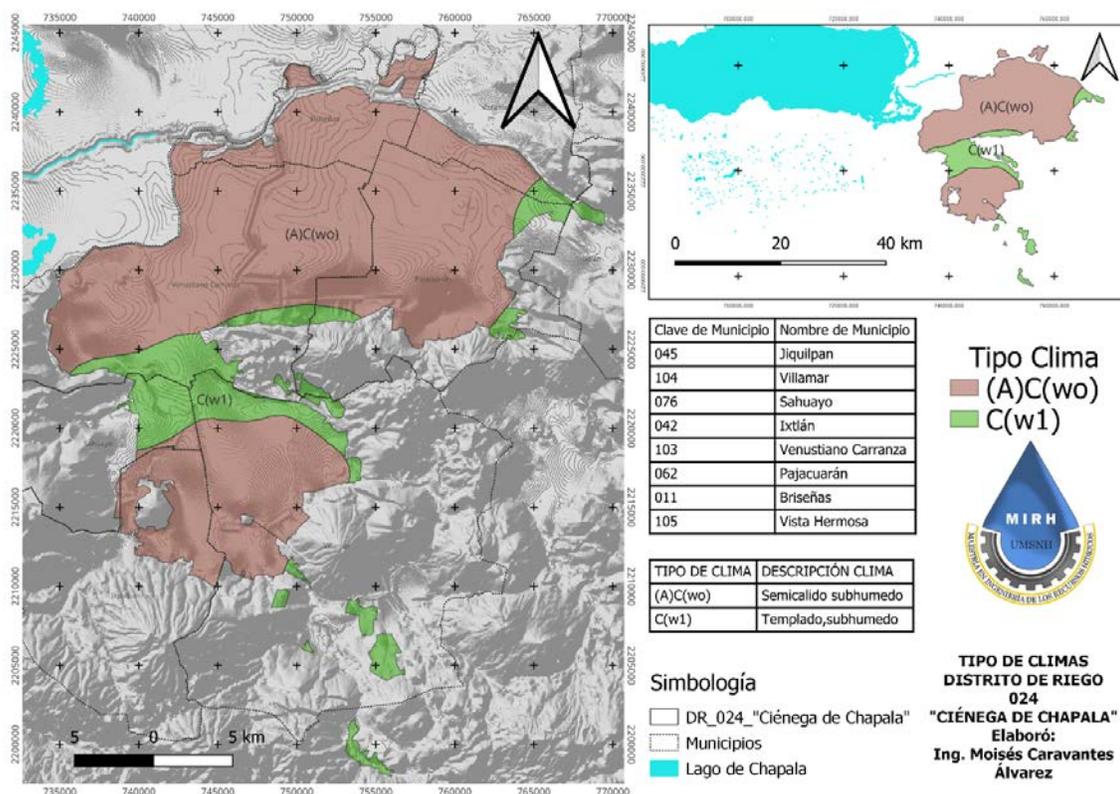


Figura 4. Climas módulo 03.

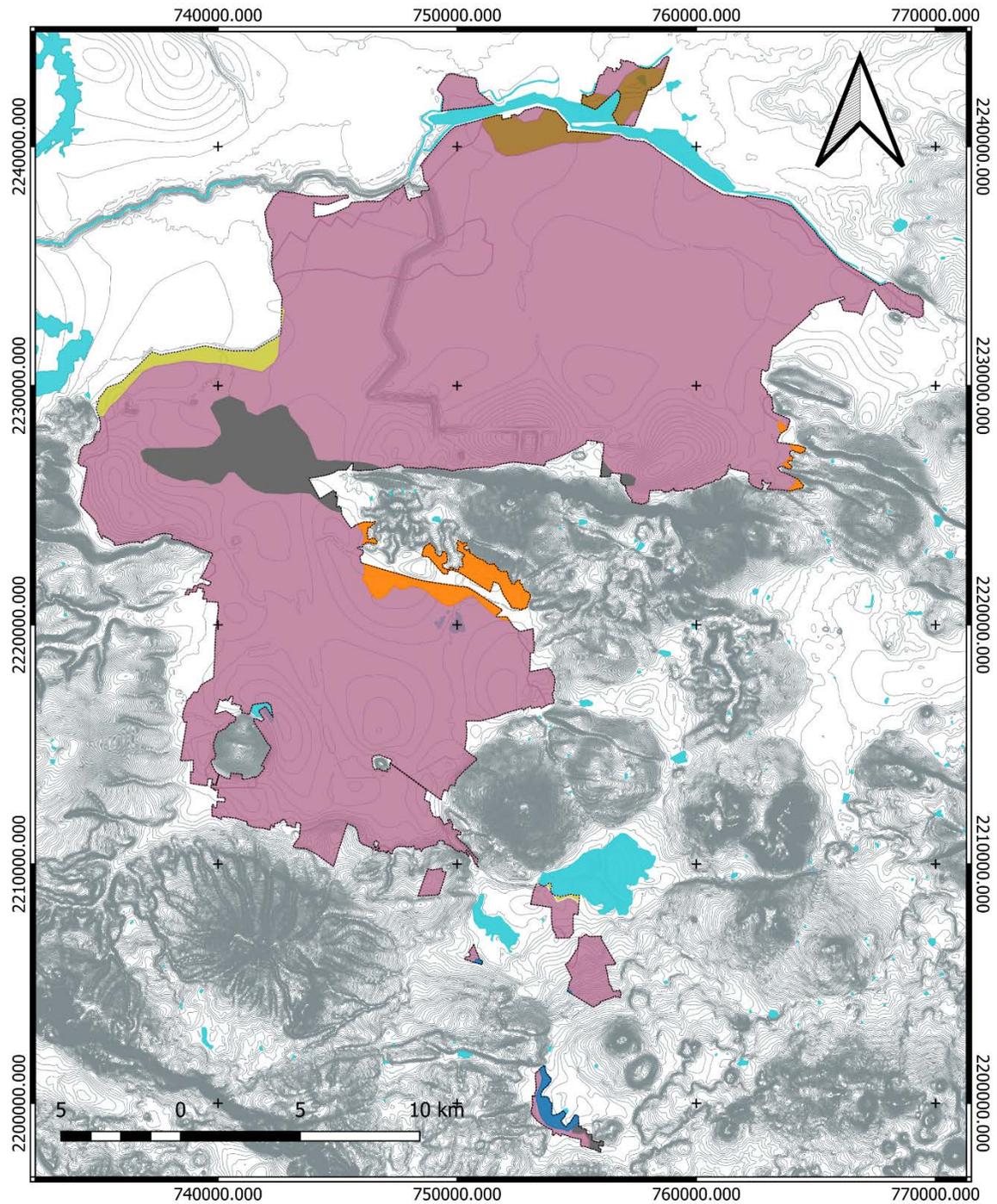
- Suelos

El suelo predominante en módulo 03 son del tipo “Vertisoles” que son profundos y por sus características arcillosas son de baja permeabilidad, se expanden y se contraen cuando se humedecen y se secan. Son de color gris oscuro o muy oscuro. Tienen un pH casi neutro. La fertilidad de estos suelos es alta y responden bien al uso de los fertilizantes, por lo que tienen gran potencial agrícola. En Figura 5 se observa la distribución de los tipos del suelo en el D.R. 024 en donde en el módulo 03 los suelos son de origen residual y transportado, son suelos arcillosos, como los vertisoles y Luvisoles, son fértiles con gran potencial agrícola.

El tipo de vegetación corresponde al matorral subtropical, predominan las especies de Casahuate, Vara Blanca, Guaran y Mezquite.



Modernización del Módulo 03 Ballesteros de San Cristóbal del Distrito de Riego
"Ciénega de Chapala", en el Estado de Michoacán.



SIMBOLOGÍA

TIPO DE SUELO	ORANGE	LITOSOL
VERTISOL PELICO	BLACK	FEZEM HAPLICO
FLUVISOL CALCARICO	BLUE	LUVISOL CROMICO
DEPÓSITOS ALUVIALES	GRAY	VERTISOL CROMICO

MAPA DE USO DE SUELO
D.R. 024 "CIÉNEGA DE CHAPALA"

Figura 5. Tipos de suelos en el módulo 03.





7.1.3. Fuentes de agua superficial y Subterránea.

Las fuentes de aprovechamiento del módulo 03 corresponden a los escurrimientos del río Duero y Río Lerma, las aguas confinadas en el Lago de Chapala, las aguas de drenaje interno y aguas de retorno, que se extraen a través del Equipo de Bombeo Río Lerma y Barraje de Ibarra. En Tabla 3 se observan los volúmenes de extracción totales de donde el módulo 03 extrae los volúmenes necesarios para riego.

Tabla 3. Volumen de extracción anual permitido por fuente de abastecimiento en el D.R. 024.

Fuente	Tipo de Aprovechamiento	Volumen promedio de extracción permitido (miles de m ³ al año)	Superficie dominada (ha)
Lago de Chapala	E. B. Abraham Guerra	22,270.0	10,271.00
Dren Pajacuarán	E. B. Pajacuarán	2,821.0	2,792.00
Río Lerma	E. B. Río Lerma	7,660.0	1,540.00
Río Duero	Barraje de Ibarra	60,040.0	23,186.00
	Total	92,791.00	37,789.00

Fuente: Documento Sobre las características del Distrito de Riego 024 “Ciénega de Chapala” de fecha 31 de julio de 2001.

El agua de rehúso es muy importante ya que se utiliza para regar un gran número de hectáreas en el módulo 03 y todo el Distrito de Riego, empleando bombas charqueras o extrayendo agua de los drenes donde los niveles lo permitan o alterando los niveles a modo, en Tabla 3, se aprecia el volumen de extracción total del Dren Pajacuarán, volumen que puede considerarse de rehúso por extraerse el agua de un dren sobre un canal.

En el Distrito de Riego 024 se encuentran los acuíferos Briseñas-Yurécuaro y Ciénega de Chapala, este último es uno de los más sobreexplotados de la región “Lerma- Santiago-Pacífico”.

Las aguas subterráneas en el módulo 03 se aprovechan mediante la explotación de 125 pozos de los 338 pozos particulares que hay en el Distrito. En Tabla 4 se indica que de los 125 pozos; 124 están en operación, se indica el volumen autorizado.





Tabla 4. Pozos módulo 03 Ballesteros de San Cristóbal

Modulo	No. de Pozos	En operación	Volumen autorizado (miles de m3)	Superficie (ha)
Ballesteros	125	124	14,239.1	2,432.95
Total	125	124	14,239.1	2,432.95

Fuente: CONAGUA, Distrito de Riego 024, Inventario de pozos autorizados por módulo (Actualizado a septiembre de 2002).

En cuanto a la calidad del Agua, según el monitoreo de Calidad del Agua, realizado por Conagua con base en el rediseño de la Red Nacional de Monitoreo (2002), ninguno de cuerpos de agua presentes en el Distrito de Riego se encuentra contaminados considerando la Demanda bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno, por lo que tienen la clasificación de “Aguas no contaminadas”. Véase Tabla 5 y Tabla 6

Tabla 5. Calidad del Agua del D.R. 024

Muestra	Salinidad (%)	CE (mmhos/cm2)	pH	Sólidos disueltos totales (mg/l)	Co (mg/l)	Fe (mg/l)
Río Lerma (Ibarra)	40	730	7.62	535		
Río Duero (Ibarra)	18	345	6.98	241	0.01	0.1
Río Lerma (Cumuato)	37	635	7.47	454	0.01	0.1
Río Duero (S Cristóbal)	18	320	6.92	230		
Lago De Chapala (La Palma)	41	750	7.12	532		
Presa Guaracha	13	242	7.76	173		
Presa Jaripo	11	220	7.19	155		

Fuente: CNA, Gerencia Regional Lerma-Santiago-Pacífico, Gerencia Estatal, Distrito de Riego 024, Diagnóstico de la Situación Actual y Perspectivas, 2000.





Tabla 6. Presencia de Coliformes fecales y bacterias en los cuerpos de agua.

Muestra	Determinación	Resultados
Lago De Chapala (La Palma)	BMA	12,000 UFC/100 ml
	Coliformes fecales	93 NMP UFC/100 ml
Río Duero (Ibarra)	BMA	8,000 UFC/ml
	Coliformes fecales	900 NMP UFC /100 ml
Río Duero (San Cristóbal)	BMA	46,000 UFC /ml
	Coliformes fecales	46,000 NMP ufc/100 ml
Río Lerma	BMA	30,000 UFC /ml
	Coliformes fecales	4,300 NMP UFC /100 ml
Río Lerma (Cumuato)	BMA	704,000 UFC /ml
	Coliformes fecales	Más de 240,000 NMP UFC /100 ml
Presa Guaracha	BMA	1,800 UFC /ml
	Coliformes fecales	90 NMP UFC /100 ml
Presa Jaripo	BMA	4,700 UFC /ml
	Coliformes fecales	400 NMP UFC /100 ml
NORMA	MAXIMO 100	NO DETECTABLE

Fuente: CNA, Gerencia Regional Lerma-Santiago-Pacífico, Gerencia Estatal, Distrito de Riego 024, Diagnóstico de la Situación Actual y Perspectivas, 2000.

BMA = Bacterias Mesófilas Aerobias

Los balances hídricos de las principales fuentes de abastecimiento del Distrito de Riego denotan que el 18% del agua que escurre al Distrito se utiliza para el riego de los cultivos; mientras el 75% continua su viaje al Lago de Chapala, tanto por el desfogue del Barraje de Ibarra como por el desagüe del sistema de drenaje. En Tabla 7 se observan los volúmenes de entrada y de salida del módulo 03.

Tabla 7. Balance Hídrico Módulo 03.

Fuente de Abastecimiento	Volumen miles de m ³
Entradas	
Río Lerma	5,588.9
Río Duero	496,618.6
Bombeo	33,956.3
Lluvia y otras entradas	21,418.6
Total	557,582.4
Salidas	
Riego	64,585.4
Desfogues	461,908.7
Almacenamiento	812.8
Bombeo particular de drenes	5,558.4
Evaporación y otras salidas	24,717.1





Total	557,582.4
-------	-----------

La principal fuente de abastecimiento superficial del módulo 03 es la presa derivadora que se ubica sobre el Río Duero, llamada Barraje de Ibarra, cuyas características se indican en Tabla 8 y en la Tabla 9 se indica el volumen concesionado para el módulo 03.

Tabla 8. Propiedades físicas Presa Derivadora Barraje de Ibarra.

Concepto	Unidad	Valor
Área de embalse	ha	1,071.06
Tipo de vertedor	Cimacio-descarga libre	
Cota cresta vertedor	msnm	1,526.60
Capacidad máxima vertedor	m ³ /seg	80.00
Volumen concesionado	miles de m ³ /año	27,860.00
Capacidad Útil almacenamiento	miles de m ³	19,110.07
Capacidad Obra de toma	m ³ /seg.	6.00
NAME elevación	msnm	1,527.00
NAME área	ha	1,119.60
NAME almacenamiento	miles de m ³	23,568.88
NAMO elevación	msnm	1,526.60
NAMO área	ha	1,072.24
NAMO almacenamiento	miles de m ³	19,268.09
Capacidad Muerta elevación	msnm	1,523.24
Capacidad Muerta área	ha	31.60
Capacidad Muerta almacenamiento	miles de m ³	158.02

Fuente: CONAGUA, Distrito de Riego 024, Plan de acciones para la rehabilitación y modernización de los distritos de riego, 2000.

Tabla 9. volúmenes concesionados Presa Barraje de Ibarra.

Módulo	Volumen promedio de extracción permitida (m ³ /año)
Cumuato	27,860,000
Ballesteros de San Cristóbal	32,180,000
Total	60,040,000

Fuente: CONAGUA, Distrito de Riego 024, Plan de acciones para la rehabilitación y modernización de los distritos de riego, 2000.





Las plantas de bombeo con las que cuenta el módulo 03, cumplen con las funciones de riego, drenaje de riego. Ambas plantas fungen como bombeo de aguas de rehúso y en Tabla 10 se indica su capacidad de bombeo.

Tabla 10. Plantas de Bombeo Módulo 03.

No.	Nombre	Riego (m ³ /s)	Drenaje (m ³ /s)
Módulo Ballesteros de San Cristóbal			
15	Ballesteros II	---	3.5
16	Ballesteros III	---	24.0
	Total, Módulo	---	27.5

Fuente: Acta de Asamblea ordinaria del Comité Hidráulico del Distrito de Riego No. 024, Ciénega de Chapala, Michoacán (19 de enero de 2005).

Las dos plantas de bombeo del módulo 03, drenan los excesos de precipitación, pero también drenan los excedentes de riego y de drenaje generados en el Módulo VI del Distrito de Riego 061 de Zamora.

El volumen neto entregado al módulo 03, asciende a los 15,438.6 miles de m³, en Tabla 11 se indican el volumen entregado por módulo.

Tabla 11. Volúmenes entregados.

Módulo	Volumen Bruto (miles de m ³)	Volumen Neto (miles de m ³)
La Palma de la Ciénega	36,890.8	23,101.0
Cumuato	34,464.1	21,581.4
Ballesteros de San Cristóbal	24,654.4	15,438.6
Total	96,009.4	60,121.1

Fuente: CONAGUA, Distrito de riego 024, Calendario de ingresos propios 2003-2004. Plan de riegos 2003-2004, Anexo 13.





7.1.4. Producción Agrícola.

La producción agrícola del módulo 03 está caracterizada principalmente por producir en su mayoría granos, siendo el maíz el que más se siembra, el cultivo con menor producción es la fresa con menos del 1%, en Figura 6 se aprecia el mosaico de cultivos del módulo 03.

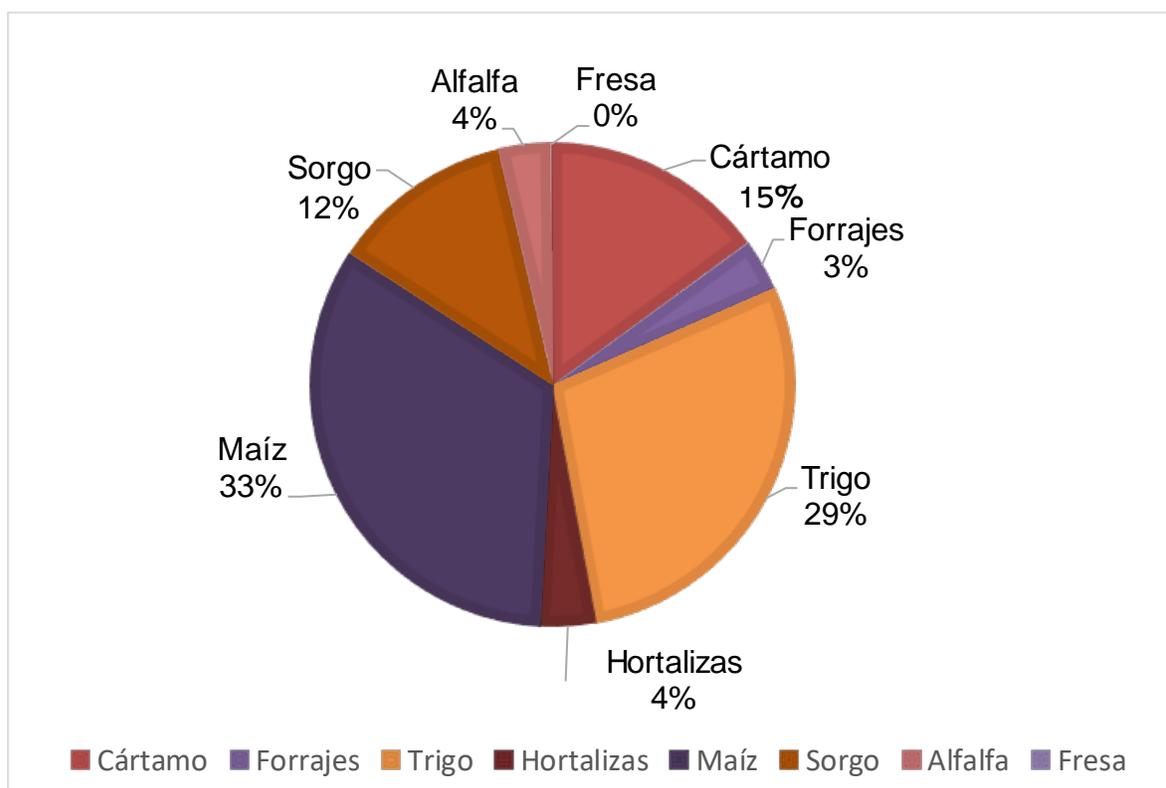


Figura 6. Mosaico de cultivos del módulo 03.

En Tabla 12 se aprecia que la superficie total de riego es de 18,583 hectáreas anuales el promedio y se indica el volumen bruto para cada ciclo de riego.





Tabla 12. Superficies de riego

Años	Superficie Total (ha)	Volumen Bruto (miles de m ³)	Volumen (miles de m ³ /ha)
1994/95	19,054	100,503	5.3
1995/96	23,309	122,315	5.2
1996/97	21,483	93,889	4.4
1997/98	15,042	60,431	4.0
1998/99	18,025	87,277	4.8
1999/00	18,263	74,015	4.1
2000/01	17,361	111,863	6.4
2001/02	15,491	67,890	4.4
2002/03	15,633	50,407	3.2
2003/04	22,172	95,090	4.3
Total	185,833	863,681	4.6
Promedio	18,583	86,368	4.6

Fuente: Cierre de los ejercicios anuales de los informes de distribución de agua del Distrito 024 Ciénega de Chapala

Lo volúmenes de agua demandados por cultivo se indican en Tabla 13, se aprecia que la fresa y la alfalfa son lo que más necesitan agua, el maíz en un ciclo normal de riego requiere menos volumen de agua por hectárea que cuando se requiere agua en un riego de auxilio por tener estrés hídrico.

Tabla 13. volúmenes demandados por cultivo.

Cultivos	Superficie Total ha	Volumen Bruto miles de m ³	Volumen miles de m ³ / ha
Riegos Aux:	898	4,428	4.9
Hortalizas	821	4,079	5.0
Maíz	77	349	4.5
O/I:	7,879	44,517	5.7
Cártamo	2,321	8,325	3.6
Forrajes	535	4,290	8.0
Trigo	4,446	27,601	6.2
Hortalizas	577	4,301	7.5
P/V:	7,051	22,116	3.1
Maíz	5,167	15,584	3.0
Sorgo	1,884	6,532	3.5
Perennes:	637	7,759	12.2
Alfalfa	538	4,053	7.5
Fresa	26	956	36.6

Fuente: Cierre de los ejercicios anuales de los informes de distribución de agua del





Distrito 024 Ciénega de Chapala

7.1.5. Tenencia de tierra y agua.

Las tenencias de las tierras que conforman un D.R. cuentan con tres modalidades, el módulo 03 “Ballesteros de San Cristóbal” cuenta con tierras ejidales, tierras de pequeña propiedad y colonias agrícolas. Es el único de los tres que cuenta con las tres modalidades de tierra, véase Tabla 14.

Tabla 14. Tenencia de la Tierra Módulo Ballesteros de San Cristóbal

Municipios	Ejidal		Colonias		P. Propiedad		Totales	
	Usuarios	Superficie Riego (ha)	Usuarios	Superficie Riego (ha)	Usuarios	Superficie Riego (ha)	Usuarios	Superficie Riego (ha)
Ixtlán	238	530			9	172	247	702
Pajacuarán	3,013	6825	41	701	186	2,688	3,240	10214
V. Hermosa	1,037	2932					1,037	2932
Módulo	4,288	10,287	41	701	195	2,860	4,524	13,848

Fuente: CONAGUA, Distrito de Riego 024, Padrón de Usuarios 2004-2005.

7.2. Caracterización del módulo 03.

Determinar las características del Distrito Riego 024 describiendo sus rasgos y morfología nos ayudara a entender la sinergia que existe entre los tres módulos que lo conforman, el módulo 03 se eligió para realizar el estudio designando una parcela piloto ubicada en las partes más altas del terreno y donde se tenía información detallada para su estudio.

La caracterización del distrito de riego se describirá mediante mapas generados con el software Q Gis, describiendo el distrito, el módulo de interés; el 03 y ubicando la parcela piloto para realizar el estudio de la modernización del sistema de riego.

Para la elaboración de mapas se obtuvo basta información SIG analizando sus atributos para entender y describir la zona geográfica, el conjunto de canales, sus fuentes de abastecimiento de agua y sus áreas de cultivo.

El distrito de riego 024 se ubica al noreste del estado de Michoacán, colinda con los estados de Jalisco y Guanajuato, dentro de sus principales fuentes de abastecimiento superficial se encuentra el lago de Chapala que abastece a los tres módulos, el módulo 01 es el único que cuenta con sus presas de almacenamiento y el módulo 02 y 03 es abastecido por la presa derivadora que se ubica sobre el río Duero (Véase la Figura 7).



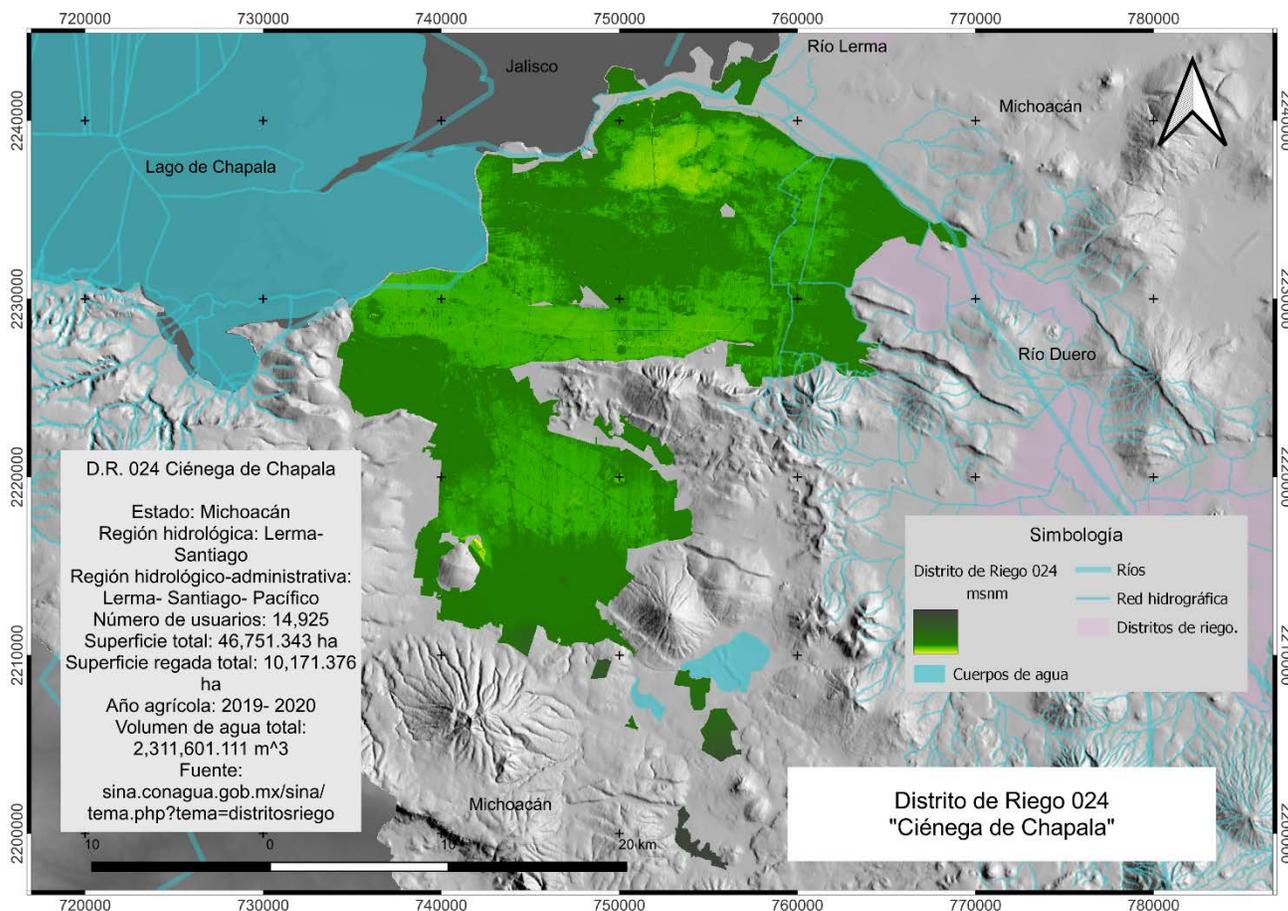


Figura 7. Superficie del D.R. 024

En la Figura 8 se muestra el bordo de contención mediante el cual se definieron los límites del D.R. 024, originalmente el bordo de contención se conformó desde la localidad de La Palma hasta la localidad de La Maltaraña, actualmente el bordo se extiende por la ribera del río Duero hasta los límites con el municipio de Ixtlán de los Hervores.

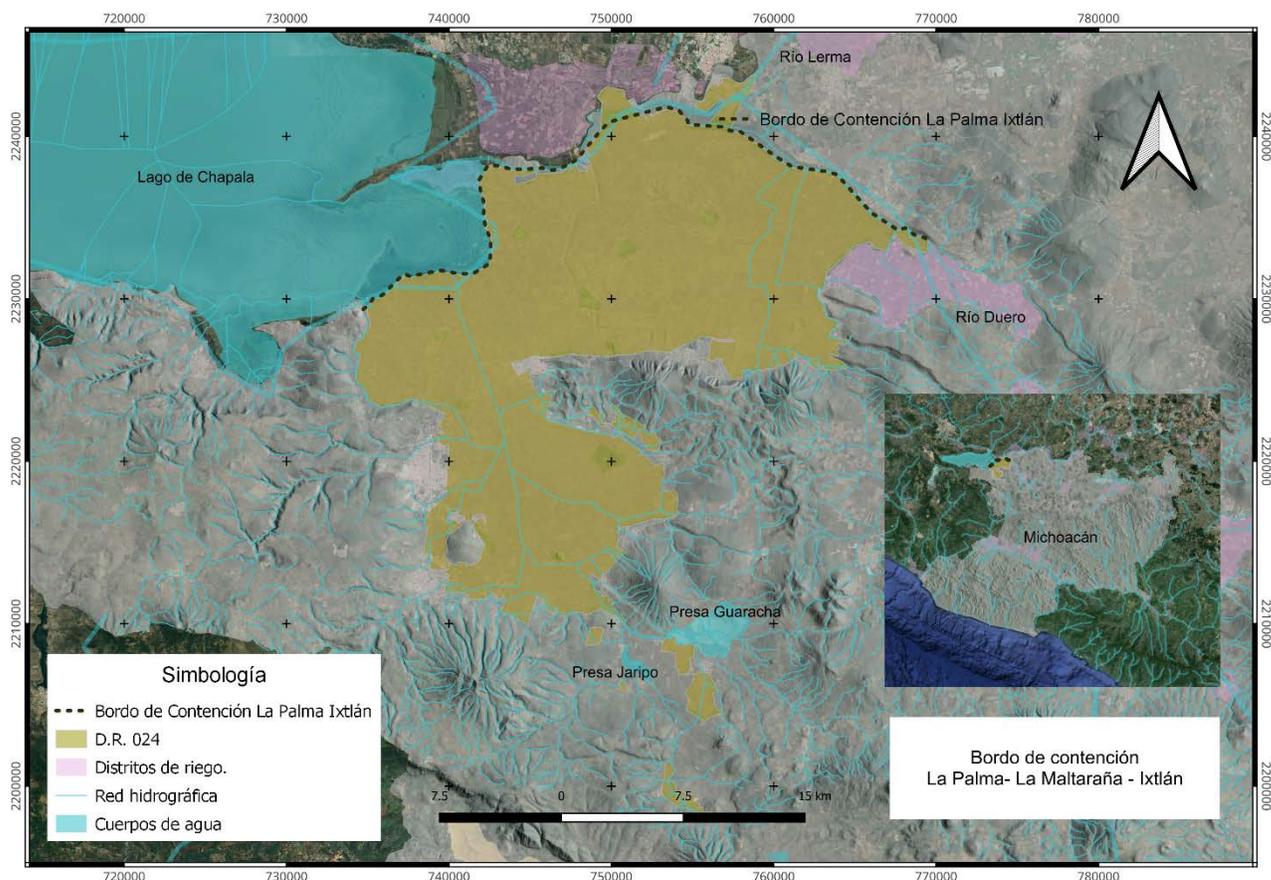


Figura 8. Bordo de contención para confinar las aguas del Lago de Chapala.

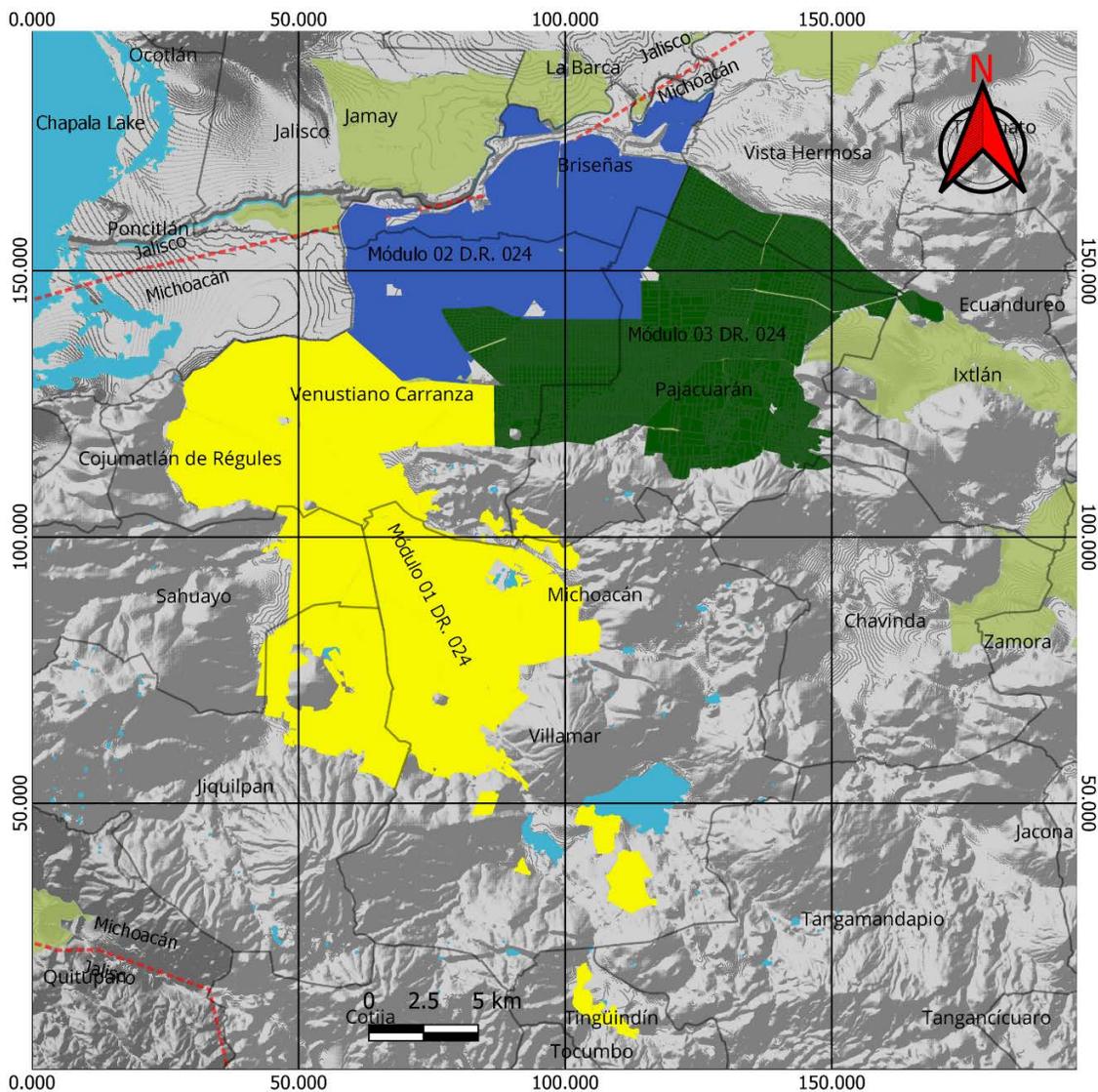
En la Figura 9 se aprecia la sinergia que existe entre el Distrito de Riego 024 de nuestra zona de estudio y el Distrito de Riego 061 de Zamora, dado que se conectan drenes que se forman desde el D.R. 061 para drenar el excedente de aguas al D.R. 024.



**LOCALIZACIÓN DE MÓDULOS QUE CONFORMAN
 EL DISTRITO DE RIEGO 024
 "CIÉNEGA DE CHAPALA"**



Instituto de
 Investigaciones en
 Ciencias de la Tierra



SIMBOLOGÍA	
Módulo 01	México_Estados
Módulo 02	Municipios
Módulo 03	Distritos de Riego
Cuerpos de Agua	



Figura 9. Distritos vecinos del D.R. 024 y colindancia con el D.R. 061 Zamora en el municipio Ixtlán de los Hervores.



El distrito de riego 024 es conformado por tres módulos de riego, siendo el módulo 03 “Cumuato A.C.” al que nos referimos en esta investigación. En Figura 10 se observan las superficies de cada módulo de riego y los municipios que dominan al módulo 03, los cuales son Pajacuarán, Venustiano Carranza y parte de los municipios de Ixtlán de los Hervores, Chavinda y Briseñas. En Figura 11 se nuestro un mapa general de todos los municipios que abarca el D.R. 024.

La red de drenes, canales y pozos del Distrito de Riego 024 se muestran en las figuras; Figura 12, Figura 13 y Figura 14; respectivamente.

En la Figura 15 se aprecian las elevaciones de todo el distrito, se aprecia que la mayor altitud se encuentra en el módulo 01, las altitudes aproximadamente van desde los 1455 a los 1783 msnm, la parte de menor elevación se localiza en el módulo 03, cuyas altitudes van desde los 1455 a los 1545 msnm aproximadamente como se observa en la Figura 16.

El módulo 03 es el que cuenta con mayor número de pozos en todo el distrito de riego, véase Figura 17.

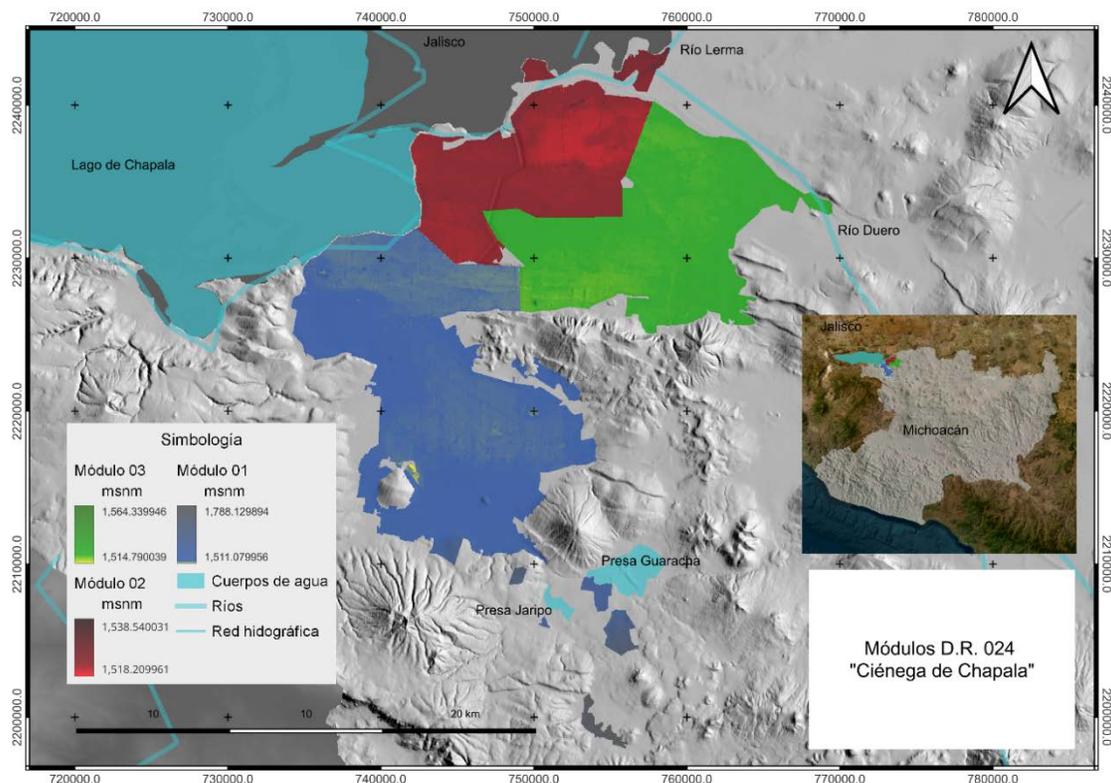


Figura 10. Módulos del D.R. 024

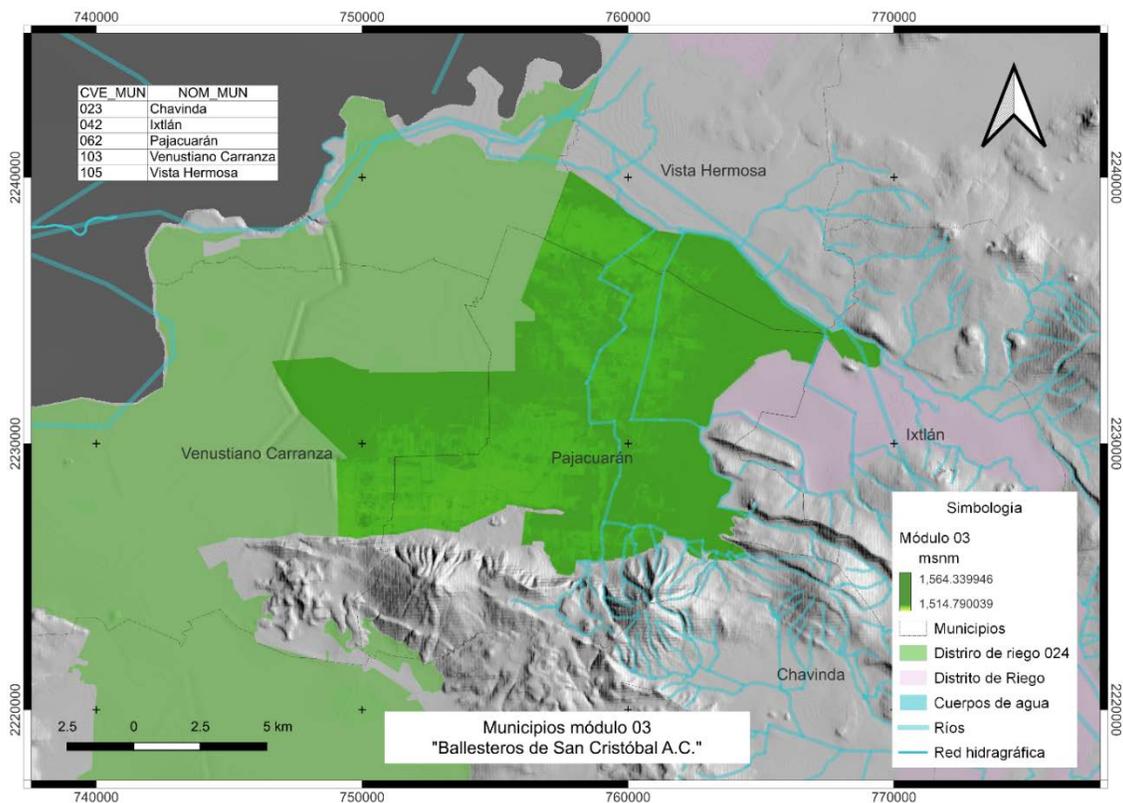


Figura 11. Municipios que conforman el D.R. 024

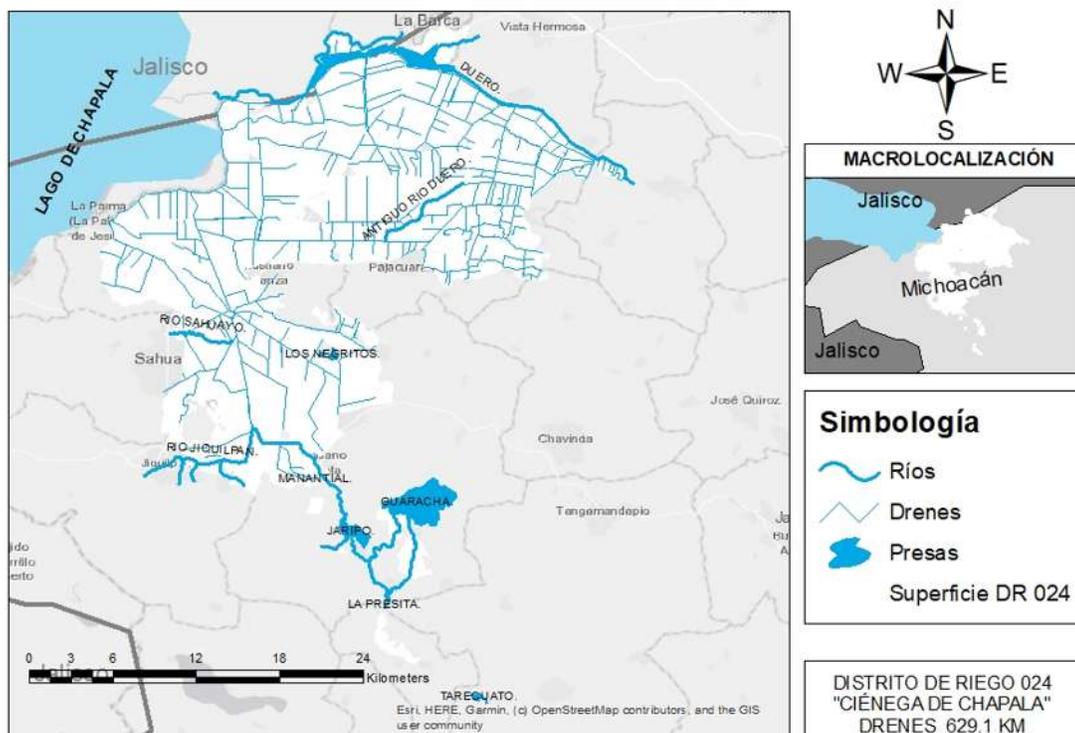


Figura 12. Red de Drenaje D.R. 024 Ciénega de Chapala.

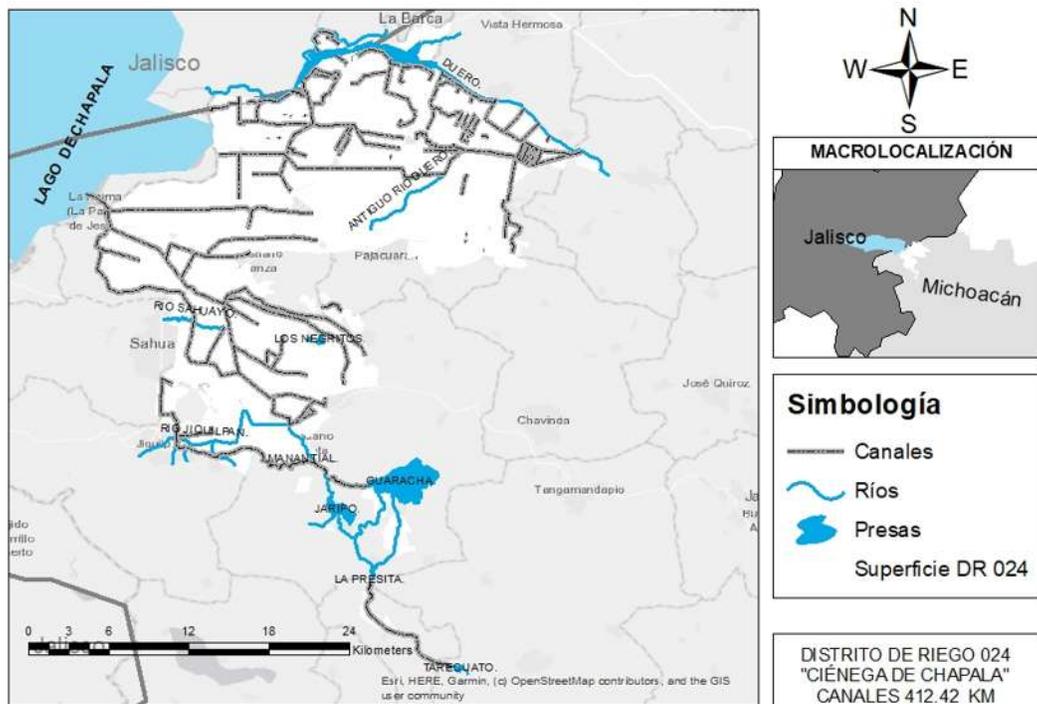


Figura 13. Red de Canales Distrito de Riego Ciénega de Chapala.

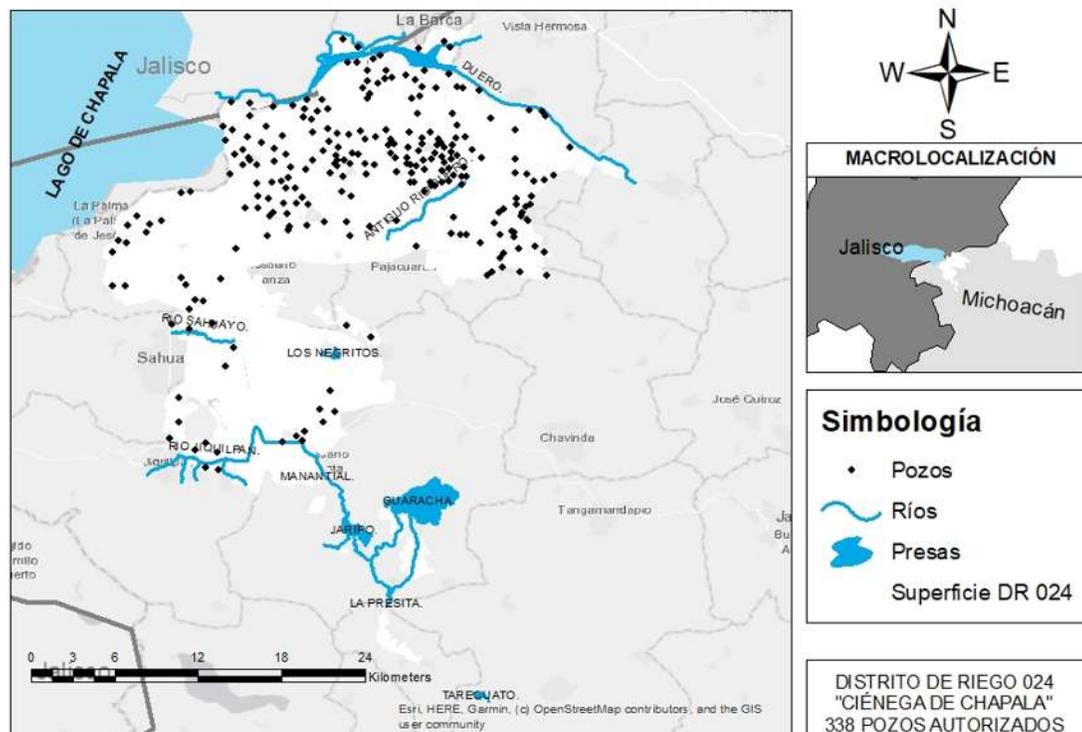
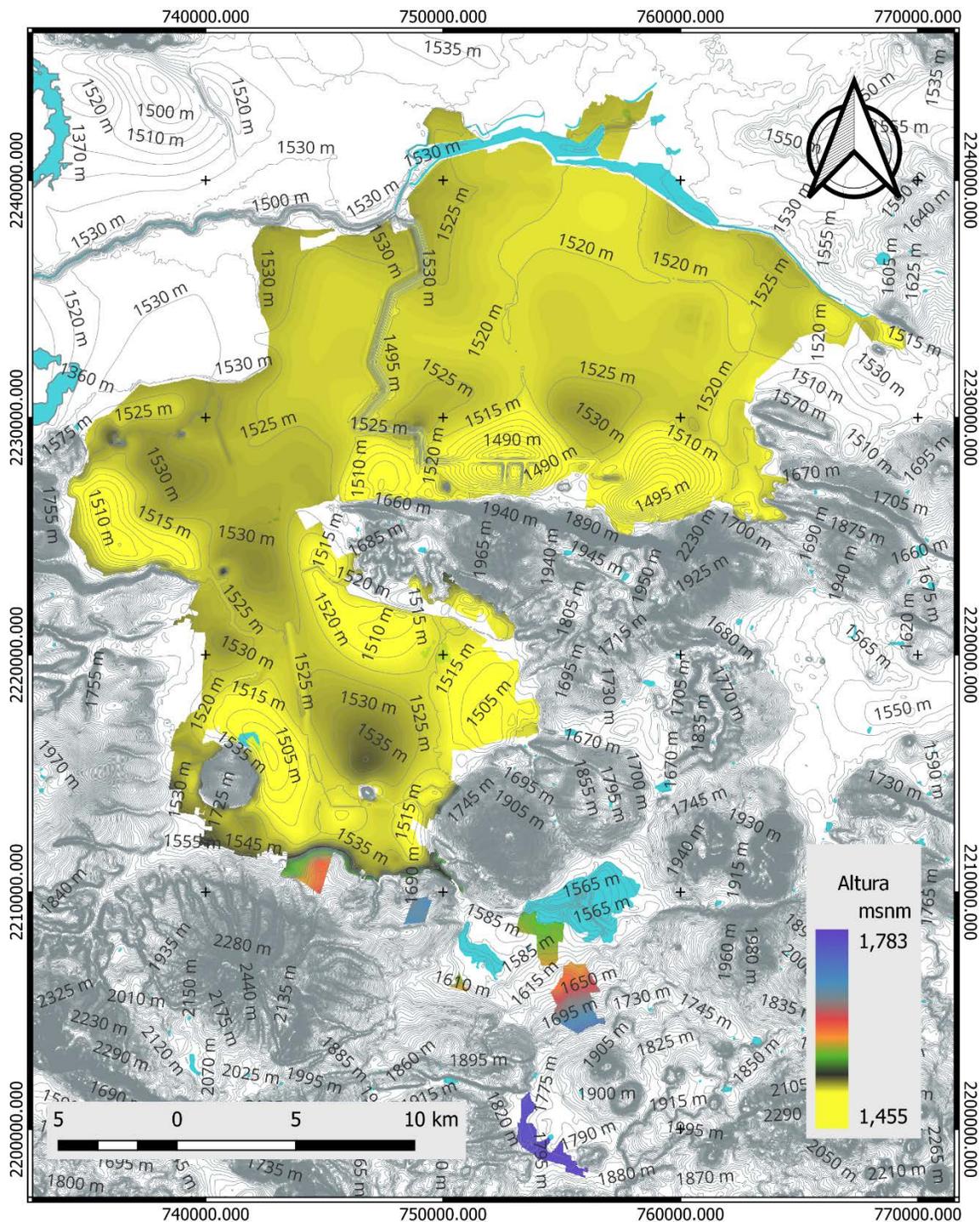


Figura 14. Pozos Profundos concesionados en el D.R. 024



Modernización del Módulo 03 Ballesteros de San Cristóbal del Distrito de Riego "Ciénega de Chapala", en el Estado de Michoacán.



SIMBOLOGÍA

- Curvas de Nivel
 - D.R. 024
 - Cuerpos de Agua
- Altura
msnm
- 1,783
 - 1,455

**MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES
D.R. 024
"CIÉNEGA DE CHAPALA"**

Figura 15. Modelo Digital de Elevaciones D.R. 024



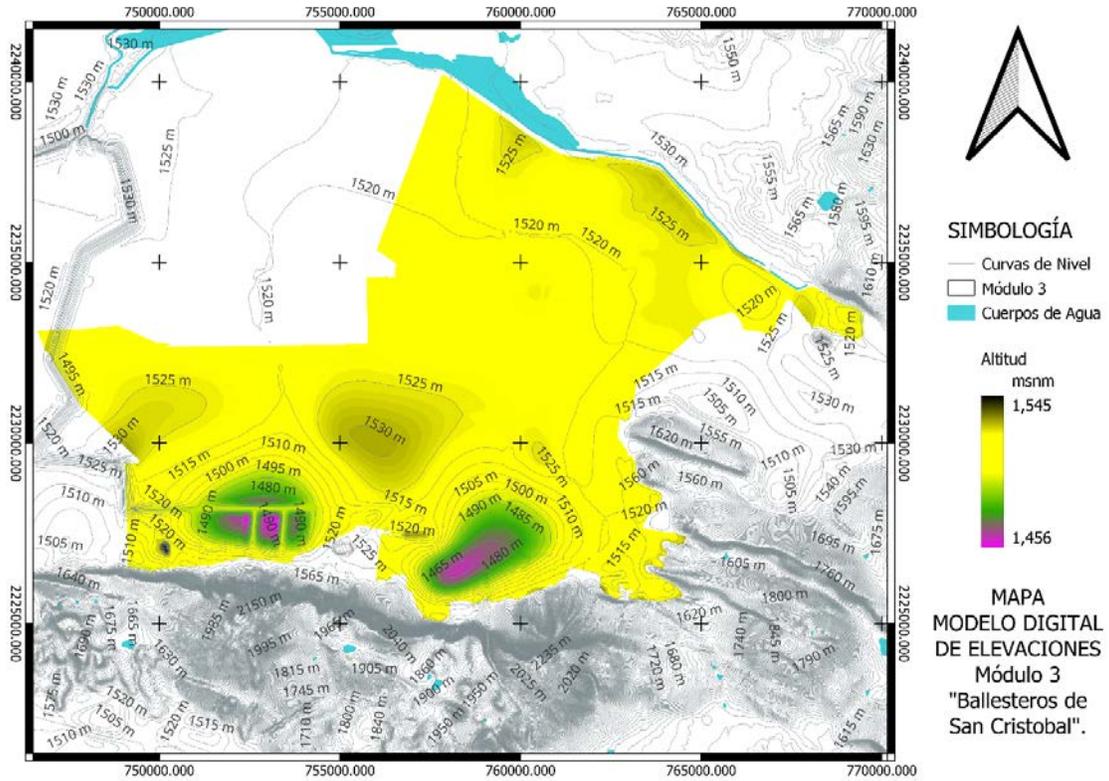


Figura 16. Modelo Digital de Elevaciones Módulo 3.

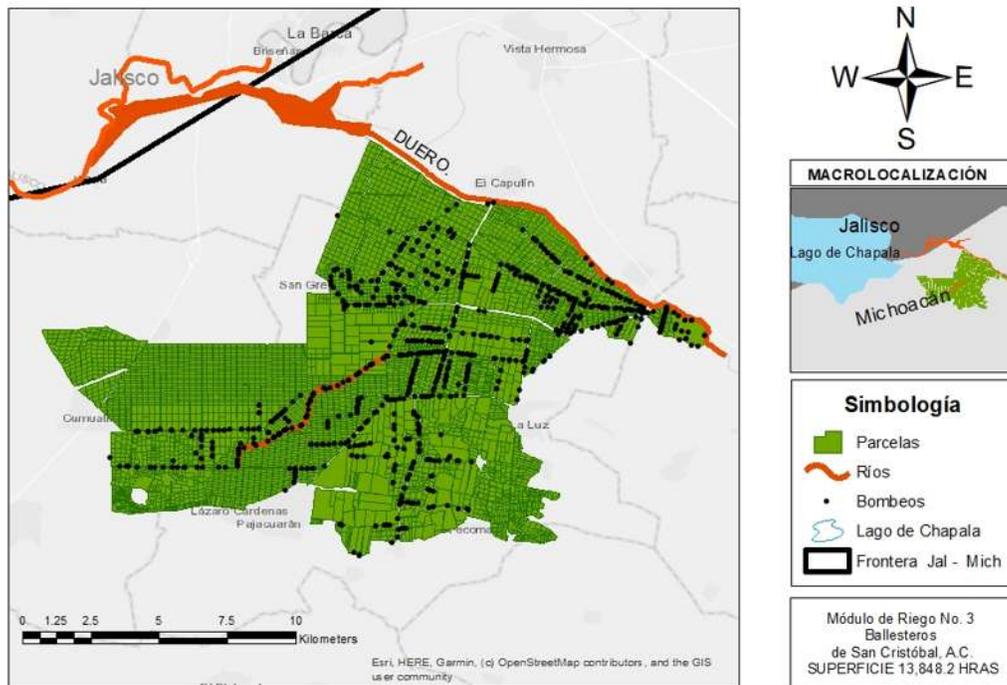


Figura 17. Pozos módulo 03.

Ya identificadas las características de todo el D.R. 024 y particularmente del módulo 03 mediante el análisis de los datos geoespaciales, nos permitió mejorar la comprensión de los elementos que conjugan todo el módulo, para tomar las decisiones y predecir las consecuencias de la modernización del modelo de riego en el módulo 03; mediante la visualización y análisis utilizando SIG.

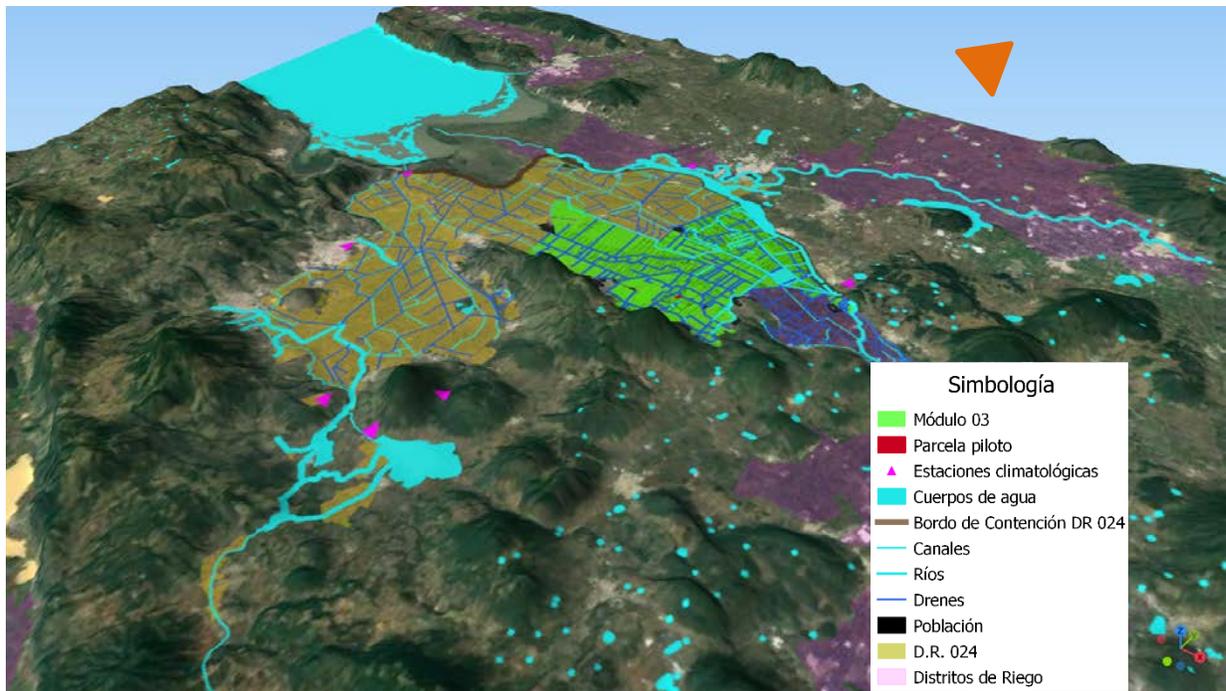


Figura 18. Visualización y análisis 3D del módulo 03.

En la Figura 18 se aprecia una vista hacia el noreste del distrito de riego, se aprecian los cuerpos de agua, el D.R. 024 recibe los excedentes de agua del D.R. 061 apreciando que entran por el módulo 03 creando una sinergia interesante en el abastecimiento de agua e ambos módulos, afectando en excedencias al módulo 03 por los escurrimientos no deseados.

El resultado final de la caracterización del módulo 03 se muestra en la Figura 19, donde también se observa en color rojo la ubicación de la parcela piloto en la cual se diseñará el modelo de riego en cuestión y en la Figura 20 se muestran las características de la parcela piloto con un área de 5.78 ha indicado también la topografía de la zona.



Modernización del Módulo 03 Ballesteros de San Cristóbal del Distrito de Riego
"Ciénega de Chapala", en el Estado de Michoacán.

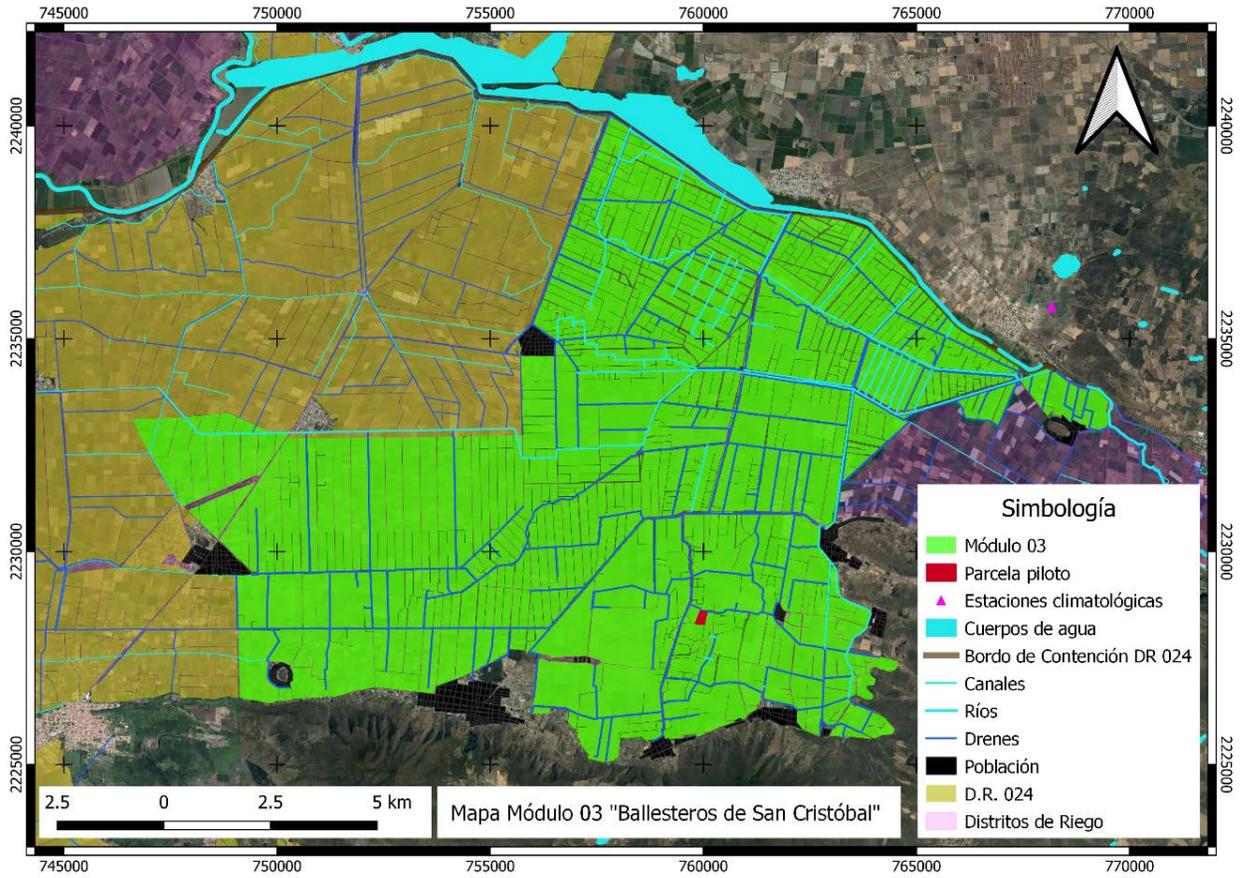


Figura 19. Mapa Módulo 03.



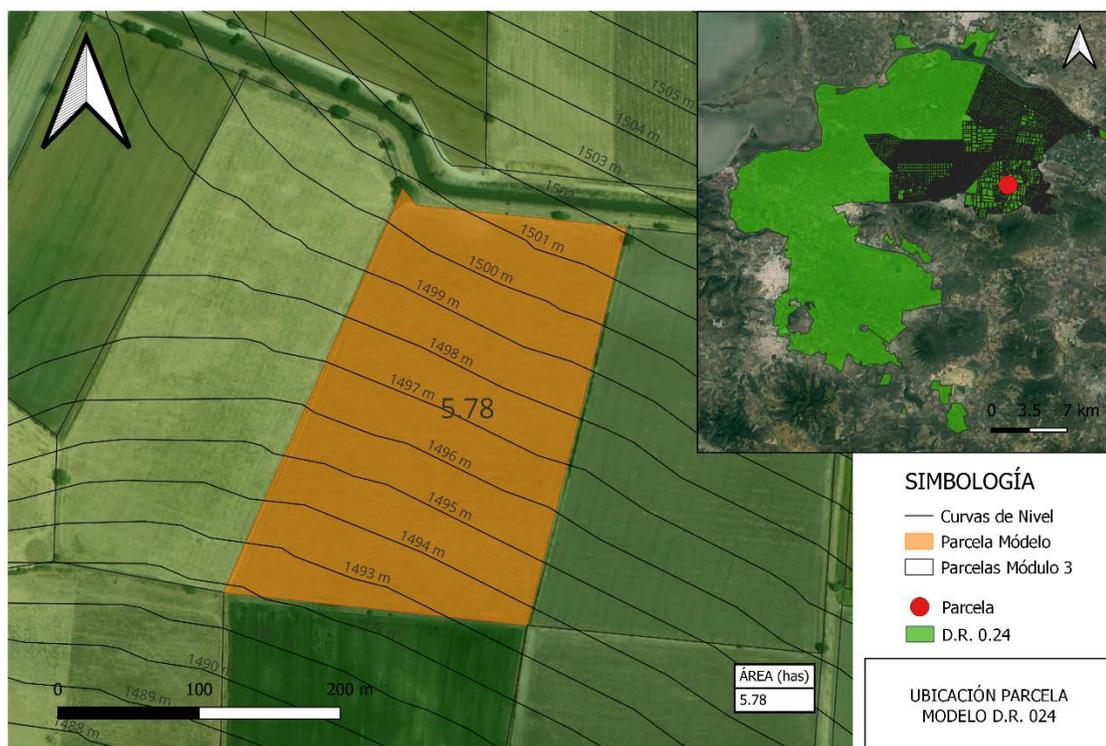


Figura 20. Ubicación parcela piloto respecto al D.R. 024

7.3. Cálculo del uso consuntivo del mosaico de cultivos del módulo 03.

El cálculo del uso consuntivo es de suma importancia para el diseño de un sistema de riego, de las obras de almacenamiento y de líneas de conducción y distribución y drenaje.

A continuación, se muestran los datos y referencias a considerar para calcular el uso consuntivo.

El mosaico de cultivos del D.R. Figura 6 ha variado a lo largo de los años, pero principalmente se caracteriza por producir en su mayoría granos. Los usos consuntivos de los principales cultivos se calcularon a partir de la información de las estaciones meteorológicas indicadas en la Tabla 15.

Cercano al área del Distrito de Riego 024 se localizaron 14 estaciones meteorológicas, de las cuales solo 7 estaciones indicadas cuentan con registros de más de 20 años para observar el comportamiento climatológico, la mayoría de ellas se localizan en el Módulo de La Palma, véase Figura 21.



Tabla 15. Estaciones meteorológicas D.R. 024

Módulo	Estación	Municipio	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)
La Palma	Emiliano Zapata	Villamar	102° 34' 12"	20° 00' 00"	1,550
	La Palma	V. Carranza	102° 45' 13"	20° 08' 21"	1,529
Cumuato	Cumuato	Briseñas	102° 35' 13"	20° 15' 10"	1,521
Ballesteros	San Cristóbal	Ixtlán de los H.	102° 26' 03"	20° 11' 10"	1,534

Fuente: CONAGUA, Distrito de Riego 024, Estaciones Climatológicas.

Tabla 16. Datos climatológicos estaciones.

Módulo	Estación	Precipitación media anual (mm)	Evaporación media anual (mm)	Temperatura (°C)			Período registros (años)
				Med	Máx	Mín	
La Palma	E. Zapata	806.32	1,981.27	20.8	26.5	15.3	20
	La Palma	762.26	2,087.27	17.5	27.4	0.0	51
Cumuato	Cumuato	794.63	2,198.13	19.3	33.5	11.2	49
Ballesteros	San Cristóbal	809.38	1,988.88	18.2	24.7	10.4	31

Para el cálculo de la evapotranspiración o uso consuntivo se utilizó el método de Blaney-Criddle, por tomar mayores variables en cuenta como lo son la temperatura y horas diarias de sol, el tipo de cultivo, la duración del ciclo fenológico, la temporada de siembra y la zona. Las horas diarias de sol se tomaron de la tabla 4.5 de (Aparicio, 1992). En la Tabla 16 se muestran las temperaturas promedio obtenidas y en Tabla 17 se muestra el ciclo fenológico de cada cultivo y el uso consuntivo obtenido mensualmente.

Tabla 17. Temperatura promedio mensual de la estación ficticia.

Estación Ficticia	
Mes	T prom °C
Enero	15.17
Febrero	16.86
Marzo	19.37
Abril	20.90
Mayo	22.15
Junio	21.26
Julio	19.53
Agosto	20.03
Septiembre	20.61



Octubre	19.46
Noviembre	18.03
Diciembre	16.11
Coordenadas	
Long. (m)	758,034
Lat. (m)	2,231,672
Elev. (msnm)	1,521

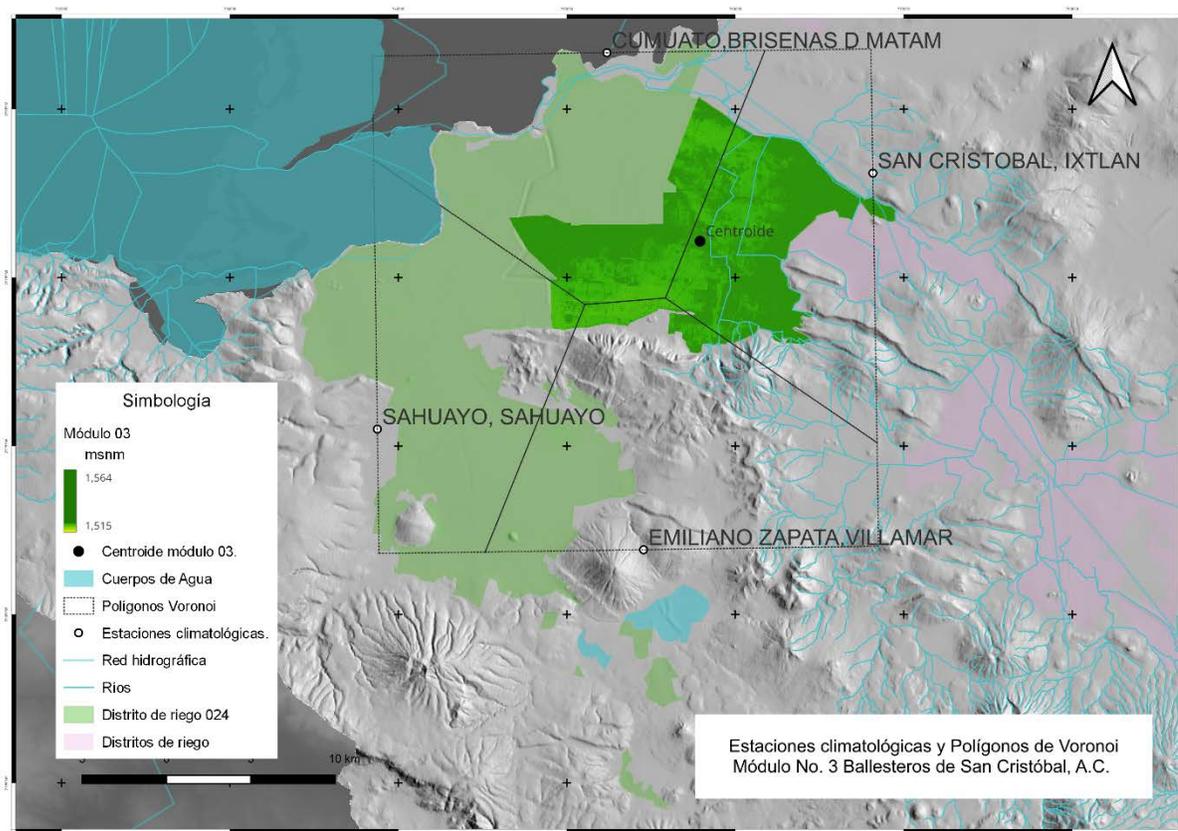


Figura 21 Polígonos de Voronoi de las estaciones meteorológicas con datos suficientes.



Tabla 18. Uso consuntivo mensual.

Mes	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Total
Cártamo Otoño-Invierno													
UC	2.25	4.93	7.56	9.05	10.56	7.53	1.49						43.38
UC Ac	2.25	7.18	14.74	23.80	34.36	41.89	43.38						
Garbanzo Otoño-Invierno													
UC	2.56	6.38	8.62	7.50	3.23								28.29
UC Ac	2.56	8.94	17.56	25.06	28.29								
Chile Otoño-Invierno													
UC	2.02	4.93	10.26	13.04	12.32	1.82							44.39
Acum	2.02	6.95	17.21	30.25	42.58	44.39							
Trigo Otoño-Invierno													
UC	4.00	6.74	9.12	11.18	8.97	2.85							42.86
Acum	4.00	10.74	19.85	31.04	40.01	42.86							
Cebolla Primavera-Verano													
UC	2.06	7.34	12.80	14.20	4.95								41.35
Acum	2.06	9.40	22.20	36.40	41.35								
Fríjol Primavera-Verano													
UC	3.98	9.98	12.55	8.63									35.14
Acum	3.98	13.96	26.51	35.14									
Jitomate Primavera-Verano													
UC	1.81	6.47	11.39	12.90	10.68	3.21							46.46
Acum	1.81	8.27	19.67	32.57	43.24	46.46							
Maíz Primavera-Verano													
UC	3.15	7.31	11.60	14.08	13.11	10.02	2.84						62.10
Acum	3.15	10.45	22.06	36.14	49.25	59.27	62.10						
Alfalfa Perenne													
UC	8.65	7.41	3.38	4.48	7.55	10.23	14.22	15.01	14.62	14.22	12.79	11.25	123.79
Acum	8.65	16.05	19.43	23.92	31.47	41.70	55.92	70.93	85.55	99.76	112.55	123.79	
Fresa perenne													
UC	2.44	4.24	5.22	6.72	7.77	8.88	11.74	12.49	12.74	4.67			76.91
Acum	2.44	6.68	11.90	18.62	26.39	35.27	47.02	59.50	72.24	76.91			





Tabla 19. Usos consuntivos de los principales cultivos.

Ciclo	Cultivo	UC (cm)
Otoño - invierno	Cártamo	43.38
	Garbanzo	28.29
	Chile	44.39
	Trigo	42.86
Primavera - Verano	Cebolla	41.35
	Fríjol	35.14
	Jitomate	46.46
Perennes	Maíz	62.10
	Alfalfa	123.79
	Fresa	76.91

Dado que el módulo 03 como todo el distrito se considera productor de granos y que los usuarios conocen el cultivo de maíz en mayor medida, nuestro diseño se enfocara principalmente en granos, específicamente en el maíz dado que se busca justifique la inversión de modernizar el modelo de riego en pro de una mayor producción de ton/ha.

7.4. Diseño del modelo de riego en parcela piloto.

7.4.1. Selección de Parcela Piloto.

La parcela piloto seleccionado se ubica en los niveles más altos del módulo 03, se encuentra cerca de la localidad de Pajacuarán y se encuentra con información suficiente que permitió caracterizarla como se muestra en Figura 23, se muestra la longitud de sus lados, cuenta con una superficie de 5.78 has, se muestra la toma de agua en el dren mediante bombeos, se muestra la topografía y los caminos de acceso.



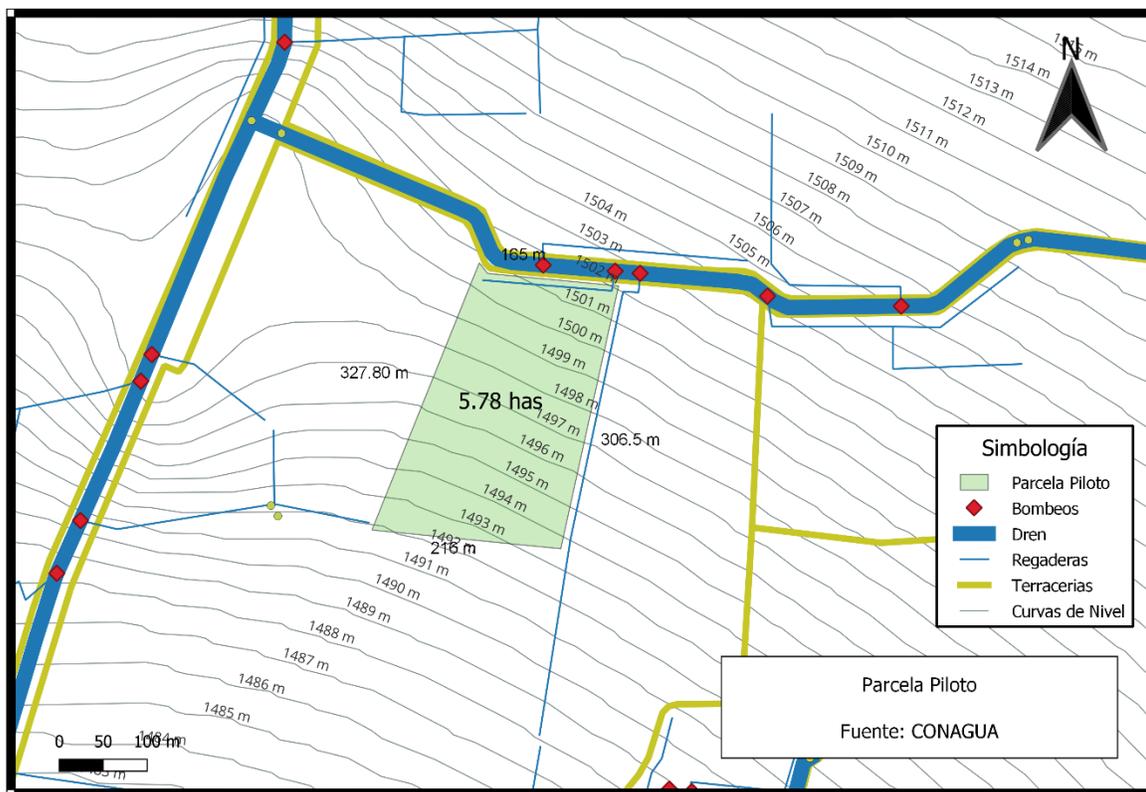


Figura 22. Características de la parcela piloto.

Los métodos de riego se pueden agrupar en sistemas de riego de alta presión, baja presión y presión nula, véase Figura 16.



Sistema de riego parcelario	Presión nula	Cobertura total del terreno	Subsuperficial	Nivel freático controlado		
			Superficial	Melgas Surcos Surcos en contorno Corrugaciones y cajetes		
	Baja presión		Multi-compuertas (0.1– 0.2 kg/cm ²)			
	Alta presión		Cobertura parcial del terreno	Aspersión (2 - 7 kg/cm ²)	Estacionarios	Fijo
						Semifijo
						Portátil
						Cañón fijo
						Side roll
					Movimiento continuo	Pivote central
	Cañón viajero					
Avance frontal						
Alta presión	Cobertura parcial del terreno	Localizado (0.5 – 2.5 kg/cm ²)	Goteo (0.5 – 1.3 kg/cm ²)	Superficial		
				Enterrado		
			Microaspersión (1.3 - 2.5 kg/cm ²)	Microaspersión		
Borboteo						

Figura 23. Clasificación de los sistemas de riego con base en el nivel de presión requerida.

Para la selección del método de riego intervienen una gran cantidad de factores para obtener el máximo beneficio del sistema de riego, los factores que afectan la selección del método de riego son, las características del cultivo, la textura del suelo, la topografía, la calidad del agua, la velocidad del viento.

El sistema propuesto es por goteo de emisión continua(cinta), ya que se puede emplear en los cultivos sembrados en hileras y en todos aquellos cultivos que paguen la inversión, en cuanto a la calidad del agua el agua empleada en este sistema de riego se debe decantar, filtrar y si es posible tratar químicamente, en cuanto al tipo de suelo este sistema se adapta muy bien a suelos de textura arenosa, en cuanto a la topografía se puede usar en terrenos planos como es el caso del D.R. en cuanto al clima se puede emplear en climas áridos, semiáridos y subhúmedos como es nuestro caso, en cuanto a la velocidad del viento no afecta la uniformidad en la aplicación.

En la Figura 24 se muestran los componentes principales de un sistema de riego localizado a goteo superficial.



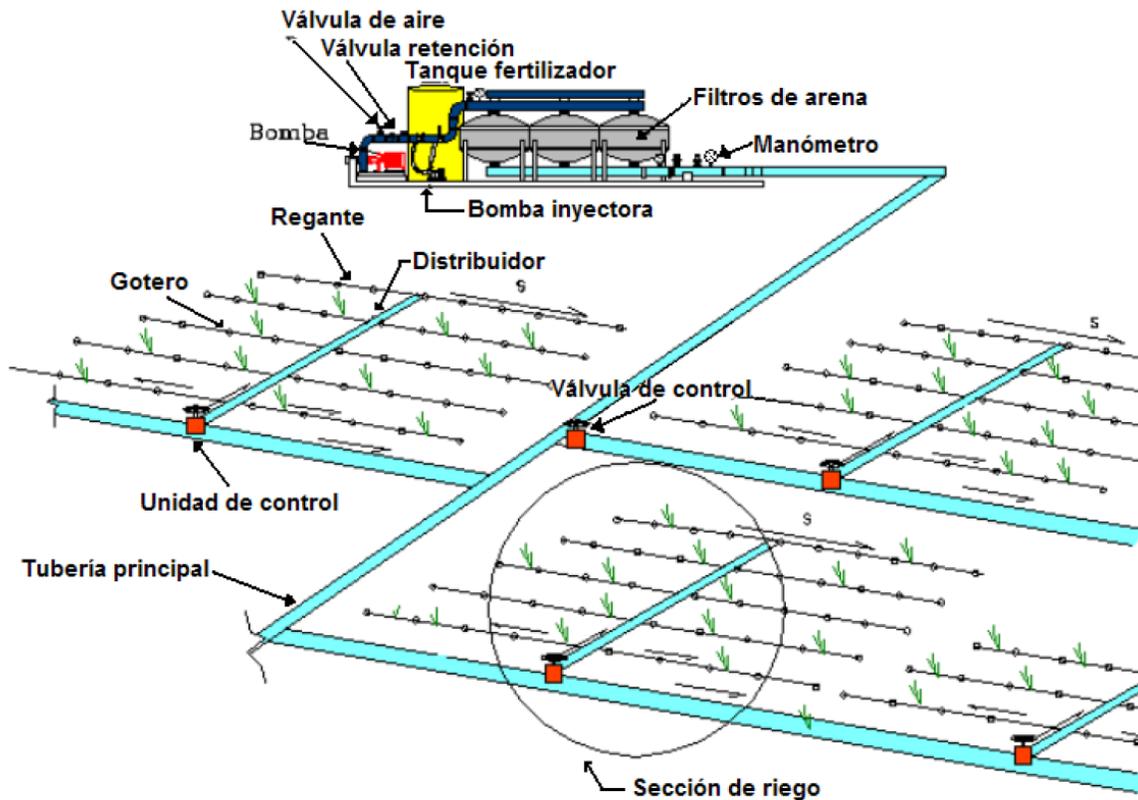


Figura 24. Componentes principales de un sistema de riego localizado. Fuente Enciso et al (1998).

Dadas las características del Distrito de Riego se tomará una parcela del Módulo No. 03 Ballesteros de San Cristóbal, para aplicar el modelo de riego por goteo seleccionado.

En Figura 19 se muestra la ubicación de nuestra parcela de estudio ubicada en el Módulo 03.

Se realiza el trazo de la línea de conducción y de la red de distribución en función de la topografía del terreno para comenzar con el diseño Hidráulico en el software EPANET. (Daniel, 2014)

Una de las preguntas más frecuentes sobre el montaje de un sistema de riego es cual debe ser la distancia entre goteros y qué caudal de agua se debe de utilizar para regar.

El objetivo es conseguir satisfacer las necesidades de agua del cultivo para asegurar una buena cosecha.

El número de goteros para riego y la separación entre ellos se expone a continuación, para este caso consideraremos maíz con un marco de plantación que se muestra en



Para cuantificar cuántos goteros se necesitan en una instalación de riego por goteo es necesario saber el volumen de suelo humedecido por gotero.

Es importante abarcar todas las raíces de la planta para asegurar que el cultivo pueda absorber toda el agua que necesita.

En la Figura 29 se muestran el número de goteros a considerar, uno por planta. Se considero la forma asimétrica en la parcela, nos dio un total de 736,906 goteros. A continuación, seccionaremos nuestra parcela como se muestra en Figura 31.

MARCO DE PLANTACIÓN DE MAÍZ
0.8 m x 0.1 m
736, 906 plantas
127,053 plantas/ha

Figura 25. Plantas por hectárea.

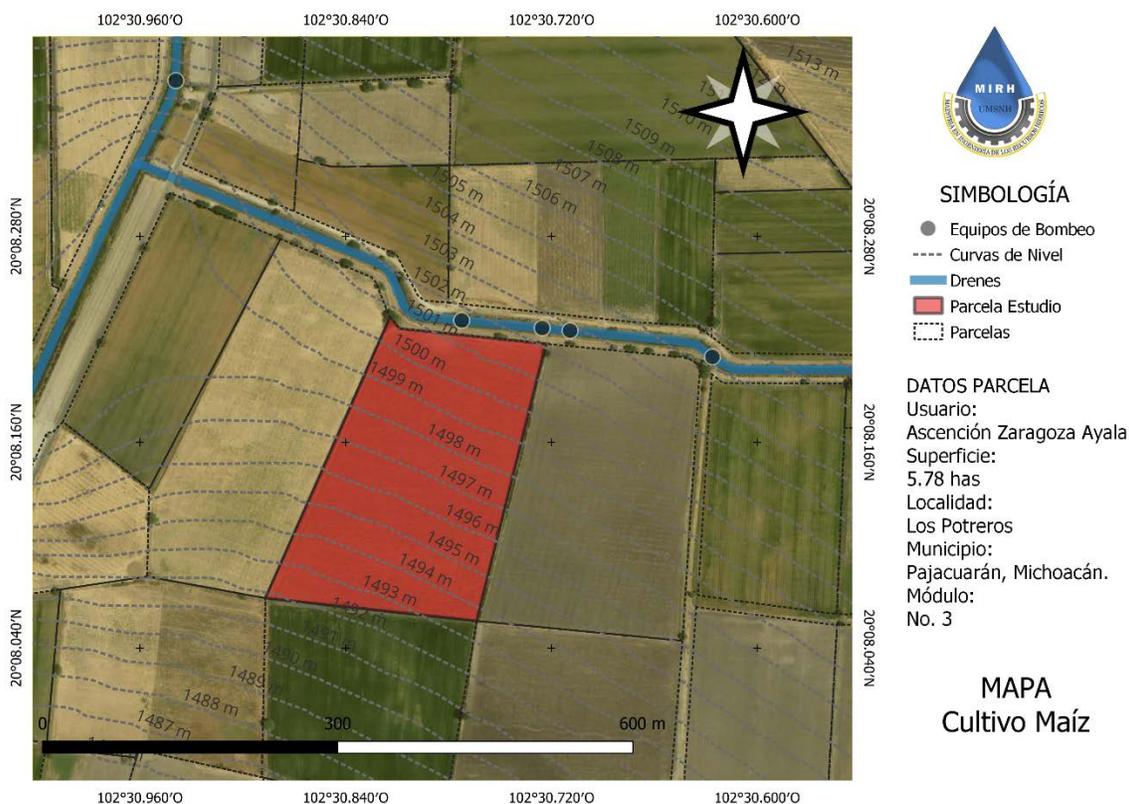


Figura 26 Fuentes de Abastecimiento Parcela, mover a selección de parcela.



Una vez definido y descrito la parcela piloto y el cultivo a estudiar se procede a simular con el Software EPANET para diseñar el modelo de riego por goteo, utilizando los softwares, Global Mapper, Auto CAD, Civil 3D, EPACAD y EPANET.

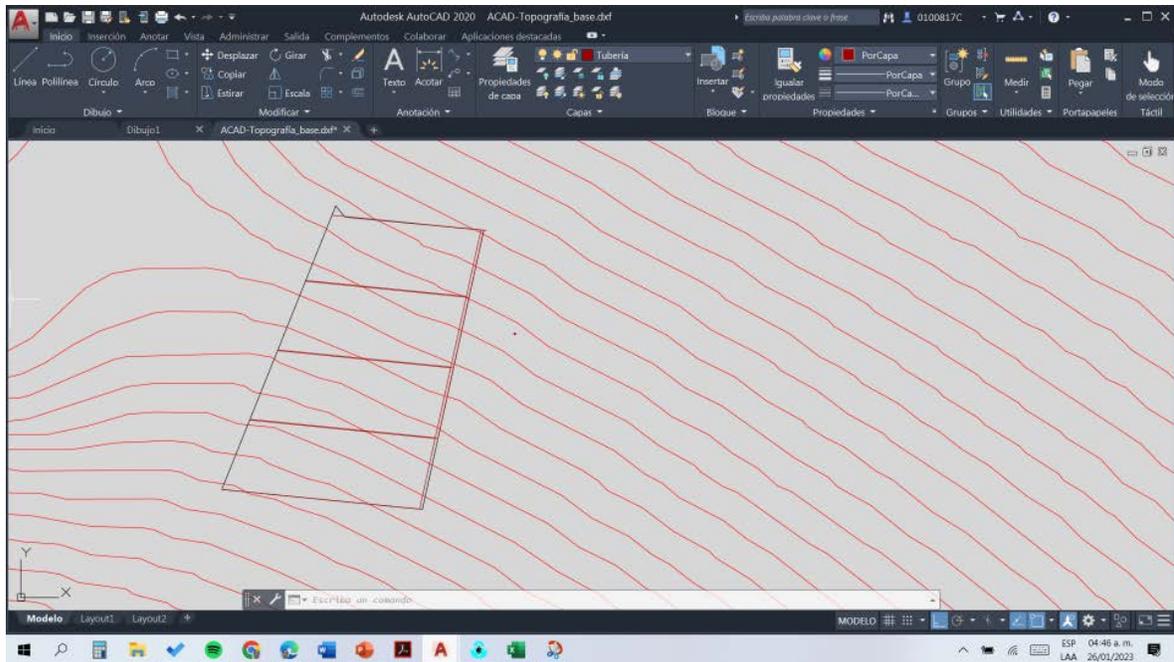


Figura 27. Proceso EPANET 1

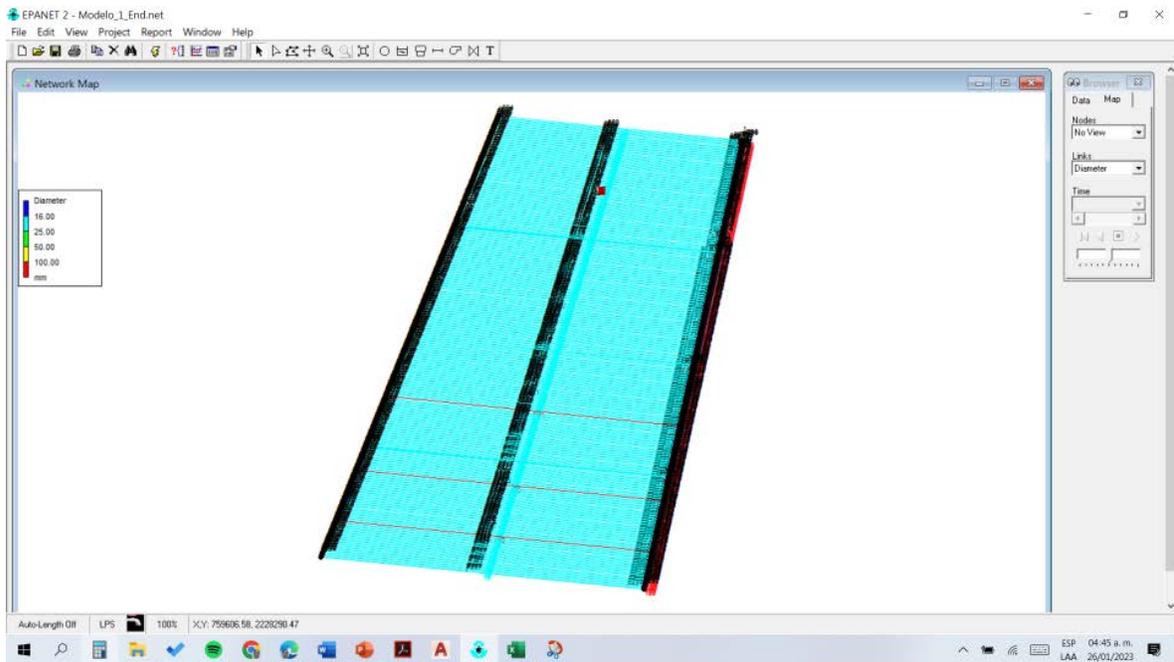


Figura 28. Proceso EPANET 2

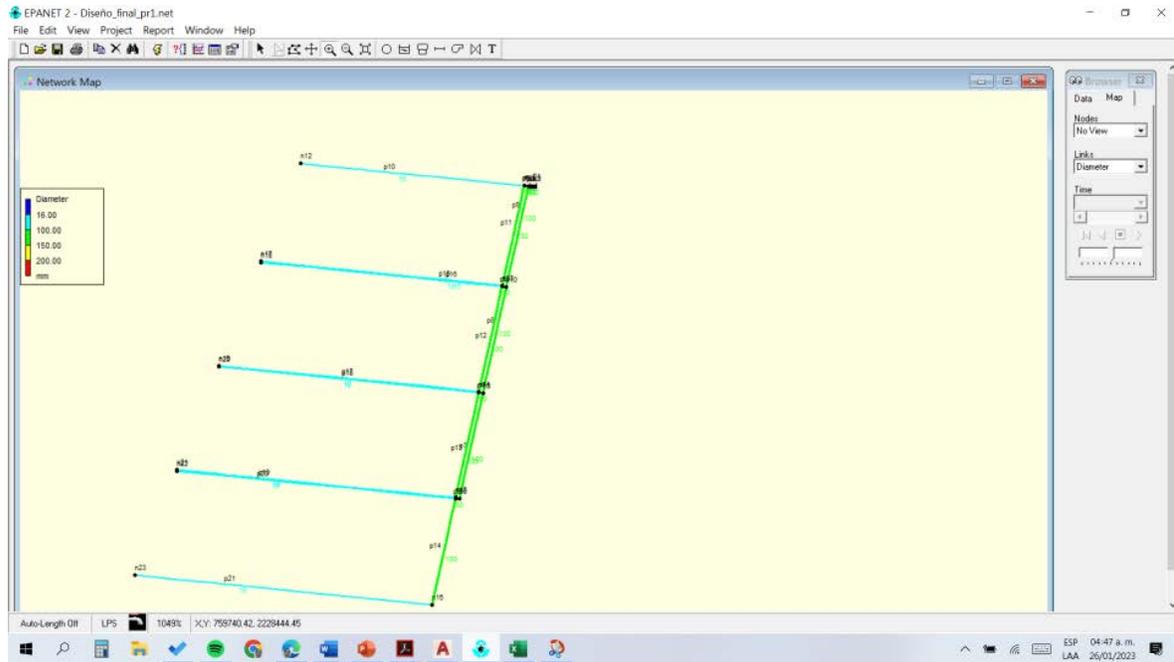


Figura 29. Proceso EPANET 3

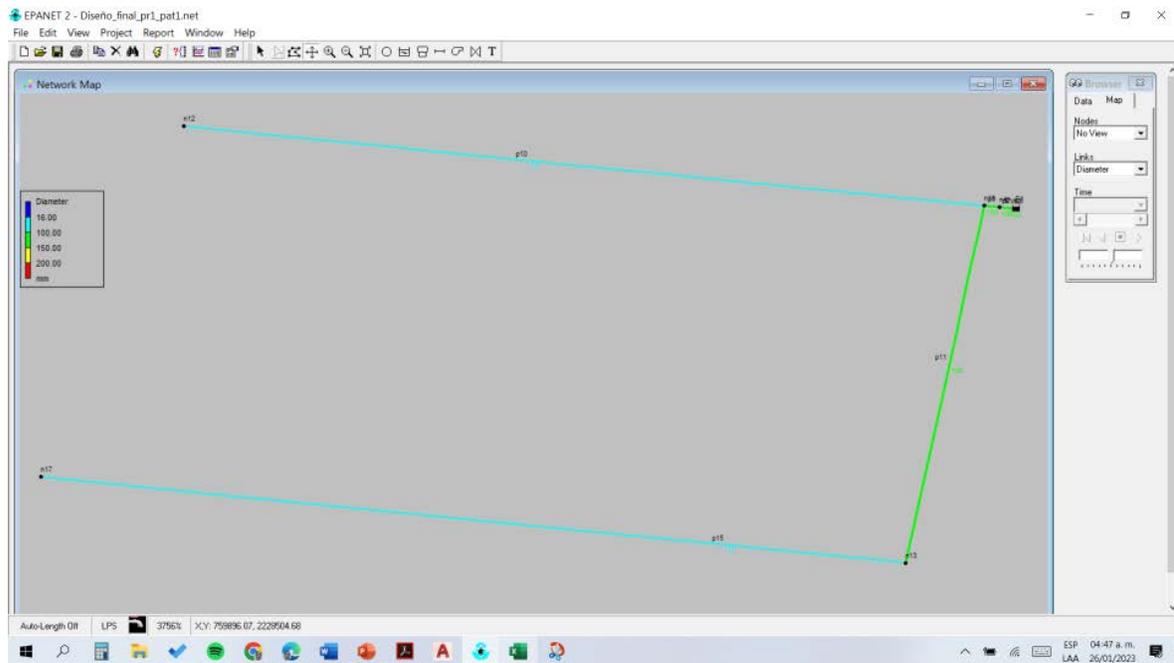


Figura 30. Proceso EPANET 4



Modernización del Módulo 03 Ballesteros de San Cristóbal del Distrito de Riego
“Ciénega de Chapala”, en el Estado de Michoacán.

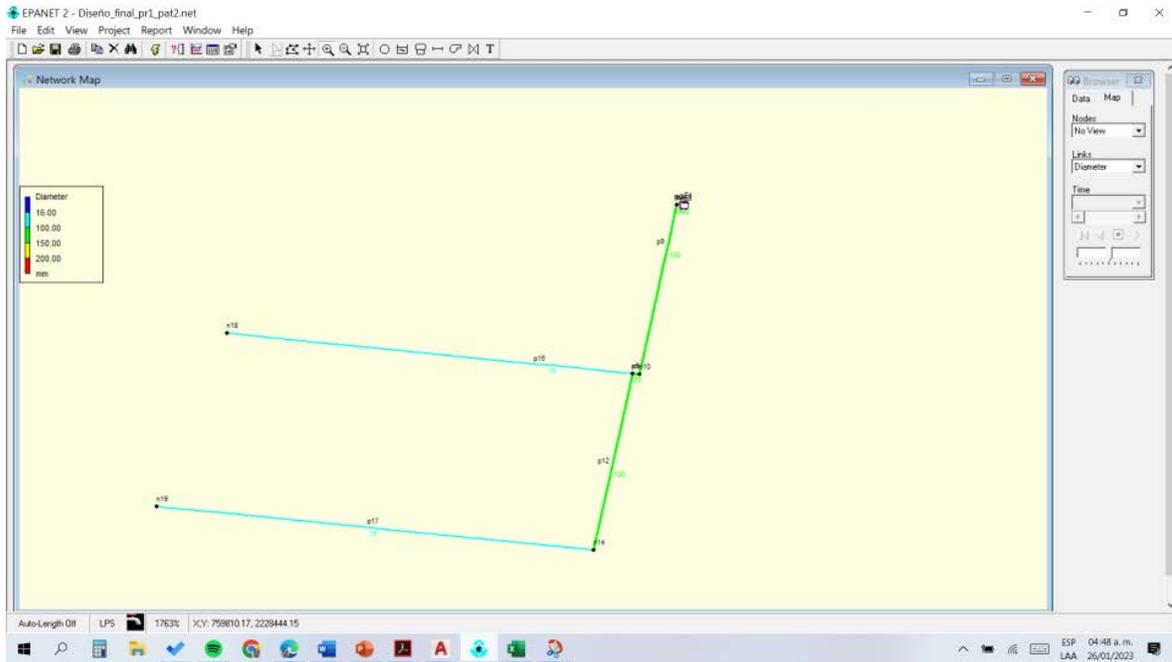


Figura 31. Proceso EPANET 5

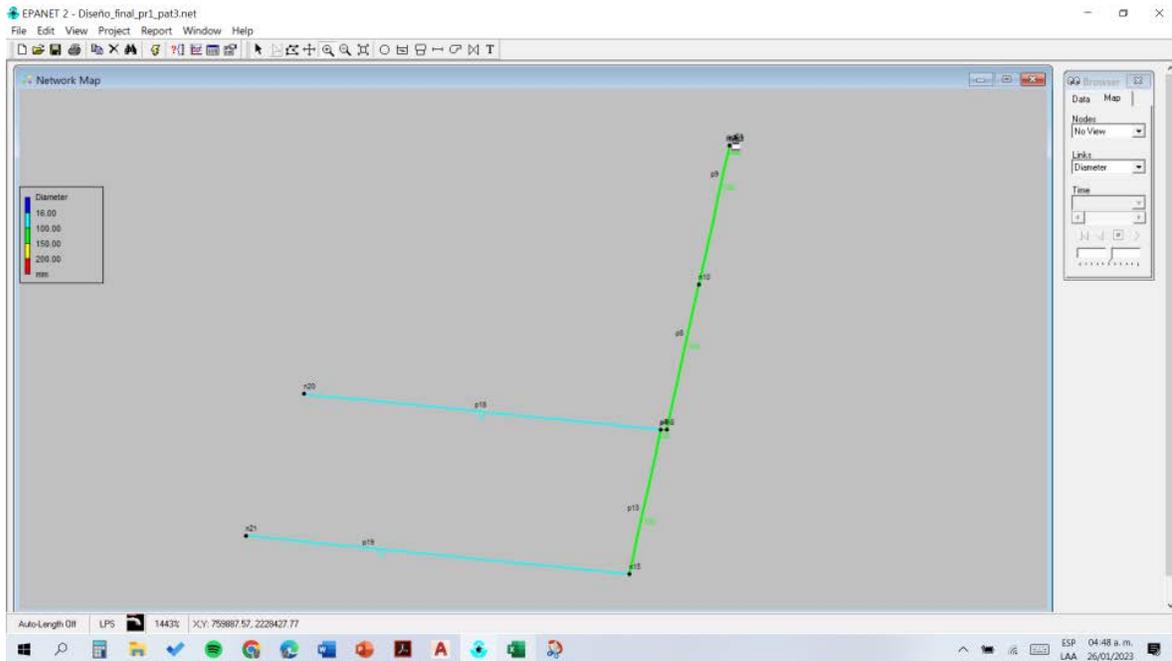


Figura 32. Configuración EPANET



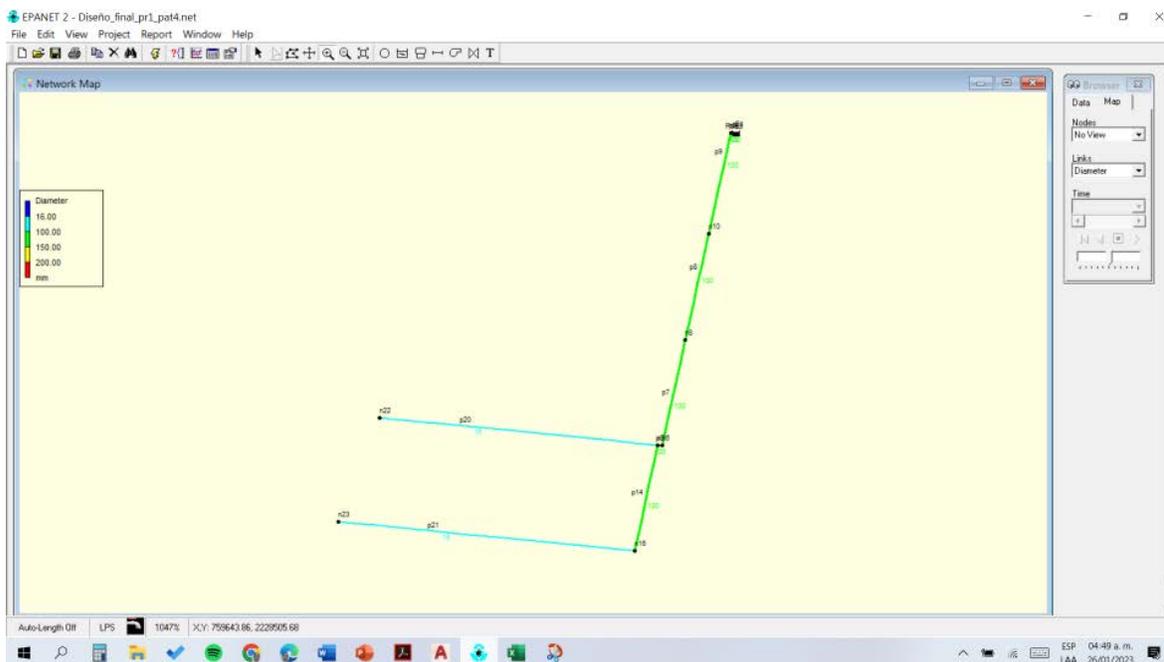


Figura 33. Configuración EPANET 2

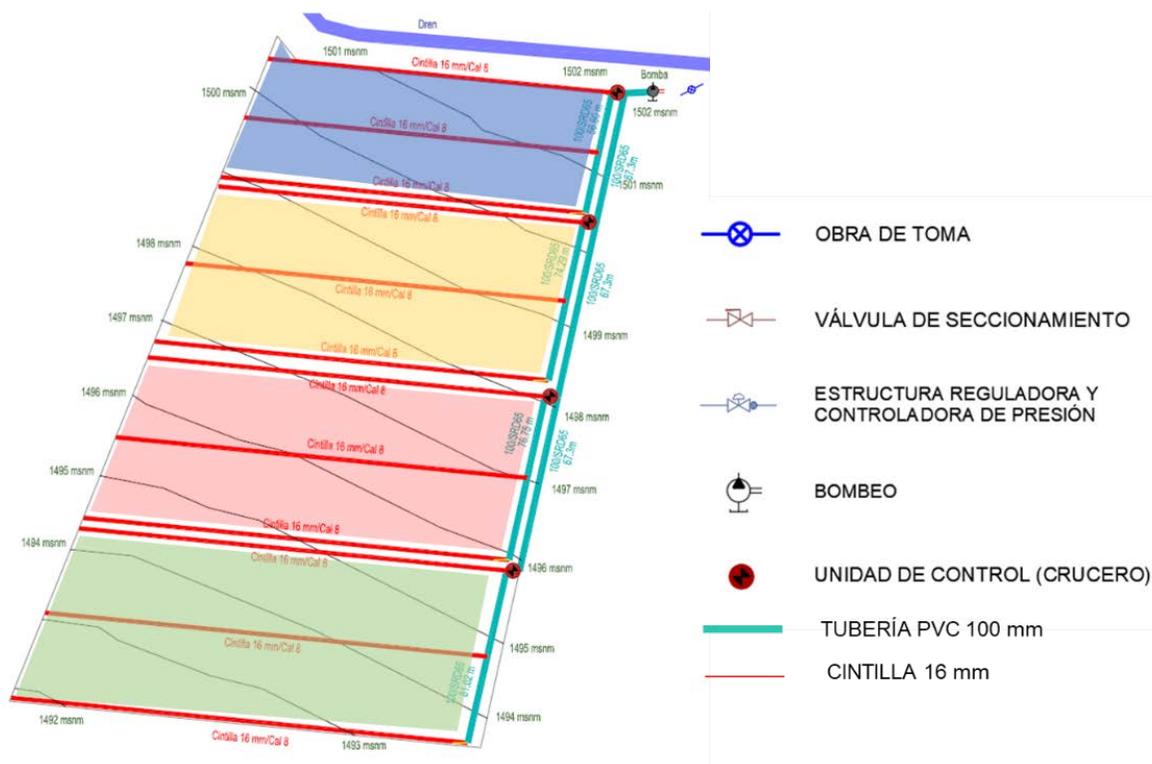


Figura 34. Configuración del modelo de riego para la parcela piloto.



Figura 35. Elementos empleados en EPANET

Tabla 20. Gasto por turno

	Gasto L/s	Gasto m ³ /h	Tiempo h	Acumulado m ³
Turno 1	50.26	180.936	1	180.936
Turno 2	55.7	200.52	1	381.456
Turno 3	46.53	167.508	1	548.964
Turno 4	52.01	187.236	1	736.2
		Total	4	736.2

Tabla 21. Requerimientos del maíz

Uso consuntivo mensual Maíz Primavera-Verano							
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
UC cm	3.15	7.31	11.6	14.08	13.11	10.02	2.84
Acum cm	3.15	10.45	22.06	36.14	49.25	59.27	62.1
UC mm	31.5	73.1	116	140.8	131.1	100.2	28.4
Acum mm	31.5	104.6	220.6	361.4	492.5	592.7	621.1
mm/día	1.1	2.4	3.9	4.7	4.4	3.3	0.9
mm/periodo	31.5	73.1	116	140.8	131.1	100.2	28.4
m ³ /día	60.9	141.3	224.3	272.2	253.5	193.7	54.9



Tabla 22. Tiempos de riego por turno.

Tiempos de riego (horas/ día /turno)							
Mes	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
T1	0.337	0.781	1.239	1.504	1.401	1.071	0.303
T2	0.304	0.705	1.118	1.358	1.264	0.966	0.274
T3	0.364	0.844	1.339	1.625	1.513	1.156	0.328
T4	0.325	0.755	1.198	1.454	1.354	1.035	0.293
Total, horas	1.33	3.08	4.89	5.94	5.53	4.23	1.20

Tabla 23. Metros cúbicos por hectárea de parcela piloto.

Caudal m ³ / mes							
Promedio	1827	4239.8	6728	8166.4	7603.8	5811.6	1647.2
m ³ /mes/ha	315	731	1160	1408	1311	1002	284
m ³ /ha	887.29						
m ³ /ha 90%	976.014						

7.5. Estimación de volúmenes de agua brutos para riego del módulo 03 con riego tecnificado.

Tabla 24. Superficie total por cultivo.

Cultivos	Superficie Total (ha)
Riegos	
Aux:	898
Hortalizas	821
Maíz	77
O/I:	7,879
Cártamo	2,321
Forrajes	535





Trigo	4,446
Hortalizas	577
P/V:	7,051
Maíz	5,167
Sorgo	1,884
Perennes:	637
Alfalfa	538
Fresa	26

Fuente: Cierre de los ejercicios anuales de los informes de distribución de agua del Distrito 024 Ciénega de Chapala

Tabla 25. Datos climatológicos del módulo 03.

Módulo	Estación	Precipitación media anual (mm)	Evaporación media anual (mm)	Temperatura (°C)			Período registros (años)
				Med	Máx	Mín	
La Palma	Guaracha	772.57	1,962.55	15.9	36.5	5.1	67
	Jaripo	793.86	2,074.25	17.2	29.5	7.6	51
	E. Zapata	806.32	1,981.27	20.8	26.5	15.3	20
	Sahuayo	743.83	2,106.81	18.7	26.3	9.9	28
	La Palma	762.26	2,087.27	17.5	27.4	0.0	51
Cumuato	Cumuato	794.63	2,198.13	19.3	33.5	11.2	49
Ballesteros	San Cristóbal	809.38	1,988.88	18.2	24.7	10.4	31

Tabla 26. Uso consuntivo de cultivos.





Tabla 27. Uso consuntivo

Ciclo	Cultivo	UC (cm)
Otoño - invierno	Cártamo	43.38
	Garbanzo	28.29
	Chile	44.39
	Trigo	42.86
Primavera - Verano	Cebolla	41.35
	Fríjol	35.14
	Jitomate	46.46
	Maíz	62.10
Perennes	Alfalfa	123.79
	Fresa	76.91

Tabla 28. Extrapolación de datos al módulo 03.

Años	D.R. 024			Módulo 03		
	Superficie ha	Volumen Bruto miles de m3	Volumen m3/ha	Superficie ha	Volumen Bruto miles de m3	Volumen m3/ha
1994/95	19,054	100,503	5300	5716	30151	5275
1995/96	23,309	122,315	5200	6993	36695	5248
1996/97	21,483	93,889	4400	6445	28167	4370
1997/98	15,042	60,431	4000	4513	18129	4017
1998/99	18,025	87,277	4800	5408	26183	4842
1999/00	18,263	74,015	4100	5479	22205	4053
2000/01	17,361	111,863	6400	5208	33559	6443
2001/02	15,491	67,890	4400	4647	20367	4383
2002/03	15,633	50,407	3200	4690	15122	3224
2003/04	22,172	95,090	4300	6652	28527	4289
Total	185,833	863,680	46,100	55,750	259,104	46,144
Promedio	18,583	86,368	4,610	5,575	25,910	4,614



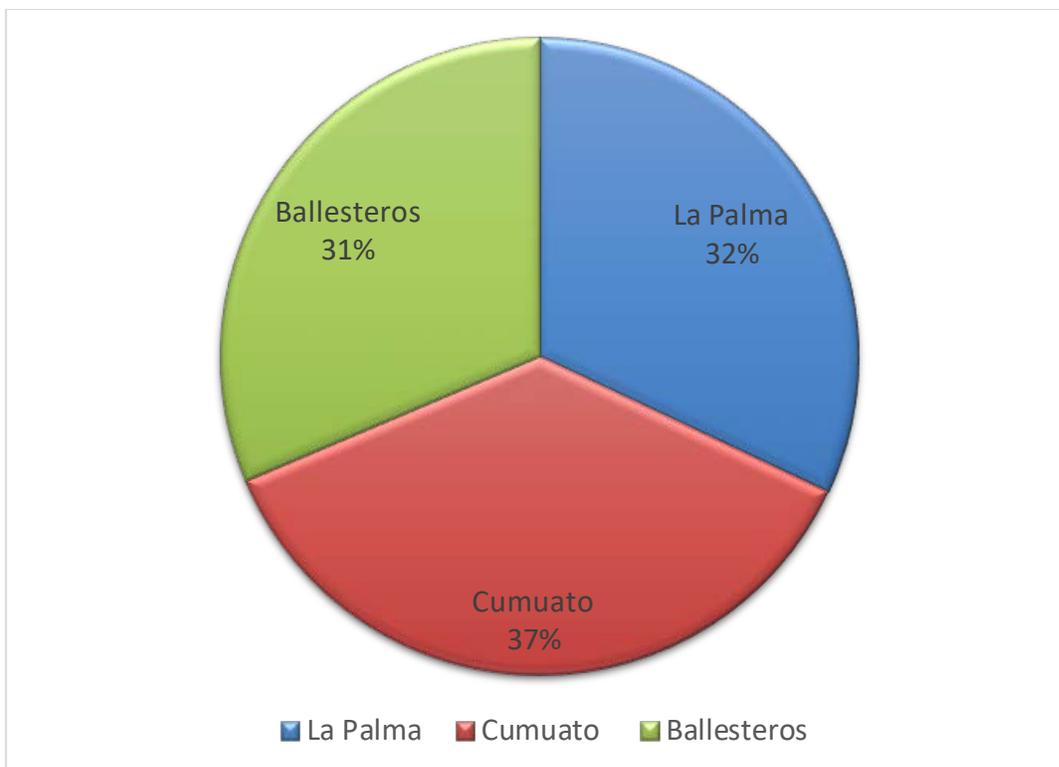


Figura 36. Superficie por módulo

Tabla 29. Cuotas de Riego

Ciclo	La Palma		Cumuato		Ballesteros	
	Riego	Drenaje	Riego	Drenaje	Riego	Drenaje
	(\$/millar m3)	\$/ha física	(\$/millar m3)	\$/ha física	(\$/millar m3)	\$/ha física
96-97	35.00	40.00	28.15	39.22	35.00	40.00
97-98	35.00	40.00	28.15	39.22	35.00	40.00
98-99	45.00	60.00	40.00	50.00	45.00	50.00
99-00	45.00	60.00	40.00	50.00	45.00	50.00
00-01	60.00	80.00	45.00	60.00	55.00	60.00
02-03	60.00	80.00	45.00	60.00	55.00	60.00
03-04	60.00	80.00	55.00	90.00	65.00	70.00
04-05	65.00	80.00	110.00	100.00		





7.6. Comparativa de resultados obtenidos con la distribución histórica de aguas en el

módulo 03.

Módulo	No. De Pozos	En operación	Volumen autorizado	Superficie (ha)	Maíz m ³ /ha	Volumen bruto m ³	Volumen riego m ³	Ahorro Volumen m ³
			m ³					
Ballesteros	125	124	14,239,100.00	2,432.95	976.01	2,374,593.96	3,324,431.54	10,914,668.46
Distrito	338	328	38,926.10	6,463.00				

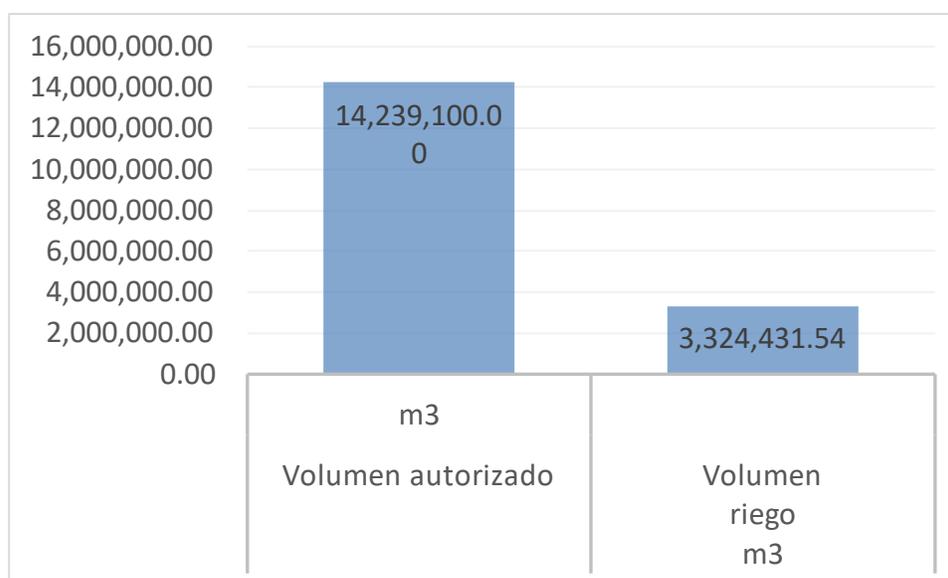


Figura 37. Comparativo volumen de riego con volumen autorizado.

Tabla 30. Volúmenes requeridos del maíz

Fuente	Tipo De Aprovecha Miento.	Volumen promedio de extracción permitido	Superficie dominada	Volumen Maíz Goteo m ³ /ha	Volumen Bruto	Volumen de Extracción Permitido m ³	% Volum en utilizad o
		miles de m ³					
Río Duero	Barraje de Ibarra	60,040.00	23,186.00	976.01	22,629,767.86	60,040,000.00	37.69%





Tabla 31. Hectárea aprovechable con ahorro de agua.

Ahorro siembra de maíz 5.2 ha						
Cultivos	Superficie total ha	Volumen bruto miles de m ³	Volumen miles de m ³ / ha	Volumen miles de m ³ / ha	Ahorro de volumen. Miles de m ³	Ahorro de volumen. m ³
Riegos Aux:	898	4,428	4.9	4.9		
Hortalizas	821	4,079	5	5	0	0
Maíz	77	349	4.5	0.97601	3.52399	3523.99
O/I:	7,879	44,517	5.7	5.7		
Cártamo	2,321	8,325	3.6	3.6	0	0
Forrajes	535	4,290	8	8	0	0
Trigo	4,446	27,601	6.2	6.2	0	0
Hortalizas	577	4,301	7.5	7.5	0	0
P/V:	7,051	22,116	3.1	3.1		
Maíz	5,167	15,584	3	0.97601	2.02399	2023.99
Sorgo	1,884	6,532	3.5	3.5	0	0
Perennes:	637	7,759	12.2	12.2		
Alfalfa	538	4,053	7.5	7.5	0	0
Fresa	26	956	36.6	36.6	0	0
					TOTAL, m3	5547.98
					Superficie ha	5.68





8. Conclusiones.

Se aprecian que, si existen volúmenes de agua ahorrados en el módulo 3, se ahorra hasta un 37.69% de agua.

Al tener el volumen utilizado por hectárea con un sistema por goteo, el cobro por volumen de agua es más exacto.

También facilita los aforos en los puntos de control del módulo 03 en el Distrito de Riego.

Al tener un volumen fijo por hectárea, ya no existen excedentes de aguas, escurrimientos que no eran contabilizados en el volumen concesionado al usuario, lo cual propicia un mejor control del agua en el módulo.

En este Módulo existen dos plantas de bombeo cuya única función es drenar los excesos de precipitación, así como los excedentes de riego y de drenaje generados en el Módulo IV del Distrito de riego de Zamora. Los usuarios están a cargo de los bombeos.

El Distrito cuenta con una longitud total de 629 km de drenes, de los cuales la mayor parte se ubica en el Módulo La Palma de la Ciénega. Por las características propias del distrito, que es eminentemente un distrito de drenaje. Regularización de control de aguas.

La eficiencia de conducción promedio en el distrito fue de 63.9% para el ejercicio 2003-2004, muy semejante a la presentada en el año agrícola 1997-1998, que fue de 63.6%. Las eficiencias afectan el volumen neto aplicado en el sitio o parcela.

Como fue señalado anteriormente el Distrito tiene una vocación fuertemente granera, en donde destacan trigo, sorgo, maíz, cártamo y cebada, sin embargo, como también ya se observó en los últimos ciclos agrícolas la evolución de las superficies sembradas mostró una incorporación importante de superficies establecidas con una amplia variedad de hortalizas. La producción de maíz si justifica la inversión inicial.

Priorizando la modernización del modelo de riego, se tendrá más certeza de una producción de calidad que justifique el gasto económico para lograrlo.





9. Referencias.

- Aguirre, M. T. (2017). Impacto de la modernización del regadío sobre la cantidad y calidad de los retornos de riego. *Tesis Doctoral*. Zaragoza, Zaragoza, España: Universidad de Zaragoza.
- Anabel Altamirano- Aguilar, J. B.-T. (2017). Clasificación y evaluación de los distritos de riego en México con base en indicadores de desempeño. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol VIII, núm. 4, 21.
- Aparicio, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de superficie*. CDMX: LIMUSA.
- Ardila León, J. F., & Quintero Delgado, O. Y. (Diciembre de 2013). Aplicación de la Teledetección y los sistemas de Información Geográfica en la interpretación de zonas inundables. Caso de Estudio: Río Soagapa, Sector Paz de Río, Boyacá. Bogotá, Colombia.
- Carles Sanchis Ibor, M. G. (Junio de 2015). Efectos en las entidades de riego de la comunidad valenciana. *Las Políticas de implantación del riego localizado.*, págs. 9-35.
- Comisión Nacional del Agua. (2005). *Plan Director DR 024*.
- Conagua. (Diciembre de 2002). Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario. CDMX, Estado de México, México.
- Conagua. (2003). *Distrito de Riego 024, Plan de acciones para la rehabilitación y modernización de los distritos de riego*.
- Conagua. (2004). *Distrito de Riego 024, Informe de Distribución de Aguas 1994-2004*.
- Conagua. (2005). *Distrito de Riego 024, Padrón de Usuarios 2004-2005*.
- Conagua. (2005). *Plan Director DR 024*.
- Conagua. (s.f.). *CNA, Distrito de Riego 024, Estaciones Climatológicas*.
- Daniel, R. B. (2014). *Dimensionado Óptimo con EPANET de Redes de Riego*. Zaragoza España: Universidad de Zaragoza.
- David Ortega-Gaucin, E. M. (2006). MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS PARA UN DISTRITO DE RIEGO. *TERRA Latinoamericana*, 8.
- de León Mojarro, B., & Robles Rubio, B. D. (2007). *Manual para diseño de zonas de riego pequeñas*. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Elizondo, R. M. (1991). *Riego Localizado: Diseño y Evaluación*. Texcoco, Estado de México: Universidad Autónoma de Chapingo Departamento de Irrigación.
- Firco, I. (2010). *Seguimiento y Evaluación del Proyecto Estratégico de Tecnificación de Riego*. Mexico : SEMARNAT.
- Gabriel Angella, S. P. (Diciembre de 2017). La modernización de los sistemas de riego y la importancia de los aspectos "No Estructurales". Santiago del Estero/ Córdoba, Argentina/España.
- Garcés-Restrepo, W. H. (1998). *Evaluación del Desempeño del Riego con Indicadores Comparativos: El Caso del Distrito de Riego Alto Río Lerma, México*. P.O. Box 2075, Colombo, Sri Lanka: Instituto Internacional del Manejo del Agua.
- Gómez, I. H. (2013). *ANÁLISIS Y EVALUACION DEL PROGRAMA DE REHABILITACION Y MODERNIZACION EN DISTRITOS DE RIEGO*. Montecillo, Texcoco, Estado de México.: COLEGIO DE POSTGRADUADOSO.
- Intagri. (2019). *Diseño Agronómico del Ssistema de Riego por Goteo*. CDMX: Equipo Editorial Intagri.
- intagri. (Enero de 2019). <https://www.intagri.com/articulos/agua-riegol/algunos-aspectos-de-diseno-operacion-mantenimiento>.
- Iñiguez, M., Ojeda-Bustamante, W., & Díaz Delgado, C. (2015). La infraestructura hidroagrícola ante escenarios del cambio climático. *TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DEL AGUA*, 14.
- Julio Berbel, C. G. (2017). *Efectos de la modernización de regadíos en España*. España: Cajamar.
- Laurean, J. G. (2013). *ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA REHABILITACIÓN Y MODERNIZACIÓN INTEGRAL DEL DISTRITO DE RIEGO 024, CIÉNEGA DE CHAPALA*. MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO: COLEGIO DE POSTGRADUADOS.





- Marroquín-De, J., Olivares-Ramírez, Á., Ventura-Ovalle, J., Cruz-Carpio, D., & Luis Eduardo. (2021). *Handbook T-XVI CIERMMI Women in Science Engineering and Technology*. CDMX: ECORFAN-México.
- Martínez C, L., Álvarez R, V., Montemayor T, J., Orozco V, J., Frías R, J., CP, Y., . . . MA, S. (2015). Rendimiento y calidad de maíz forrajero (*Zea mays* L.) con diferentes niveles de riego por goteo subsuperficial y densidad de plantas. *REVISTA INTERNACIONAL DE BOTÁNICA EXPERIMENTAL INTERNATIONAL JOURNAL OF EXPERIMENTAL BOTANY*, 272-279.
- Mejía-Saenz, E., Exebio-García, A., Palacios-Vélez, E., Santos-Hernández, A. L., & Delgadillo-Piñon, M. E. (2003). Mejoramiento del manejo de distritos y módulos de riego utilizando Sistemas de Información Geográfica. *TERRA LATINOAMERICANA*, 11.
- Pedroza González, E., & Hinojosa Cuéllar, G. A. (2014). *Manejo y distribución del agua en distritos de riego. Breve introducción didáctica*. Jiutepec, Morelos.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Pérez, A. S. (2015). La conformación de una región productiva contenciosa: el Distrito de Riego 024 Ciénega de Chapala, Michoacán, México. *Desacatos* 47, 18.
- Sánchez-Tienda, J. (1999). *USO CONSUNTIVO DEL CULTIVO AGUACATE: METODOLOGÍA BLANEY Y CRIDDLE MODIFICADA RELACIONANDO FENOLOGÍA Y PERCIPITACIÓN*. Coyoacán, Ciudad de México.: Universidad Autonoma Metropolitana.
- Sánchez-Tienda, J. (1999). *USO CONSUNTIVO DEL CULTIVO AGUACATE: METODOLOGÍA BLANEY Y CRIDDLE MODIFICADA RELACIONANDO FENOLOGIA Y PRECIPITACIÓN*. *Revista Chapingo serie horticultura* 5, 11.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (21 de Marzo de 2019). *Y tú, ¿conoces los beneficios del riego tecnificado?* Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural : <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/y-tu-conoces-los-beneficios-del-riego-tecnificado>
- Victor Manuel Peinado Guevara, H. J. (2015). *Análisis de la producción agrícola y gestión del agua en módulos de riego del distrito 063 de Sinaloa, México*. Sinaloa, México.: Universidad Autónoma de Sinaloa.

