



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

**SEGUIMIENTO A LA OPERACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CICLO OTOÑO-
INVIERNO DEL PLAN DE RIEGOS 2011-2012, EN EL DISTRITO DE RIEGO 063,
GUASAVE, EN EL ESTADO DE SINALOA.**

RAFAEL GÓMEZ TORRES

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: "**Seguimiento a la operación y evaluación del ciclo Otoño-Invierno del Plan de Riegos 2011-2012, en el Distrito de Riego 063, Guasave, en el estado de Sinaloa**", realizada por el Alumno: **Rafael Gómez Torres**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN TECNOLOGÍA

EN HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. HÉCTOR FLORES MAGDALENO

ASESOR:



DR. AGUSTÍN RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

ASESOR:



DR. JORGE ARTURO SALGADO TRANSITO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Septiembre 2013

RECONOCIMIENTOS

Mi reconocimiento a la Comisión Nacional del Agua, por todo el apoyo para mi desarrollo profesional y la obtención de este Grado. En especial a la Gerencia de Distritos de Riego y a la Dirección de Infraestructura Hidroagrícola del Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico.

Al Programa de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados. En especial al Dr. Enrique Mejía Sáenz, al Dr. Agustín Rodríguez González, al Dr. Héctor Flores Magdaleno, al Dr. Jorge Arturo Salgado Transito, al Ing. Haniel Cordero González, muy especialmente al Dr. Jesús Chaves Morales ya todos los instructores que con su apoyo y orientación han hecho posible la culminación de todos estos trabajos.

Al M.C. Roberto Chairez Bolado, por su guía y apoyo para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

Primeramente quiero agradecer a **Dios, El Gran Arquitecto del Universo**, por darme la vida y todas sus Bendiciones.

A mis padres

Tobías (†) y Juana.

Por su amor y comprensión, pero sobre todo por el sacrificio realizado para hacer de mi una persona de bien

A mis hermanos: Heriberto, Iduvina, Sandra Luz, Rosa Elizabeth, Ana Bertha, Tobías.

Por todo lo que hemos vivimos juntos, por su apoyo y por el cariño que siempre me han brindado.

A mi esposa

Bertha Patricia Apodaca Álvarez

Por su entrega, por su dedicación y por todo el amor y comprensión que siempre me ha dado, aun en los momentos más difíciles.

A mis hijas

Zaira Patricia, Yareni Yazmin, Chamanec Montserrat y a mis Nietos, que junto con mi esposa, son mi mayor orgullo y razón de ser.

A mi hija Paola.

A mi tía Olivia, por todo lo que ella ha significado en mi vida.

Seguimiento a la operación y evaluación del ciclo Otoño-Invierno del Plan de Riegos 2011-2012, en el Distrito de Riego 063, Guasave, en el Estado de Sinaloa.

RESUMEN

En el Distrito de Riego 063, Guasave, Sinaloa, se utilizan prácticas tradicionales y poco eficientes en el seguimiento del Plan de Riegos. Además de lo anterior, la falta de personal capacitado y la crisis provocada por la falta de agua necesaria para el desarrollo de los cultivos, hicieron obligada la aplicación de las Técnicas de Percepción remota y Sistemas de Información Geográfica. Se realizó el seguimiento al desarrollo de las superficies regadas y sembradas contempladas en el Plan de Riegos del Ciclo Agrícola Otoño-Invierno 2011-2012. La supervisión y monitoreo consistió de informes presentados por el personal del Distrito de Riego, y también se obtuvieron datos de las imágenes y del Sistema de Información Geográfica. Con esta información se logró orientar a los directivos de los módulos para la corrección de las desviaciones y la toma oportuna de decisiones que ayudaron a cumplir con el objetivo de establecer el Plan de Riegos con limitada disponibilidad de agua. Comparando la información de campo con la información obtenida de SIG, se observa que la desviación fue de 156.34 ha, 0.0015% de 102,290 ha sembradas, entre los datos de campo y los resultados obtenidos del SIG. Como información adicional, se observaron pérdidas de agua, por descuido, uso inadecuado de sifones, largos tendidos de riego, y en general, malas prácticas de riego, así mismo, se identificaron prácticas agrícolas deficientes tanto en la preparación del terreno para la siembra y falta de nivelación, características y acciones que se pueden planear y corregir con el uso de las Técnicas de Percepción remota y la utilización del Sistema de Información Geográfica. Se concluyó que el uso del SIG, es viable para darle seguimiento al Plan de Riegos, por lo que se recomienda el uso de esta herramienta para los trabajos que se realizan en los demás Distritos de Riego.

Palabras clave: Percepción remota, Monitoreo, Supervisión

Operation and evaluation tracing of the fall-winter cycle for the irrigation plan 2011-2012, in Irrigation District 063, Guasave, State of Sinaloa.

ABSTRACT

In the Irrigation District 063, Guasave, Sinaloa, inefficient practices in monitoring irrigation planning are usually observed. Besides, the lack of trained personnel and the crisis caused by lack of water needed for crop development, forced the application of remote sensing techniques and Geographic Information Systems. In this study GIS were used for monitoring the development of irrigated and planted areas considered in the Irrigation Agricultural Planning during the Fall-Winter 2011-2012 Cycle. The supervision and monitoring reports were obtained from using satellite the staff of the Irrigation District; also same information was obtained from image data and Geographic Information System. These information allowed to orient the modules managers to correct wrong field information and to take accurate decisions to achieve the objective of the Irrigation Planning with a limited water availability. Comparing field data versus information from GIS, it was observed a deviation of 156.34 ha (0.0015% of 102,290 ha) planted between the field data and the results of the GIS. As additional information water losses were observed, due to careless, inappropriate use of siphons, long irrigation lines, and generally poor irrigation practices. Furthermore, poor farming practices in preparing the ground for planting and mislevelment, characteristics and actions which can be planned and corrected with the use of remote sensing techniques and the use of GIS, were identified. It was conclude that the use of GIS, a feasible tool to track the irrigation planning, so its use is recommend in the Irrigation Districts.

Keywords: Remote sensing, monitoring, supervision.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	3
2.1. Hipótesis.....	3
2.2. Objetivo General.....	3
2.3. Objetivos Particulares.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Sistemas de Información Geográfica.....	4
3.2. Georreferenciación.....	5
3.3. Los Sensores Remotos o Percepción Remota o Teledetección.....	8
3.3.2. Las firmas espectrales.....	10
3.3.3. Los índices de vegetación.....	13
3.4. Imágenes RapidEye.....	16
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
4.1. Características generales del distrito de riego.....	18
4.1.2. Recursos Naturales.....	19
4.1.2.1. Clima.....	19
4.1.2.2. Flora y Fauna.....	19
4.1.3. Hidrología.....	20
4.1.3.1. Región Hidrológica.....	20

4.1.3.2. Cuenca.....	21
4.1.3.3. Ríos y Corrientes.....	21
4.1.4. Infraestructura.	22
4.1.4.1. Presa de Almacenamiento.	22
4.1.4.2. Red de Conducción (Red Mayor de Canales).	24
4.1.4.3. Red de Distribución (Red Menor de Canales).	25
4.2. Materiales.....	26
4.3. Métodos.....	27
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
5.1. Puntos de Control.....	30
5.2. Aforos.....	33
5.3. Pozos, norias y rescates.....	35
5.4. Desperdicios.....	39
5.5. Cultivos.....	41
5.6. Estimación de Superficie Cultivada Mediante Técnicas de Percepción Remota.....	48
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
6.1. Conclusiones.....	51
6.2. Recomendaciones.....	52
7. BIBLIOGRAFÍA.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1. Un Sistema de Información Geográfica (SIG).	4
Figura 3.2. Definición de las coordenadas geográficas.....	6
Figura 3.3. Proyección Mercator Transversal.....	7
Figura 3.4. Coordenadas UTM y sus orígenes para su medición. (Adaptada de Clarke, 2001).	7
Figura 3.5. El espectro electromagnético.....	9
Figura 3.6. Radiospectrómetros.....	10
Figura 3.7. Firmas espectrales de un follaje y un suelo desnudo. (U.S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, Az.) (Jensen, 2000).....	11
Figura 3.8. Variación de la firma espectral de acuerdo al contenido de agua de las hojas.	12
Figura 3.9. “Sombrero de tres picos” y la línea del suelo	14
Figura 4.1. Ubicación del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.....	18
Figura 4.2. Regiones Hidrológicas de la República Mexicana.	21
Figura 4.3. Presa de almacenamiento “Lic. Gustavo Díaz Ordaz”.	23
Figura 4.4. Presa de almacenamiento “Ing. Guillermo Blake Aguilar”.	23
Figura 4.5. Almacenamientos registrados en las Presas Gustavo Díaz Ordaz y Guillermo Blake Aguilar al 10 de febrero de 2012.....	24
Figura 4.6. Red Mayor de canales del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.....	25
Figura 4.7. Red Menor de canales del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.....	26
Figura 4.8. Mosaico de imágenes de Satélite RapidEye, solicitada para el Distrito de Riego 063.	27
Figura 4.9. Muestreo de cultivos para el Módulo II-1 Petatlán del DR 063 Guasave, Sinaloa.	29
Figura 5.1. Ejemplo de ficha técnica para un punto de control del Distritos de Riego 063 Guasave, Sinaloa.	31
Figura 5.2. Georreferenciación de los Puntos de Control, del Distrito de Riego 063.....	32
Figura 5.3. Incorporación de datos de los Puntos de Control al Modelo SIG.....	33
Figura 5.4. Obtención de escalas en los Puntos de Control.	33
Figura 5.5. Volumen entregado mensualmente en los Módulos del Distrito de Riego 063 Guasave.	35
Figura 5.6. Pozos y norias del DR 063 Guasave, Sinaloa.....	36

Figura 5.7. Clasificación de los Rescates para el DR 063 Guasave, Sinaloa.....	38
Figura 5.8. Incorporación de los datos de desperdicios al agua al SIG.....	40
Figura 5.9. Cultivo en pie Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.	43
Figura 5.10. Plano del mosaico de cultivos Otoño-Invierno para el Módulo II-2 Tetameche del DR 063 Guasave, Sinaloa.....	44
Figura 5.11. Distribución del padrón de cultivos del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.	45
Figura 5.12. Plano del mosaico de cultivos Primavera-Verano 2012 para el Módulo II-2 Las Milpas del DR 063 Guasave, Sinaloa.....	47
Figura 5.13. Imagen satelital tipo RapidEye para el DR 063.....	49
Figura 5.14. Porcentaje de superficies con y sin cobertura vegetal para el mes de marzo de 2012	50

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 3.1. Características de las Imágenes RapidEye	17
Cuadro 4.1. Módulos del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.....	19
Cuadro 4.2. Almacenamientos registrados en el sistema de presas Gustavo Díaz Ordaz y Guillermo Blake Aguilar al día 10 de febrero 2012.....	24
Cuadro 4.3. Red de conducción en los Módulos del Distritos de Riego 063 Guasave, Sinaloa. ...	25
Cuadro 4.4. Red Menor de Canales del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.	26
Cuadro 5.1. Volumen entregado (Millares m ³) en los Módulos de los Distritos de Riego 063 Guasave, Sinaloa.	34
Cuadro 5.2. Pozos y norias en operación y sin operar correspondientes al DR 063 Guasave, Sinaloa.....	36
Cuadro 5.3. Rescates correspondientes al DR 063 Guasave, Sinaloa.....	37
Cuadro 5.4. Avance del Plan de Riegos para Módulo I-1 del DR 063 Guasave, Sinaloa.....	39
Cuadro 5.5. Superficie (ha) Obtenida en el SIG durante en el ciclo agrícola Otoño-Invierno 2011-2012.....	41
Cuadro 5.6. Superficie (ha) reportada por los Módulos de Riego a la CONAGUA para el ciclo agrícola Otoño-Invierno 2011-2012.....	43
Cuadro 5.7. Superficie (ha) Obtenida en el SIG durante en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2012.....	46
Cuadro 5.8. Superficie siniestrada total y parcialmente para cada módulo del DR 063, (ha).	48
Cuadro 5.9. Superficie con y sin cobertura vegetal para el mes de marzo de 2012 en el DR 063.	50

1. INTRODUCCIÓN.

El desarrollo de la agricultura bajo riego en México, inició su auge a principios de la tercera década del siglo pasado, con la construcción de grandes obras de almacenamiento, su infraestructura de riego y el desarrollo de la pequeña irrigación. De tal forma que actualmente existen 6.46 millones de hectáreas bajo riego de las cuales, 3.50 corresponden a 85 Distritos de Riego y 2.96 a Unidades de Riego, ambos sistemas fueron creados y diseñados de acuerdo a la disponibilidad de los recursos económicos, naturales, a su ubicación geográfica y acordes con la tecnología de riego disponible para la conducción y aplicación del agua a la parcela (CONAGUA, 2012).

La productividad del agua en los Distritos de Riego es un indicador clave para evaluar la eficiencia con la que se utiliza el agua para la producción de productos agrícolas, tanto para la industria, como para forraje y alimentos, que depende de las eficiencias de conducción del agua hasta las parcelas y la aplicación al interior de las mismas. En los Módulos de los Distritos de Riego se generan una gran cantidad de datos espaciales cada ciclo agrícola durante la distribución de aguas, la ejecución de los programas de conservación y modernización, de Ingeniería de Riego y Drenaje, etc. Estos son realizados por el personal y equipo disponible en cada módulo, razón por la cual el manejo de Sistemas de Información Geográficos (SIG) ofrecen una gran potencialidad para llevar el control estricto de los avances del plan de riegos, de los programas de conservación y manejo, los estudios técnicos de la jefatura de ingeniería de riego y drenaje, estado financiero de los productores con respecto al pago de sus cuotas y poder responder rápidamente a la solicitud de informes.

Por otra parte, es necesario que los módulos de riego cuenten con una herramienta eficiente, precisa y económica para analizar los requerimientos de inversión a nivel parcelario, en la red de conducción y distribución, en las estructuras de operación y control hidráulico, con personal que detecte y sugiera los estudios especializados requeridos y recomendar un programa de capacitación constante que permita lograr los objetivos planteados en el programa integral de manejo del módulo. Los SIG, son una alternativa para integrar con precisión y eficiencia los diferentes conceptos de inversión y poder afectarlos por los precios unitarios de la región para

obtener un programa de inversiones que permita la modernización del módulo de riego y por consecuencia el incremento de la eficiencia de conducción y aplicación del agua para coadyuvar a una agricultura sustentable.

En el mes de octubre de 2011, a inicios del ciclo otoño invierno, las Presas del Distrito de Riego 063, Guasave, Sinaloa, mostraban bajo nivel de almacenamiento, situación que obligo a establecer medidas acordes con la disponibilidad de agua, de programar un plan de riegos con superficies restringidas, proponiendo un patrón de cultivos de mediana y baja demanda de agua, (sorgo, garbanzo y cártamo), dejando de privilegiar al cultivo de maíz que demanda un volumen mayor para su desarrollo. Se propuso dar un seguimiento efectivo al desarrollo de la operación y distribución, con apoyo de la información obtenida en campo, verificada con el apoyo de imágenes satelitales, para evaluar la eficiencia en el desarrollo del programa, del uso del agua y del establecimiento de los cultivos. Con lo cual se permitió el evaluar la Operación, la distribución y el desarrollo del establecimiento de la superficie a sembrar, partiendo de la información obtenida en campo y con el apoyo de imágenes satelitales, facilitando la toma de decisiones y en su caso hacer las correcciones pertinentes.

Estas acciones presentaron diferentes grados de dificultad, debido a que no se cuenta con organizaciones eficientes, a la falta de personal, con el cual realizar todas las actividades de operación y distribución del agua. Por tal razón la S. de R. L., de común acuerdo con las directivas de las Asociaciones de Usuarios, solicitaron el apoyo de Comisión Nacional del Agua para establecer acciones que permitieran llevar a cabo el Plan de Riegos propuesto para este ciclo. Ante esta solicitud y al igual que los demás Distritos de Riego del Estado, la Comisión Nacional del Agua, contrató los servicios de una tercería para la supervisión, apoyo y seguimiento del desarrollo del plan de riegos.

El presente trabajo se desarrolló como parte de un proyecto de investigación denominado: “EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN EN EL CICLO OTOÑO-INVIerno 2011-2012 DEL DISTRITO DE RIEGO 063, GUASAVE”, realizado en coordinación con personal de Comisión Nacional del Agua, de la S. de R. L. y de las Asociaciones de Usuarios.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.

2.1. Hipótesis.

- Mediante la supervisión y el monitoreo durante el ciclo agrícola Otoño-Invierno 2011-2012, se puede lograr los niveles de operación adecuados, para la entrega de los volúmenes a los módulos de riego y a los propios usuarios.
- Con técnicas de percepción remota (adquisición de imágenes), se pueden estimar las superficies sembradas, para dar seguimiento mes a mes y compararlas con las que se programan en el ciclo agrícola.
- La información generada en la supervisión y monitoreo pueden ser incorporadas al Modelo de Sistema de Información Geográfica, para la toma de decisiones oportunas.

2.2. Objetivo General.

- Evaluación de la operación en el ciclo Otoño-Invierno 2011-2012 del Distrito de Riego 063, Guasave.

2.3. Objetivos Particulares.

- Georreferenciar las actividades del operativo para su integración en un modelo de sistema de información geográfica del Distrito de Riego 063 Guasave.
- Supervisar la superficie sembrada de Noviembre a Abril, mediante técnicas de percepción remota, en el Distrito de Riego 063, Guasave.
- Analizar la superficie física sembrada en comparación con la superficie programada en el plan de riegos para el Distrito de Riego 063 Guasave, durante el ciclo Otoño-Invierno 2011-2012.

3. REVISIÓN DE LITERATURA.

3.1. Sistemas de Información Geográfica.

Un sistema de información geográfica (SIG, o más común GIS por sus iniciales en Inglés), es una herramienta para la adquisición, almacenamiento, manejo y despliegue gráfico, de información espacialmente dispuesta. También se puede definir como un sistema automatizado para la captura almacenamiento, recuperación, análisis y visualización de información espacialmente referenciada mediante sus coordenadas geográficas (Clarke, 2001).

Otra forma de definirlos, es el de una herramienta formada con “Equipos de cómputo” (Hardware en inglés), que utiliza “programas computacionales” (Software) para crear y manejar “bases de datos”, ligadas a información geográfica y que permite llevar a cabo análisis siguiendo “métodos” o criterios científicos con “personal especializado”; lo que se puede resumir en una pequeña gráfica que se ilustra en la figura 3.1.



Figura 3.1. Un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Estas tecnologías para el manejo de la información SIG, permiten trabajar la información, de diferentes actividades en los Distritos de Riego, de una manera integral y organizada: los datos geográficos y constructivos (planos), infraestructura Hidroagrícola, padrones de usuarios, información hidrométrica, estadísticas agrícolas, rehabilitación y modernización, ingeniería de riego y drenaje, conservación seguimiento y evaluación de inversiones, seguimiento en tiempo real, a través de técnicas de percepción remota, de superficies cultivadas, 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 con la oportunidad requerida, técnicos y usuarios de los Distritos y Módulos de Riego podrán disponer de información adecuada y suficiente para evaluar el logro de sus actividades, así como también para planear el mejor uso de los recursos a corto y mediano plazo. Así, los Distritos de Riego del país, a través del Modelo de Sistema de Información Geográfica desarrollado, contarán con una herramienta avanzada para realizar en forma ágil e integrada las actividades de Operación, Rehabilitación y Modernización, Conservación e Ingeniería de Riego y Drenaje. Lo anterior permitirá, contar con los elementos necesarios para una reingeniería en el manejo de los Distritos de Riego (Mejía, 2010).

3.2. Georreferenciación.

Como se ha indicado, una de las características importantes de los SIG, es que sus elementos están definidos en su ubicación geográfica, mediante un sistema de coordenadas espaciales, lo cual se denomina georreferenciación (Moreno, 2008).

Todos los archivos con información espacial están georreferenciados. La georreferenciación se refiere a que la capa, figura o información específica, tiene definida su ubicación, mediante un sistema referenciado de coordenadas. En el caso de la información tipo “ráster”, una forma común de ubicarla, es indicando el sistema de referencia, como podrían ser sus coordenadas geográficas, latitud y longitud, las unidades usadas para la referencia como grados, y la posición de las coordenadas, izquierda, derecha, arriba o abajo del filo de la imagen o bien de cada celda de la malla (píxel). En el caso de la información representada vectorialmente, la posición se

refiere generalmente “al rectángulo límite de cubrimiento”, que es el rectángulo que define los límites del área mapeada.

Los sistemas de georreferenciación de más uso en el país, son el geográfico, donde se define la posición de un elemento mediante sus coordenadas geográficas, Latitud y Longitud. La latitud es el ángulo medido desde el plano del ecuador hasta el punto considerado, hacia el norte definido como positivo y hacia el sur como negativo, como se observa en la figura 3.2. La longitud es el ángulo horizontal, medido a partir de un meridiano base, que pasa por el Observatorio de Greenwich en Inglaterra, hasta el elemento en consideración y que hacia el Este se considera positivo y hacia el Oeste negativo, como se muestra en la figura 3.2.

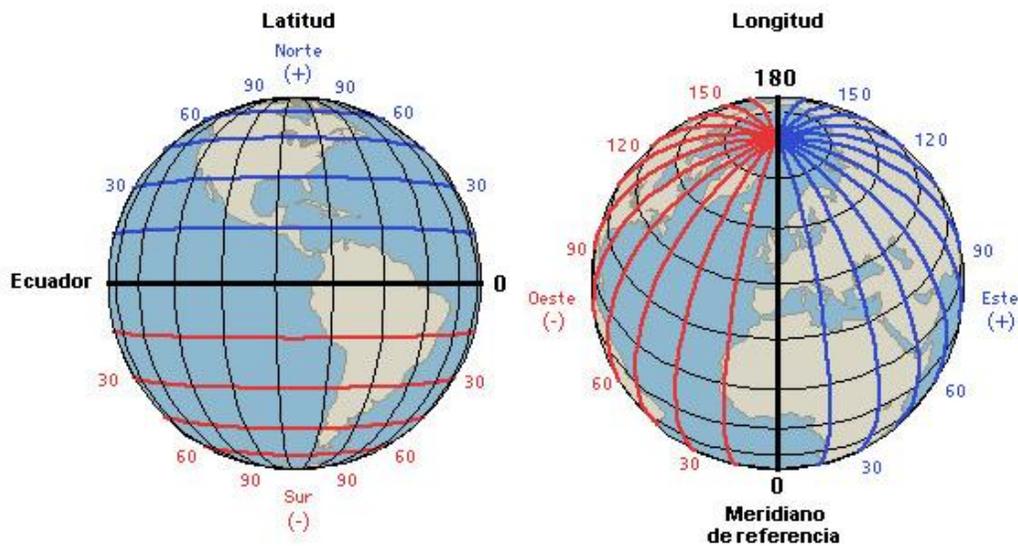


Figura 3.2. Definición de las coordenadas geográficas.

Sin embargo, este sistema tiene algunos inconvenientes para su utilización, tanto por el sistema sexagesimal que utiliza, como porque requiere de trigonometría esférica para su manejo, por lo que se utilizan actualmente, con más facilidad, las denominadas coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator) que es una proyección de la esfera terrestre sobre un plano, como se observa en la figura 3.3.

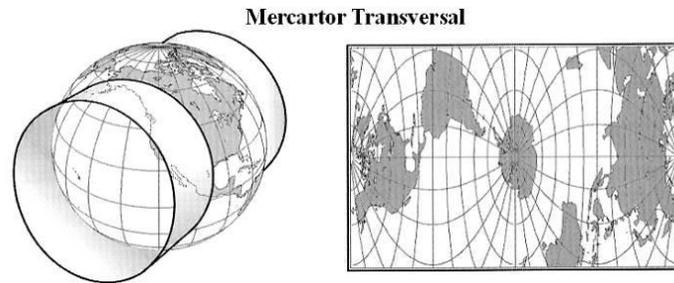


Figura 3.3. Proyección Mercator Transversal.

Este sistema permite medir la posición de un elemento por coordenadas planas, y para evitar la distorsión, solamente se considera un gajo de 6 grados, con 3 grados a cada lado de un meridiano central, midiendo la posición hacia el norte a partir del ecuador (Y), como se observa en la figura 3.4 y generando un falso Este de 500,000 m, para medir la coordenada horizontal (X), a partir del extremo izquierdo. Para el hemisferio Sur, los valores de Y se miden a partir de un valor de 10 millones de metros en el ecuador, restando las distancias al Sur.

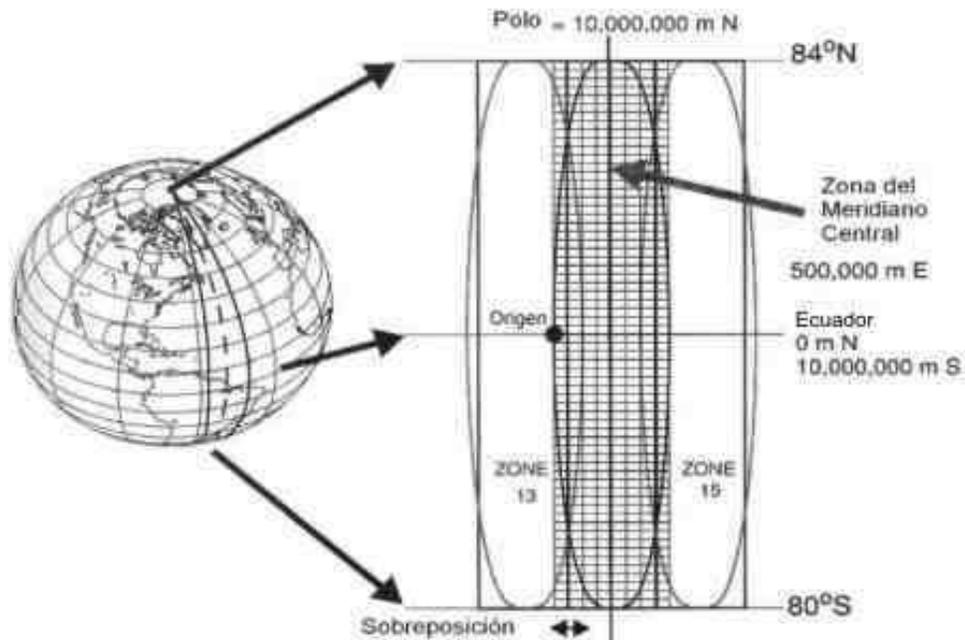


Figura 3.4. Coordenadas UTM y sus orígenes para su medición. (Adaptada de Clarke, 2001).

En la georreferenciación se requiere definir el Sistema Geodésico de Referencia (SGR) que se utilizará, lo cual es muy importante, ya que se refiere, entre otras cosas, a las medidas del planeta Tierra, las cuales han variado conforme se ha logrado una mayor precisión en su medición. Hasta

antes del mes de abril de 1998, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), utilizaba el denominado NAD27, que fue cambiado finalmente por el “Marco de Referencia Terrestre Internacional” época 1988 (ITRF92), el cual es congruente con el WGS84, (Sistema Geodésico Mundial, 1984), que se utiliza en muchos países y que fue un sistema previo al ITRF92 (INEGI, 2002).

Es importante considerar el SGR, al observar un mapa, dado que la posición de sus elementos, pueden quedar muy desplazados, respecto a otro que se haya elaborado con un sistema de coordenadas de diferente sistema. El INEGI, en las cartas que ha elaborado en años recientes las basa en el sistema ITRF92, pero marca también en forma punteada, la rejilla de coordenadas según el sistema NAD27, y se observa claramente el desplazamiento de varias decenas o aún centenas de metros de la posición de un elemento según las coordenadas consideradas.

Se pueden convertir las coordenadas de un sistema geodésico a otro mediante programas o calculadores que pueden obtenerse con facilidad en la WEB.

3.3. Los Sensores Remotos o Percepción Remota o Teledetección.

La percepción remota o teledetección (remote sensing en inglés), se ha definido en muchas formas, entre las cuales se pueden presentar las siguientes: es la capacidad de medir y adquirir información de algunas propiedades de un objeto o fenómeno, mediante un dispositivo que no tiene contacto físico con el objeto o fenómeno considerado. También se dice que la percepción remota es la ciencia y arte de adquirir información de algún objeto o fenómeno, sin estar en contacto con él. Una cámara fotográfica es un dispositivo de percepción remota (Palacios, 2011).

En general la percepción remota utiliza la energía electromagnética emitida o reflejada por el objeto en estudio, para obtener la información requerida. Específicamente para la obtención de información sobre la vegetación o sobre cultivos agrícolas, se mide la energía solar reflejada por el follaje, en lo que se ha llamado el espectro visible e infrarrojo.

La radiación electromagnética tiene un amplio espectro que va desde los rayos Gamma, hasta las ondas de radio, pero como se ha indicado, generalmente la radiación que interesa para evaluar características de la vegetación, se encuentra en el rango del espectro visible y los infrarrojos como el cercano (NIR, por sus iniciales en inglés), el infrarrojo medio (MIR) y el infrarrojo térmico (TIR), como se muestra en la figura 3.5, donde se indican las longitudes de onda de cada banda en que se ha dividido.

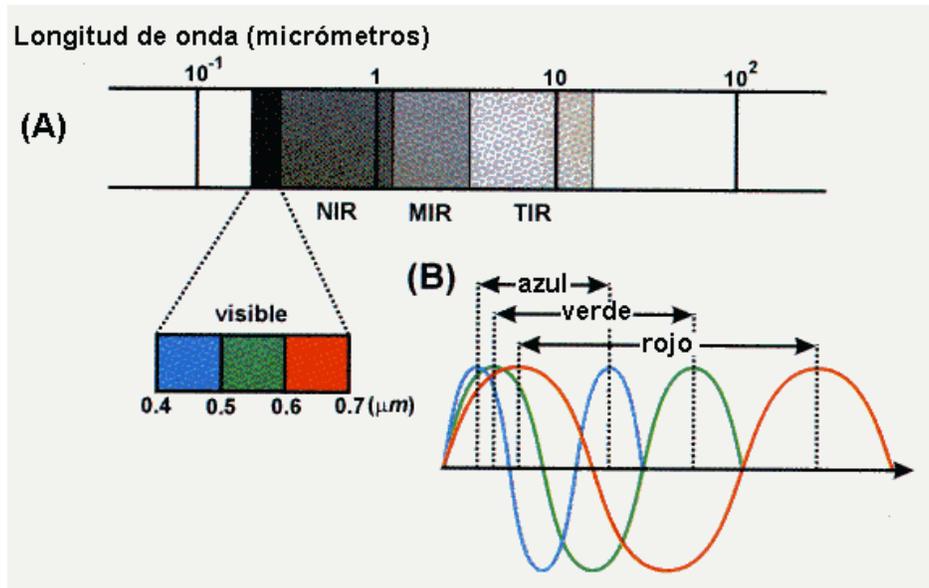


Figura 3.5. El espectro electromagnético.

La cantidad de energía radiante de una determinada superficie de una parte del espectro que interese, suele medirse con un instrumento denominado radiómetro, o también espectroradiómetro. Estos instrumentos pueden ser manuales para mediciones directas sobre espacios pequeños, en parcelas de investigación, o bien pueden montarse en aviones, helicópteros o en satélites para evaluar grandes superficies cultivadas.

En la figura 3.6, se muestran radiómetros manuales, tomando una lectura en una pradera y uno instalado en un helicóptero industrial del Colegio de Postgraduados, para medir la radiación reflejada de la vegetación en estudio.



Figura 3.6. Radioespectrómetros.

La cantidad de energía que irradia un objeto, se denomina radianza, y la que recibe un objeto es la irradianza. Cuando el sol es la fuente de radiación, la irradianza no es constante, varía continuamente con el tiempo y con las condiciones atmosféricas, por lo que la irradianza no suele ser un buen indicador de las propiedades físicas del objeto. Por esta razón, suele utilizarse lo que se denomina reflectancia, que es la relación entre la radianza y la irradianza, que al ser una relación adimensional, tiene menos variabilidad que la energía recibida y la reflejada.

3.3.2. Las firmas espectrales.

La vegetación, como ya se ha explicado, utiliza la energía solar en varios procesos fisiológicos, como es el caso de la fotosíntesis, y sus hojas tienen la característica de que absorben la energía principalmente en las bandas visibles del espectro electromagnético, aunque relejan parte de la energía cuya longitud de onda corresponde al verde, razón por la cual las mayoría de las plantas muestran sus hojas de color verde y por otra parte reflejan el infrarrojo cercano.

Los suelos dependiendo del color y de su grado de humedad, absorben también en parte las bandas visibles y van aumentado su reflectancia en las bandas infrarrojas, sin embargo, pueden distinguirse bastante bien del follaje verde.

El agua suele absorber la mayor parte de la energía y generalmente las aguas profundas, se ven negras en imágenes satelitales. En contraste, la nieve y las nubes, aunque también son agua, reflejan la mayor parte de la energía que reciben, razón por la cual tienden a tener un color prácticamente blanco.

Estas características de reflectancia de la energía, que distingue a diferentes objetos que la reciben, se denomina firma espectral. Así, en la figura 3.7, se muestra la reflectancia del follaje del cultivo del algodón y de un suelo desnudo.

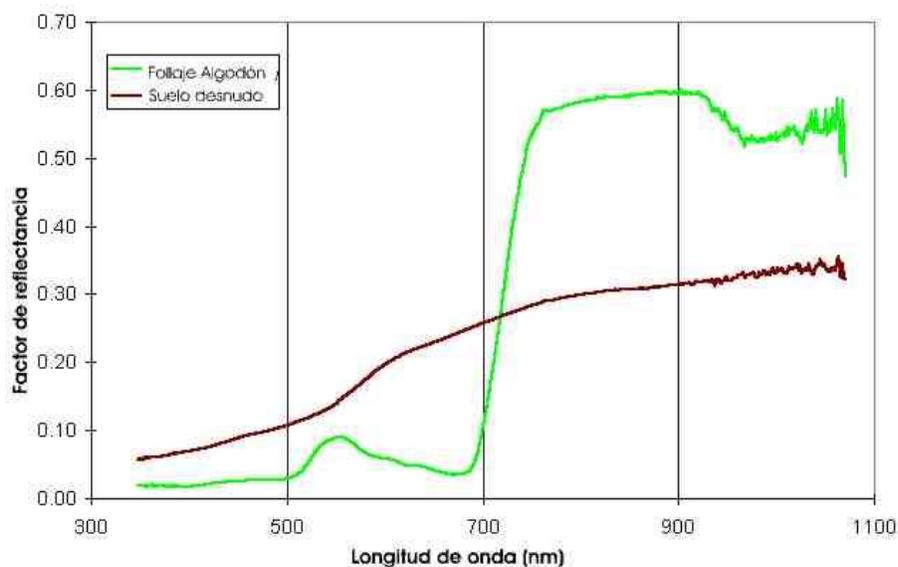


Figura 3.7. Firmas espectrales de un follaje y un suelo desnudo.(U.S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, Az.)(Jensen, 2000).

En la figura 3.7 se observa que la reflectancia del follaje aumenta cuando la longitud de onda energética es del orden de los 550 nanómetros (nm) y que corresponde al color verde y reduce su reflectancia en la longitud de onda cercana a los 690 nm, correspondiente al rojo, lo cual se debe principalmente a la absorción de la clorofila, aumentando bruscamente su reflectancia al rebasar los 700 nm, que corresponde a la banda del infrarrojo cercano.

En cambio, el suelo muestra una firma muy diferente, ya que muestra una pendiente ascendente hacia los infrarrojos, que le distingue del follaje. Estas características son importantes, debido a

que cuando se muda la reflectancia de terrenos cultivados, lo más común es que se tenga una mezcla de suelo follaje, cuya proporción va variando conforme se desarrollan los cultivos.

Este comportamiento, ha permitido calcular lo que se han denominado “Índices de Vegetación”, cuya observancia permite deducir el estado de desarrollo de los cultivos, así como conocer cuando se tienen problemas en el crecimiento de los cultivos.

El estrés hídrico puede también ser evaluado mediante otros índices, dado que el contenido de agua de las plantas, y su condición medida por la forma de transpirar, son indicadores del estrés.

Algunos de los satélites, tienen sensores térmicos, que permiten estimar la temperatura que presenta una determinada superficie, lo cual puede ser un indicador del estado de las plantas, ya que la temperatura del follaje suele disminuir acorde a los niveles de transpiración del cultivo, porque se requiere de calor para la evaporación del agua.

En la figura 3.8 (Jensen, J. R., 2000), muestra cómo cambia la firma espectral de una planta, en la zona de los infrarrojos, de acuerdo a su contenido de humedad en las hojas, lo cual permite hacer estimaciones de las condiciones de estrés hídrico a las que podrían estar sujetas.

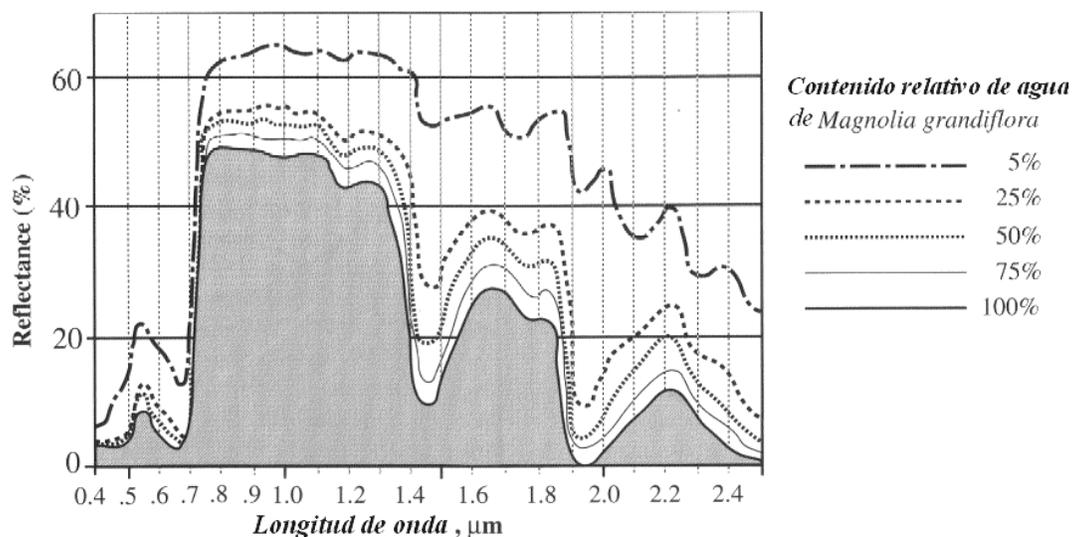


Figura 3.8. Variación de la firma espectral de acuerdo al contenido de agua de las hojas. (Adaptado de J. R. Jensen, 2000)

3.3.3. Los índices de vegetación.

Considerando el hecho de que el follaje de las plantas verdes absorben la radiación en la banda roja (R) y reflejan gran parte de la radiación en la banda del infrarrojo cercano (NIR), se propuso generar un índice que permitiera evaluar aproximadamente la cantidad de follaje verde que estuviera cubriendo la superficie explorada por el sensor remoto (RVI). Así, en 1969, Jordan propuso la relación simple de la reflectancia de la banda del infrarrojo cercano entre la reflectancia del rojo que se expresa según la función 3.1:

$$RVI = \frac{NIR}{R} \quad (3.1)$$

Sin embargo, este índice tiene el inconveniente de que cuando la reflectancia en la banda roja es pequeña, el índice puede tomar valores muy grandes que incluso pueden llegar al infinito, si no hay reflectancia en el rojo. Por esta razón, Rouse *et al.* (1973), propusieron un índice de diferencias normalizadas, cuyo concepto ya había sido presentado anteriormente por Kriegler *et al.* 1969. Este índice de diferencias normalizadas (NDVI, por sus iniciales en inglés), tiene la ventaja de que su variación está muy bien determinada entre 1 y -1, aunque está íntimamente relacionado con el anterior, como se presenta en la ecuación 3.2, dado que:

$$NDVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1} = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (3.2)$$

Cuando se usa la información generada por los sensores satelitales, es común que la radiación medida en las diferentes bandas, se exprese como una brillante en los denominados números digitales (ND o DN, por sus iniciales en inglés), por lo que a veces se calculan los índices de vegetación como relaciones entre dichos valores, pero es importante señalar que los índices deben calcularse con las reflectancias, por lo que habrá que transformar los valores digitales a reflectancias.

En 1998, Huete propone un índice que permite hacer un ajuste por las diferentes brillantes del suelo, respecto a la vegetación, agregando un término denominado L, el que puede variar entre 0 y 1, dependiendo de la cantidad visible de suelo en la superficie estudiada. El valor que se considera para L de 0.1 es para un suelo desnudo y 0.9 para vegetación muy densa; así que un valor promedio que se usa con frecuencia es 0.5. El índice propuesto en la ecuación 3.3 es:

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R + L}(1 + L) \quad (3.3)$$

Obsérvese que para definir claramente que los valores en las bandas consideradas son de reflectancia, se ha agregado la letra ρ como prefijo al nombre de la banda.

Si se corre una regresión entre las reflectancias roja e infrarroja, se observará que aparece una figura de tipo triangular, que también se ha denominado un “sombreo de tres picos” (tasseled cap, en inglés), descrita por Kauth y Thomas (1976), donde la punta superior izquierda corresponde a la vegetación más vigorosa, la punta superior derecha a la vegetación senescente y la línea entre esta punta y la inferior izquierda, es la denominada línea del suelo, como se observa en la figura 3.9.

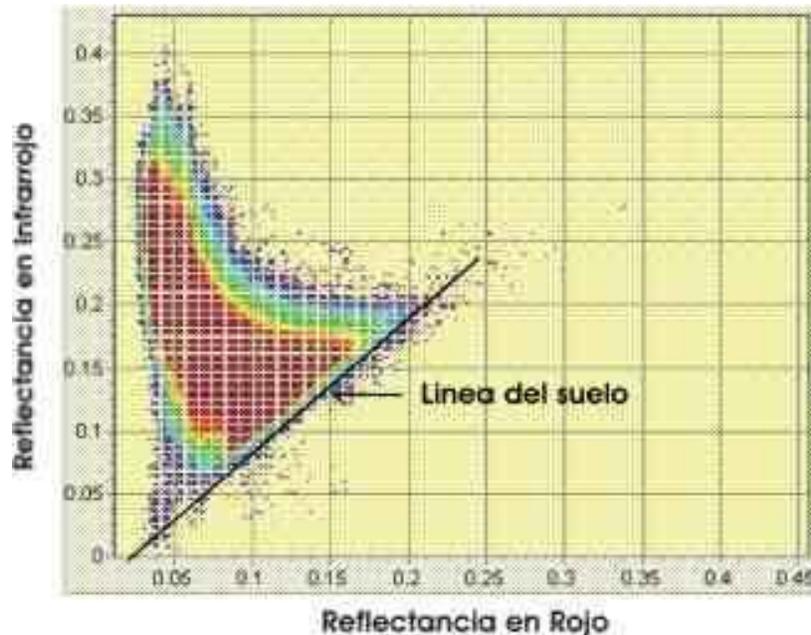


Figura 3.9. “Sombbrero de tres picos” y la línea del suelo

Richardson y Wiegand (1977), propusieron otro índice que toma en cuenta la línea del suelo, de manera que en lugar de medir la distancia de un píxel a partir del eje de las X, se mide perpendicularmente a partir de la línea del suelo, denominado Índice Perpendicular de Vegetación (PVI, por sus iniciales en inglés), cuya estructura es:

$$PVI = \text{sen}(b)NIR - \text{cos}(b)R \quad (3.4)$$

Donde b es la pendiente de la línea del suelo. El PVI es muy sensible a las variaciones atmosféricas, por lo que es riesgoso comparar estos índices en diferentes fechas, si no hace una corrección atmosférica a las imágenes satelitales.

En realidad, se han desarrollado muchos índices de vegetación, sin embargo, estos tres índices son los que se utilizan con más frecuencia, ya que solamente utilizan dos bandas del espectro electromagnético; pero se han generado muchos otros índices, aunque algunos de estos son variantes de los descritos.

No obstante, se han desarrollado índices que pretenden evaluar la condición de estrés hídrico en la planta, tomando en cuenta que el agua absorbe energía en la banda del infrarrojo medio y del lejano (λ 1.5 a 1.8 μm y 2.08 a 2.35 μm) de manera que a mayor turgidez de la hoja habrá menor reflectancia y por el contrario, conforme disminuye su contenido de humedad, la reflectancia del infrarrojo medio y lejano aumentará.

Carter (1991), indica que la reflectancia de la energía en el infrarrojo medio por la hoja, está relacionada inversamente a la absorbancia de una lámina de agua de aproximadamente un milímetro. Luego el grado en el cual la energía incidente del sol en la región del infrarrojo medio es absorbida por la vegetación es una función de la cantidad de agua presente en el follaje de las plantas.

Por otra parte, la reflectancia de la hoja verde en el infrarrojo cercano (λ 0.75 a 0.9 μm), permanece con poca variación, por lo que es posible definir un índice de humedad en el follaje, si se relacionan las bandas del infrarrojo medio entre el infrarrojo cercano, como lo ha sugerido

Rock et al (1986), los cuales proponen un índice de estrés de humedad (MSI, por sus iniciales en inglés), que para el sensor Thematic Mapper de Landsat se usan las bandas 5 y 6. El índice también se puede normalizar en forma similar al NDVI, como se muestra en las fórmulas (3.5)

$$MSI = \frac{MIR_{TM\ 5}}{NIR_{TM\ 4}} \quad NDMSI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR} \quad (3.5)$$

Dónde:

MIR = Banda 5 del infrarrojo medio en el Thematic Mapper del Landsat;

NIR= Banda 4 del infrarrojo cercano en el Thematic Mapper del Landsat.

Para el caso de las bandas de los Satélites SPOT 4 y 5, este índice se obtiene con la relación de la banda 4 (MIR) entre la banda 3 (NIR).

El valor del índice MSI es inverso al nivel de estrés hídrico de la planta, de manera que para valores del índice menores que la unidad, la reflectancia de la banda del infrarrojo cercano será superior a la del infrarrojo medio lo que será un indicador del contenido de humedad del follaje. Para el NDMSI, no habrá un fuerte estrés para valores cercanos a la unidad.

También es posible medir la temperatura del follaje, si se utiliza una banda térmica de alguno de los satélites, de manera que pueden distinguirse cultivos regados de cultivos de temporal, en una época cuando las lluvias no sean de mucha importancia, ya que el cultivo regado tendrá una temperatura más baja que el que no lo ha sido, debido a que transpirará más y en consecuencia absorberá más energía.

3.4. Imágenes RapidEye.

RapidEye posee una constelación de cinco satélites idénticos para la observación de la tierra tiene aplicaciones en varios campos de estudio entre ellos la agricultura, los satélites fueron lanzados en el 2008 y ofrecen una cobertura del terreno de 5 m de distancia, y pueden hacer tomas

diariamente, cada una de las imágenes tiene un área aproximada de 625 km² (25 km x 25 km) (Palacios, 2011).

Las imágenes poseen 5 bandas para su análisis, las cuales se mencionan en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Características de las Imágenes RapidEye

Banda	Ancho de banda
Azul	440–510 nm
Verde	520–590 nm
Roja	630–685 nm
«Red edge»	690–730 nm
Infrarrojo cercano	760–850 nm

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. Características generales del distrito de riego.

El Distrito de Riego 063 Guasave, se ubica en la Región Administrativa No. III Pacífico Norte, y se localiza dentro de la Región Hidrológica No. 10 Sinaloa. Su localización geográfica está entre los meridianos $108^{\circ} 09'$ y $108^{\circ} 04'$ de longitud Oeste y los paralelos $25^{\circ} 18'$ y $26^{\circ} 02'$ de latitud Norte, a una altitud promedio de 20 msnm, con 5 módulos de riego que cubren una superficie aproximada de 110,000 ha agrícolas, la ubicación de presenta en la figura 4.1.

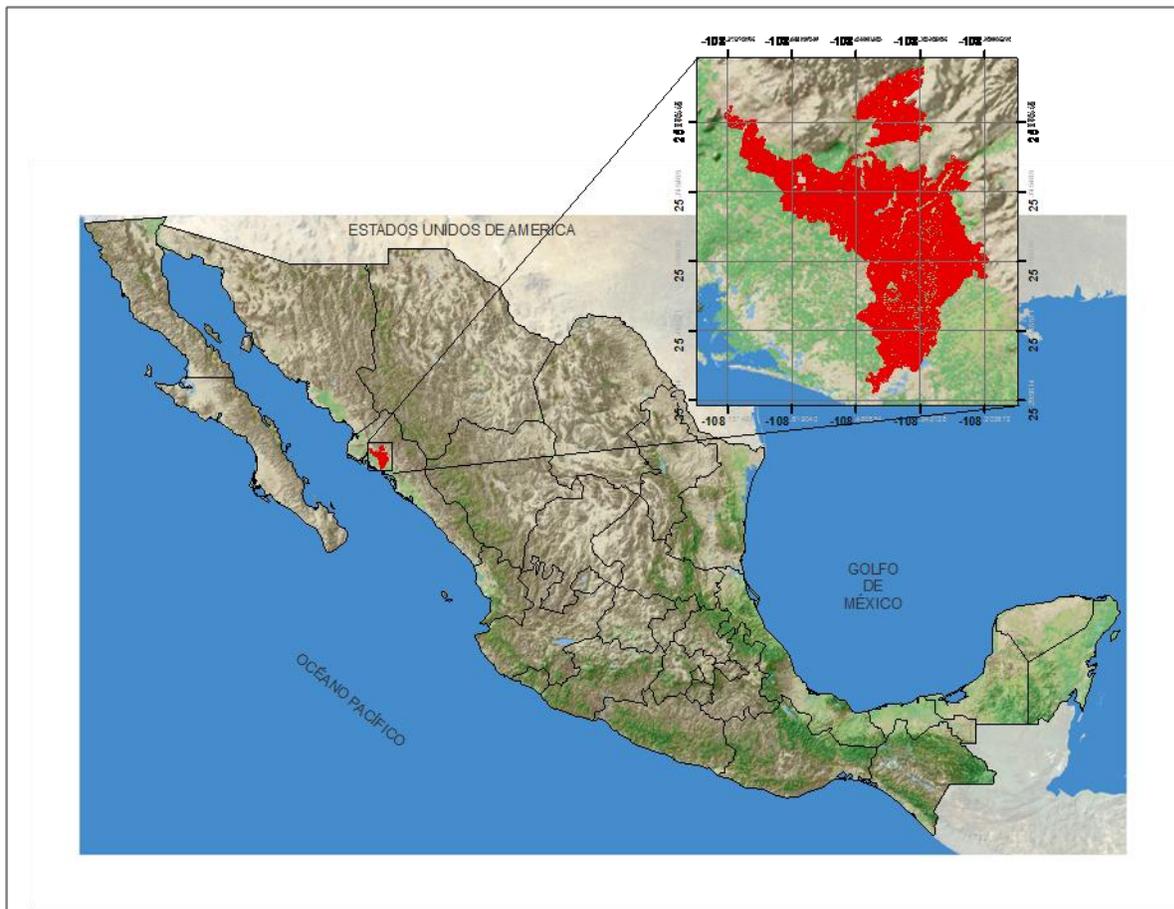


Figura 4.1. Ubicación del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.

El Distrito está conformado por 5 Módulos de Riego, los cuales se presentan en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Módulos del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.

Módulo	Localización	Asociación Civil de Usuarios
I-1	Guasave, Sinaloa	Asociaciones de Usuarios Productores Agrícolas“Bamoá”, A.C.
I-2	Guasave, Sinaloa	Asociaciones de Usuarios Productores Agrícolas“Las Milpas”, A.C.
II-1	Guasave, Sinaloa	Asociaciones de Usuarios Productores Agrícolas“Petatlan”, A.C.
II-2	Guasave, Sinaloa	Asociaciones de Usuarios Productores Agrícolas“Tetameche”, A.C.
III-1	Poblado Genaro Estrada	Asociaciones de Usuarios Productores Agrícolas“El Sabinal”, A.C.

Fuente: CONAGUA.

4.1.2. Recursos Naturales.

4.1.2.1. Clima.

El clima en la zona de influencia del Distrito de Riego 063 Guasave es seco sin excedente de humedad durante el año; cálido con régimen normal de calor e invierno benigno. La temperatura media anual es de 23.9 °C; las temperaturas máximas y mínimas son de 42.0 °C y 4.4 °C, respectivamente. La precipitación media anual oscila en los 409 mm y la evaporación media anual es de 2,202 mm (CONAGUA, 2005).

4.1.2.2. Flora y Fauna.

Las especies vegetales endémicas encontradas en el Municipio de Sinaloa de Leyva son el Mauto, el Copal y el Palo Santo, el representante más importante de los pastizales es el Buffel utilizado como forraje y los cultivos principales en la zona son el Maíz, el Sorgo, el Frijol y el Ajonjolí (CONAGUA, 2005).

Con respecto a la fauna, en este Municipio existen: conejo, venado, armadillo, coyote, víbora de cascabel, coralillo y diversas variedades de aves.

La vegetación en Guasave que se encuentra ubicada en la llanura costera consiste en vegetación halófila propia de dunas costeras, vegetación secundaria matorral y hacia el centro del municipio existe selva baja caducifolia.

La flora está clasificada como bosque espinoso, vegetación propia de las zonas más secas. Su vegetación se presenta en forma de zacates bajos que se propagan por rizomas. Es posible encontrar diversas variedades de árboles como el mezquite, el árbol recio, el espino y el amole. Otras especies muy características de este tipo de bosque son las cactáceas que llegan a medir de dos a cinco metros de altura.

La fauna se caracteriza por una mezcla de animales de zonas áridas y especies tropicales. Sobresale de entre los arácnidos, el alacrán y entre sus pocos anfibios característicos: lagarto, cocodrilo, caimanes; además, encontramos los sapos, de los cuales tres son especies endémicas. Los gecos, los anolis, las culebras ratoneras, las iguanas, las tortugas y las serpientes de cascabel, son reptiles característicos de esta región. Las aves como el correcaminos, la aguililla de swainson, tecolotes, búhos, chachalacas, así como también palomas y codornices son especies abundantes en la fauna del municipio. Dentro de los mamíferos es posible encontrar ratones de campo, ardillas, conejos, liebres, mapaches y tejones. Destacan en la fauna de la región, la zorra gris, el jabalí y el venado cola blanca; y depredadores como el gato montés, el coyote y el puma.

4.1.3. Hidrología.

4.1.3.1. Región Hidrológica.

El Distrito de Riego 063 Guasave, se localiza en la región Hidrológica No. 10 Sinaloa. El cual se presenta en la figura 4.2(CONAGUA, 2005).



Figura 4.2. Regiones Hidrológicas de la República Mexicana.

4.1.3.2. Cuenca.

La cuenca Hidrológica Río Sinaloa tiene un volumen disponible a la salida de 535.96 millones demetros cúbicos. Por lo que su clasificación es denominada como con disponibilidad.

El volumen disponible que se señala en el párrafo anterior, comprende desde las presas Gustavo DíazOrdaz y Guillermo Blake Aguilar y la estación hidrométrica Zopilote, hasta su desembocadura al Golfo deCalifornia(CONAGUA, 2005).

4.1.3.3. Ríos y Corrientes.

La corriente superficial más importante en el municipio de Guasave es el río Sinaloa o Petatlán; que se forma en el suroeste del estado de Chihuahua con la confluencia de los arroyos de Nahirora y Besanopa. Se adentra al estado a través del municipio de Sinaloa, donde recibe afluentes de los arroyos de Magdalena, San José de Gracia y Bacubirito. Ya dentro de Guasave, el río Sinaloa recibe las afluentes de los arroyos de Ocoroni y de Cabrera(CONAGUA, 2005).

La cuenca de captación de este río, es de 8 mil 179 kilómetros cuadrados, poseyendo un escurrimiento medio anual de 1 mil 239 millones de metros cúbicos. El río Sinaloa se adentra 70 kilómetros (el 17 por ciento de su longitud total) en la superficie municipal. En la ribera de su trayecto se encuentran las poblaciones de Bamoa, Cruz Blanca, Pueblo Viejo, la ciudad Guasave, Tamazula y La Brecha, para verter sus aguas al Golfo de California en la comunidad de Boca del Río a un kilómetro de Las Juntas, sindicatura de La Brecha.

En el municipio también fluyen los arroyos de El Mesquitillo y San Rafael. Además, encontramos dos importantes cuerpos de agua: las lagunas de Huyaqui y Chamicari.; y los esteros La Presa y Cohui.

4.1.4. Infraestructura.

4.1.4.1. Presa de Almacenamiento.

La infraestructura del Distrito de Riego puede considerarse que se compone de dos sistemas independientes, los cuales son: el Sistema Bacurato que con mucho es el más importante, y el Sistema El Sabinal. El primero comprende cuatro Módulos de Riego y más del 90% de la superficie bajo riego, en tanto que el segundo cuenta con un solo Módulo y menos del 10% de la superficie regada (CONAGUA, 2005).

Cada sistema se constituye de una gran obra de cabeza que corresponde a una Presa de Almacenamiento, así la fuente de aguas superficiales que abastece al Sistema Bacurato del Distrito de Riego es el Río Sinaloa y sobre su cauce se ubica la Presa de almacenamiento Lic. Gustavo Díaz Ordaz (Bacurato), la que se muestra en la figura 4.3. Por otra parte, la fuente de aguas superficiales que abastece al Sistema El Sabinal del Distrito de Riego es el Arroyo Ocoroni sobre cuyo cauce se localiza la Presa de almacenamiento Ing. Guillermo Blake Aguilar (El Sabinal), la cual se presenta en la figura 4.4.



Figura 4.3. Presa de almacenamiento “Lic. Gustavo Díaz Ordaz”.



Figura 4.4. Presa de almacenamiento “Ing. Guillermo Blake Aguilar”.

A continuación, en el Cuadro 4.2 y figura 4.5 se muestran un comparativo de los almacenamientos registrados para las presas Gustavo Díaz Ordaz (G.D.O.) y Guillermo Blake Aguilar (G.B.A.) del año 2011 y 2012 observándose una diferencia del 46 % y 4.5% respectivamente para cada una de las presas, notándose que ha habido extracciones de los sistemas sin haber ninguna aportación a los mismos, estos datos se ven reflejados hasta el día 10 de febrero del 2012.

Cuadro 4.2. Almacenamientos registrados en el sistema de presas Gustavo Díaz Ordaz y Guillermo Blake Aguilar al día 10 de febrero 2012.

PRESAS	ALMACENAMIENTO EN MILLONES DE m ³					APORT. m ³ /s	EXTRAC. m ³ /s
	CONSERV.	2012	%	2011	%		
G.D.O.	1859.80	282.40	15.18	1138.20	61.20	0.00	12.10
G.B.A.	300.00	68.60	22.87	82.00	27.33	0.00	2.00
SUMA	2159.80	351.00	16.25	1220.20	56.50	0.00	14.10

Fuente: Jefatura del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.

Los volúmenes de aguas utilizables, superficiales y subterráneos, dependen de la disponibilidad que determine para distribución la CONAGUA al inicio de cada ciclo o año agrícola. En el siguiente grafico se muestra el volumen de almacenamiento para ambas presas.

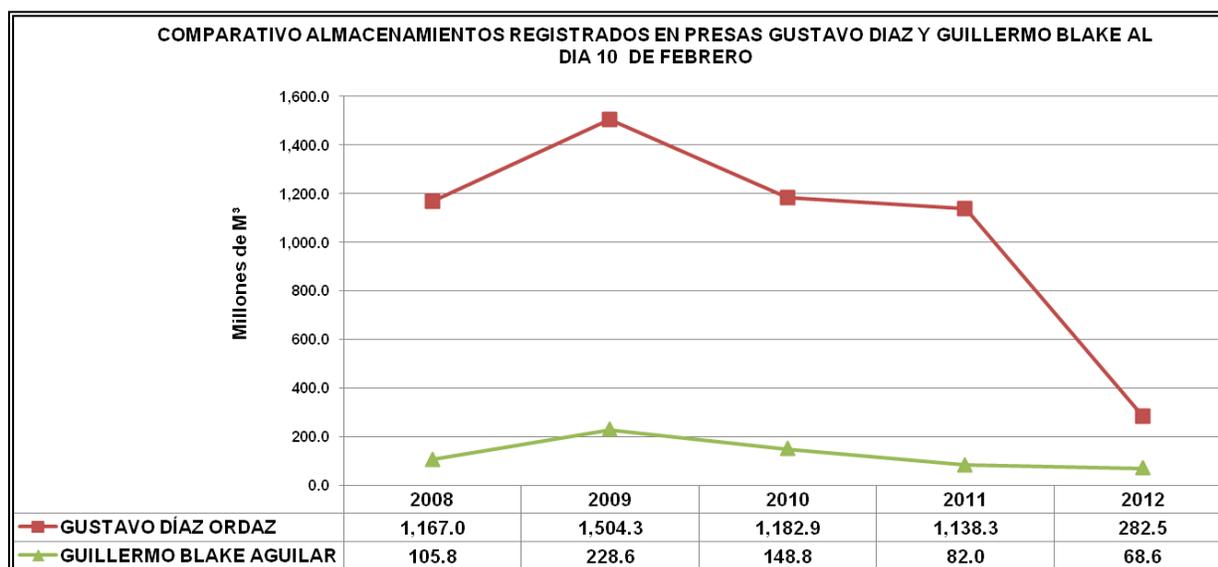


Figura 4.5. Almacenamientos registrados en las Presas Gustavo Díaz Ordaz y Guillermo Blake Aguilar al 10 de febrero de 2012.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4.2. Red de Conducción (Red Mayor de Canales).

La red mayor de conducción del Distrito de Riego063Guasave, que está a cargo de la SRL se divide en 67.49 km revestida de concreto y 19.18 km de canales de tierra para un total de 86.67 km. La red de canales principales que están a cargo de los Módulos es de 113.98 km de canales de concreto, 6.15 km de canales de tierra y 2.36 km de tubo de PVC lo que da una longitud total

de acuerdo al cálculo con el Modelo de Sistema de Información Geográfica de 122.49 km. Esta información se resume en el Cuadro 4.3, una breve representación de la misma en la figura 4.6.

Cuadro 4.3. Red de conducción en los Módulos del Distritos de Riego 063 Guasave, Sinaloa.

Módulo	Longitud de la red de conducción (km)		
	Revestida	En Tierra	Tubo PVC
Módulo I-1	27.93	-	2.36
Módulo I-2	38.87	-	-
Módulo II-1	-	6.15	-
Módulo II-2	-	-	-
Módulo III-1	47.18	-	-
Total	113.98	6.15	2.36

Fuente: Jefatura del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.



Figura 4.6. Red Mayor de canales del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.

4.1.4.3. Red de Distribución (Red Menor de Canales).

El Distrito de Riego cuenta con una red de menor de distribución cuya longitud total es de 966.00 km, de acuerdo al cálculo con el Modelo de Sistema de Información Geográfica, de los cuales 505.23 km (52 %) corresponden a canales laterales, 358.01 km (37 %) a Sub Laterales, 96.38 km (10 %) a Ramales, 4.90 km a interparcelarios (1 %) a y 1.48 km canales Sub Ramales (con un porcentaje no significativo). Los cuales se presentan en el cuadro 4.4 y la figura 4.7

Cuadro 4.4. Red Menor de Canales del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.

Módulo	Longitud Calculada SIG (km)					
	Lateral	Sub Lateral	Ramal	Sub Ramal	Interparcelario	Total
MóduloI-1 Bamoa	125.87	102.77	40.20	-	4.90	273.73
MóduloI-2 Las Milpas	112.09	73.95	12.38	-	-	198.42
MóduloII-1 Petatlán	120.18	102.56	24.26	1.48	-	248.48
Módulo II-2 Tetameche	71.55	47.53	14.41	-	-	133.49
MóduloIII-1 El Sabinal	75.54	23.47	5.13	-	-	104.13
SRL		7.73				7.73
Total	505.23	358.01	96.38	1.48	4.90	965.99

Fuente: Jefatura del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.



Figura 4.7. Red Menor de canales del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.

4.2. Materiales

- Imágenes de Satélite tipo RapidEye de alta resolución para cubrir el área del Distrito de Riego 063. Las imágenes adquiridas fueron procesadas utilizando el software ERDAS Image 2010 con lo cual se generó con las imágenes un mosaico de acuerdo a los meses analizados, se pueden observar gráficamente en la figura 4.8.
- Equipos GPS, cámaras, vehículos, computadoras, impresoras.



Figura 4.8. Mosaico de imágenes de Satélite RapidEye, solicitada para el Distrito de Riego 063.

- Se obtuvo la información del inventario de infraestructura hidroagrícola y estadísticas agrícolas del Distrito de riego 063.

4.3. Métodos

Con la finalidad de llevar a cabo la evaluación de la operación en el ciclo Otoño-Invierno 2011-2012 del Distrito de Riego 063, Guasave, se realizó las siguientes acciones:

- Se realizaron reuniones de trabajo con el personal técnico de los módulos del Distrito de Riego, para la definición de estrategias que permitieron la recopilación de información referente a la operación de los módulos del Distrito de Riego en el Ciclo Otoño-Invierno 2011-2012.

- Se realizaron recorridos para supervisar que las regaderas y desagües interparcelarios se encontraran en óptimas condiciones para operar; en los casos en que hubo irregularidades, se solicitó participación de las personas encargadas de los riegos para que con su auxilio se procediera a realizar el acondicionamiento de la infraestructura, evitando pérdidas de agua.
- Dentro de estos recorridos se verificó que los lotes a regar contaran con tiradas de riego recomendadas, acordes con el tipo de cultivo a establecer, lo que permitió la distribución del agua en forma uniforme al interior de la parcela, reportando a las mesas directivas de las Asociaciones Civiles, las regularidades encontradas, para que se tomara las acciones correctivas necesarias.
- En base a la revisión y seguimiento del programa que en forma semanal entrego el personal, se utilizó como plataforma el Modelo de Sistema de Información Geográfica (SIG) del distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa, generando un mosaico de cultivos, para el ciclo Otoño-Invierno 2011-2012 mismo que sirvió para hacer un comparativo de la información real y lo reportado por los Módulos de Riego a la CONAGUA.
- En coordinación con personal de la Comisión, y las Asociaciones Civiles de Usuarios, se analizó la información referente a la operación en el Ciclo Otoño-Invierno 2011-2012. Este análisis permitió la evaluación del Plan de Riego acordado con cada Asociación Civil de Usuarios, permitiendo la obtención de resultados, tanto en la superficie establecida, como el cumplimiento en el patrón de cultivos programados, así como la eficiencia en la distribución del agua utilizada.
- Con el propósito de contar con datos confiables en cuanto a la elaboración de los mosaicos de cultivos, se realizó un muestreo de cultivos, el cual consistió en la visita de campo de un significativo número de parcelas en cada uno de los Módulos de Riego y mediante un GPS se obtuvieron las coordenadas geográficas con la finalidad de incorporarlas al SIG, para enriquecer dicha información, se capturaron fotografías del cultivo y se levantaron datos relevantes del cultivo establecido como la fecha de siembra,

los riegos aplicados hasta el momento de la visita, la etapa fenológica y la variedad del cultivo. Se elaboró una metodología para la determinación del tipo de cobertura vegetal que se encuentra en el área de estudio mediante imágenes de satélite. Un ejemplo del Módulo II-1 Petatlán se presenta en la figura 4.9.



Figura 4.9. Muestreo de cultivos para el Módulo II-1 Petatlán del DR 063 Guasave, Sinaloa.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se utilizó como plataforma para el seguimiento de la operación, de la red mayor de conducción, el Modelo de Sistema de Información Geográfica (SIG) del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa. Este Sistema permitió el manejo eficiente de la información espacio-temporal que se generó durante la operación en tiempo real de la red mayor de conducción.

5.1. Puntos de Control

En el Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa se identificaron y georreferenciaron 99 puntos de control, de los cuales se obtuvo información de cada uno de ellos, concentrando la información en fichas técnicas, un ejemplo de ello es la figura 5.1.

PUNTO DE CONTROL CANAL PRINCIPAL MARGEN DERECHA

Coordenadas Geográficas

Longitud X -106.503165
 Latitud Y 23.806406

Coordenadas UTM

Zona 12
 Longitud X 750335.12
 Latitud Y 2856620.40



DISTRIBUYE AGUA PARA EL MODULO II-2 A.U.P.A. "TETAMECHE". EL GASTO APORTADO SE CALCULA A LAS MEDICIONES DE LA FORMULA:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

DONDE:

- C - CONSTANTE = 0.62
- A - AREA DE APERTURA
- g - GRAVEDAD = 9.81 Kg. *m/s²
- H - DIFERENCIA DE ESCALAS = H1-H2

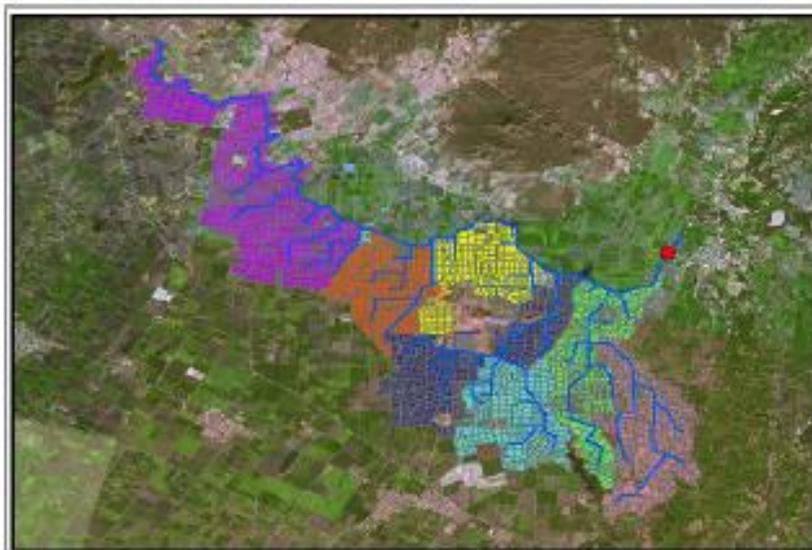


Figura 5.1. Ejemplo de ficha técnica para un punto de control del Distritos de Riego 063 Guasave, Sinaloa.

Con el fin de ubicar todos los puntos de control para la operación de la red mayor, se obtuvieron los datos de cada uno de ellos, se georreferenciaron y se incorporaron al Modelo de Sistema de Información Geográfica. Los cuales se presentan en la figura 5.2 y 5.3.

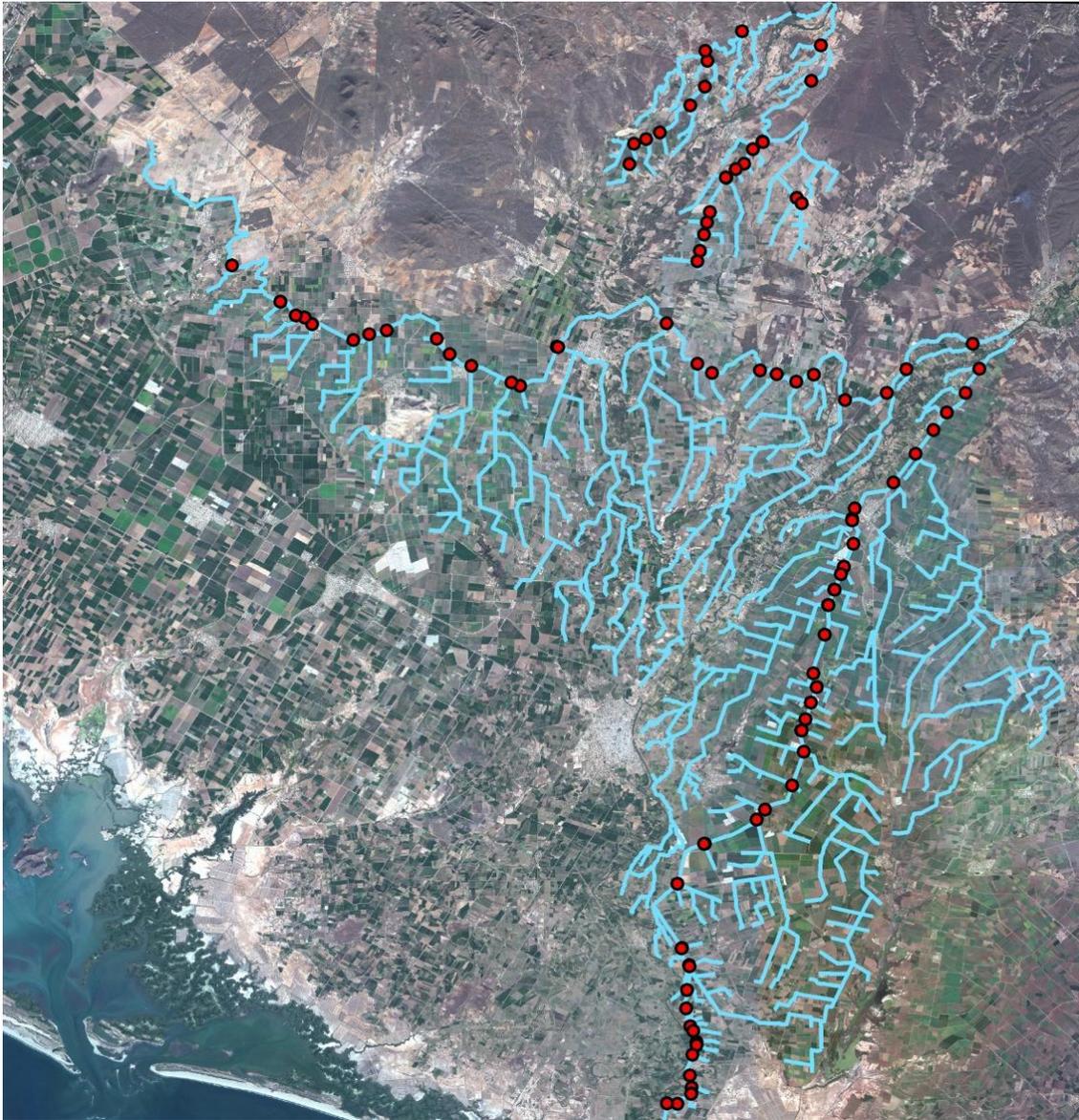


Figura 5.2. Georreferenciación de los Puntos de Control, del Distrito de Riego 063.

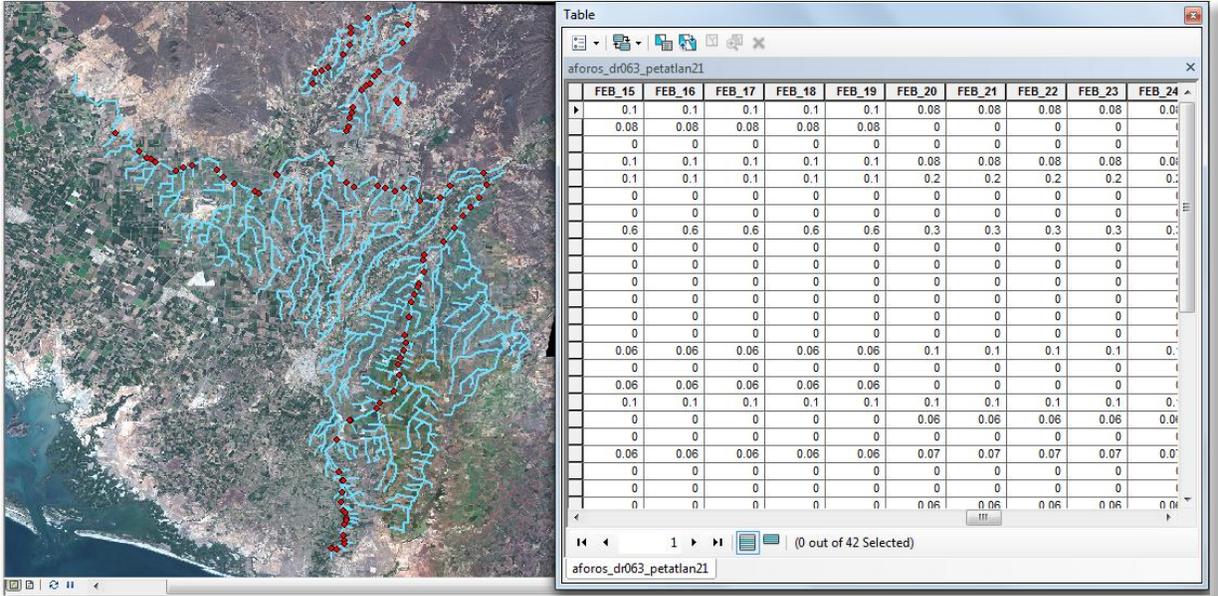


Figura 5.3. Incorporación de datos de los Puntos de Control al Modelo SIG

5.2. Aforos

Así mismo, en cada uno de los 99 puntos de control que se tienen para la operación de la red mayor, se tomaron los datos de escala o gastos entregados en dicho punto, como se aprecia en la figura 5.4.



Figura 5.4. Obtención de escalas en los Puntos de Control.

Como resumen de los volúmenes entregados en cada uno de los puntos de control identificados, se obtuvo el Cuadro 5.1, en donde se presenta los volúmenes entregados mensualmente en cada uno de los Módulos de Riego.

En el Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa se entregó un volumen total de 297,673.79 millares de m³, realizándose la mayor entrega de agua en el mes de octubre con 104,400.70 millares de m³ haciéndose la aclaración de que en el volumen de este mes esta contabilizado el volumen entregado por adelantado en el mes de septiembre para riegos iniciales de cultivos adelantados del ciclo agrícola 2011-2012.

A nivel Módulo la mayor entrega se realizó en el Módulo I-1 Bamoa con 86,933.99 millares de m³, seguido del Módulo I-2 Milpas con 63,065.13 millares de m³.

Cuadro 5.1. Volumen entregado (Millares m³) en los Módulos de los Distritos de Riego 063 Guasave, Sinaloa.

Módulo	2011			2012			TOTAL
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	
A.U.P.A. BAMOA MODULO I - 1, A.C.	38,871.40	31,708.80	7,231.68	4,237.92	2,466.72	2,417.47	86,933.99
A.U.P.A. LAS MILPAS MODULO I - 2, A.C.	22,680.00	10,057.00	7,485.70	5,647.10	6,179.33	11,016.00	63,065.13
A.U.P.A. PETATLAN MODULO II - 1, A.C.	19,638.70	19,828.80	7,299.94	4,978.37	5,624.64	4,446.14	61,816.59
A.U.P.A. TETAMECHE MODULO II - 2, A.C.	20,649.60	17,884.80	7,309.44	3,931.20	2,393.28	4,656.96	56,825.28
A.U.P.A. EL SABINAL MODULO III - 1, A.C.	2,561.00	8,275.10	4,962.82	3,577.82	5,767.20	3,888.86	29,032.80
TOTAL	104,400.70	87,754.50	34,289.57	22,372.42	22,431.17	26,425.44	297,673.79

Fuente: Elaboración propia.

Los datos de volúmenes entregados en cada uno de los Módulos a nivel Mensual del Cuadro 5.1 se presentan gráficamente en la figura 5.5.

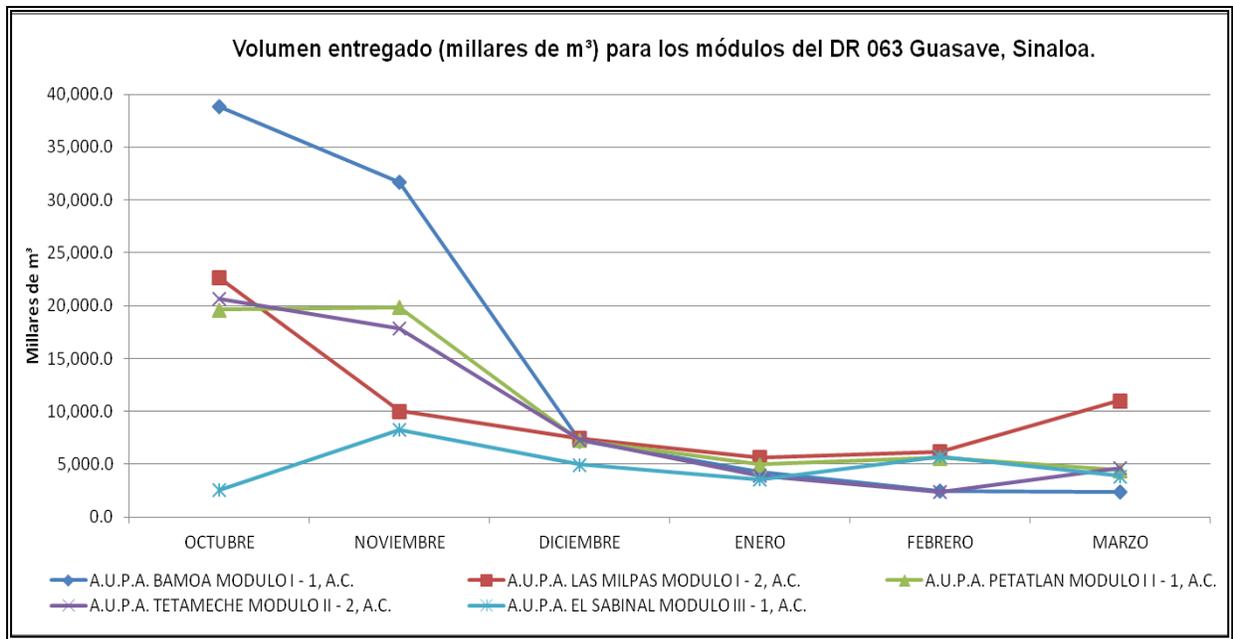


Figura 5.5. Volumen entregado mensualmente en los Módulos del Distrito de Riego 063 Guasave.

5.3. Pozos, norias y rescates.

Como parte de los trabajos realizados, se llevo a cabo una actualización de pozos, norias y rescates para conocer el estado en el que se encuentran, además de conocer la capacidad de extracción de agua del subsuelo, subálvea y superficial de cada uno de ellos con el objetivo de elaborar un plan de contingencia a futuro debido a la escasez de agua que se ha presentado en los últimos años.

En seguida, se muestra en el Cuadro 5.2 y figura 5.6 la cantidad de pozos y norias en operación y por rehabilitar con que cuenta cada uno de los módulos.

Cuadro 5.2. Pozos y norias en operación y sin operar correspondientes al DR 063 Guasave, Sinaloa.

MODULO	EN OPERACIÓN		SIN OPERAR		TOTAL
	POZO PROFUNDO	NORIA	POZO PROFUNDO	NORIA	
A.U.P.A. BAMOA MODULO I - 1, A.C.	73	27	31	3	134
A.U.P.A. LAS MILPAS MODULO I - 2, A.C.	73	4	28	1	106
A.U.P.A. PETATLAN MODULO II - 1, A.C.	79	78	9	13	179
A.U.P.A. TETAMECHE MODULO II - 2, A.C.	32	2	29	-	63
A.U.P.A. EL SABINAL MODULO III - 1, A.C.	2	3	11	-	16
TOTAL	259	114	108	17	498

Fuente: Elaboración propia.

El DR 063 Guasave, Sinaloa cuenta con un total de 367 pozos profundos y 131 norias; de los cuales el 70.6 % de pozos se encuentran operando y el 29.4 % por rehabilitar. En cuanto a las norias el 87 % se encuentran operando y el 13 % por rehabilitar. La información se presenta en la figura 5.6.

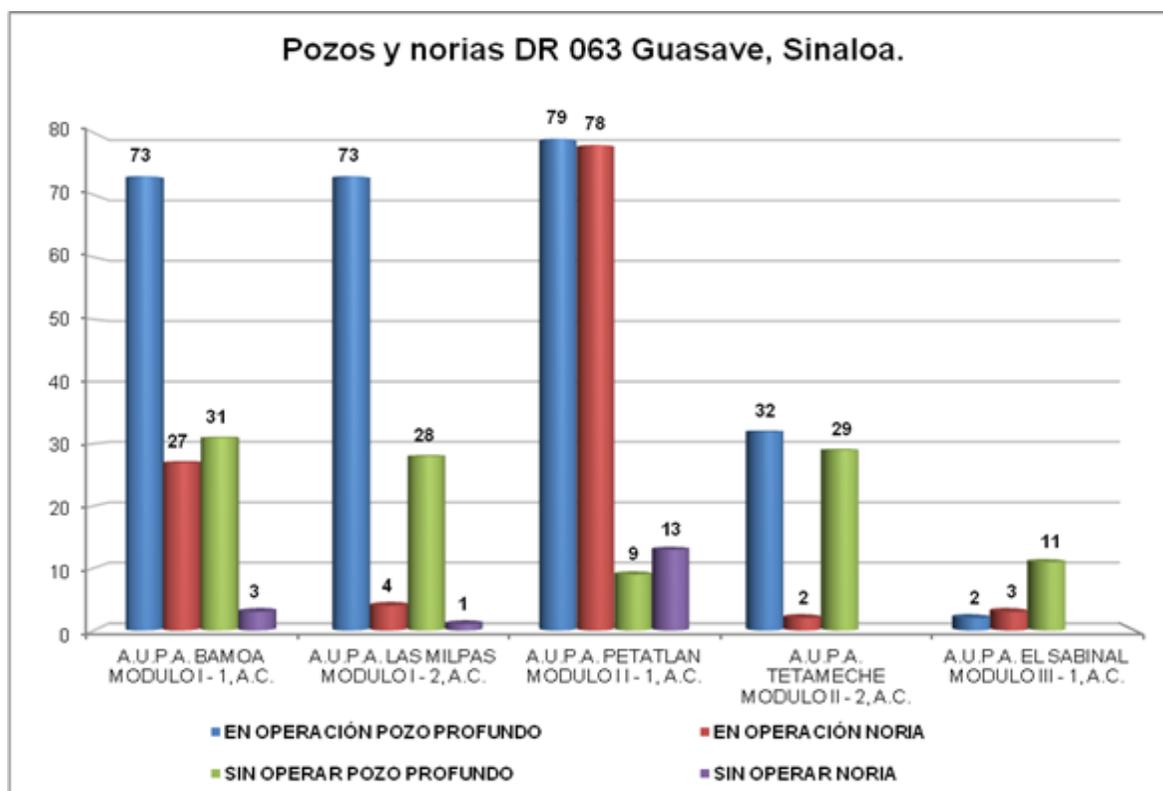


Figura 5.6. Pozos y norias del DR 063 Guasave, Sinaloa

Del total de pozos profundos con el que está equipado el Distrito de Riego, el módulo que cuenta con más equipos para extraer agua del subsuelo es el Módulo II-1 Petatlan con 30.5 % de pozos en operación, seguido por los Módulos I-1 Bamoa y I-2 Las Milpas con el 28.2 %, el Módulo II-2 Tetameche con el 12.4 % y por último Módulo III-1 El Sabinal con el 0.8 % de pozos en operación.

Por otro lado, la mayor cantidad de norias en operación se encuentran en el Módulo II-1 Petatlan con 68.4 %, seguido por el Módulo I-1 Bamoa con el 23.7 % y el 7.9 % faltante corresponden al resto de los módulos.

Por el contrario, el módulo que tiene más pozos profundos sin operar es el Módulo I-1 Bamoa con el 28.7 % y el que cuenta con más norias sin operar es el Módulo II-1 Petatlan con el 76.5 %.

En el Cuadro 5.3 y figura 5.7, se muestra la cantidad de rescates instalados en cada uno de los Módulos durante el ciclo Otoño-Invierno 2011-2012.

Cuadro 5.3. Rescates correspondientes al DR 063 Guasave, Sinaloa.

MODULO	ACCIONADO POR:			TOTAL
	GRAVEDAD	COMBUSTIÓN	ELÉCTRICO	
A.U.P.A. BAMOA MODULO I - 1, A.C.	2	17	7	26
A.U.P.A. LAS MILPAS MODULO I - 2, A.C.	-	16	6	22
A.U.P.A. PETATLAN MODULO II - 1, A.C.	-	20	5	25
A.U.P.A. TETAMECHE MODULO II - 2, A.C.	-	7	2	9
A.U.P.A. EL SABINAL MODULO III - 1, A.C.	-	2	-	2
TOTAL	2	62	20	84

Fuente: Elaboración propia.

El Distrito de Riego cuenta con un total de 84 rescates de agua tanto del Río Sinaloa como de la Red de Drenaje; de los cuales el Módulo I-1 Bamoa cuenta con el 31 %, seguido por el Módulo II-1 Petatlan con 29.8 %, el Módulo I-2 Las Milpas con el 26.2 %, el Módulo II-2 Tetameche con el 10.7 % y por último el Módulo III-1 El Sabinal con el 2.4 %. Cabe mencionar que la mayoría de los rescates solo se encuentran funcionando al momento del riego y de acuerdo a la disponibilidad de agua.

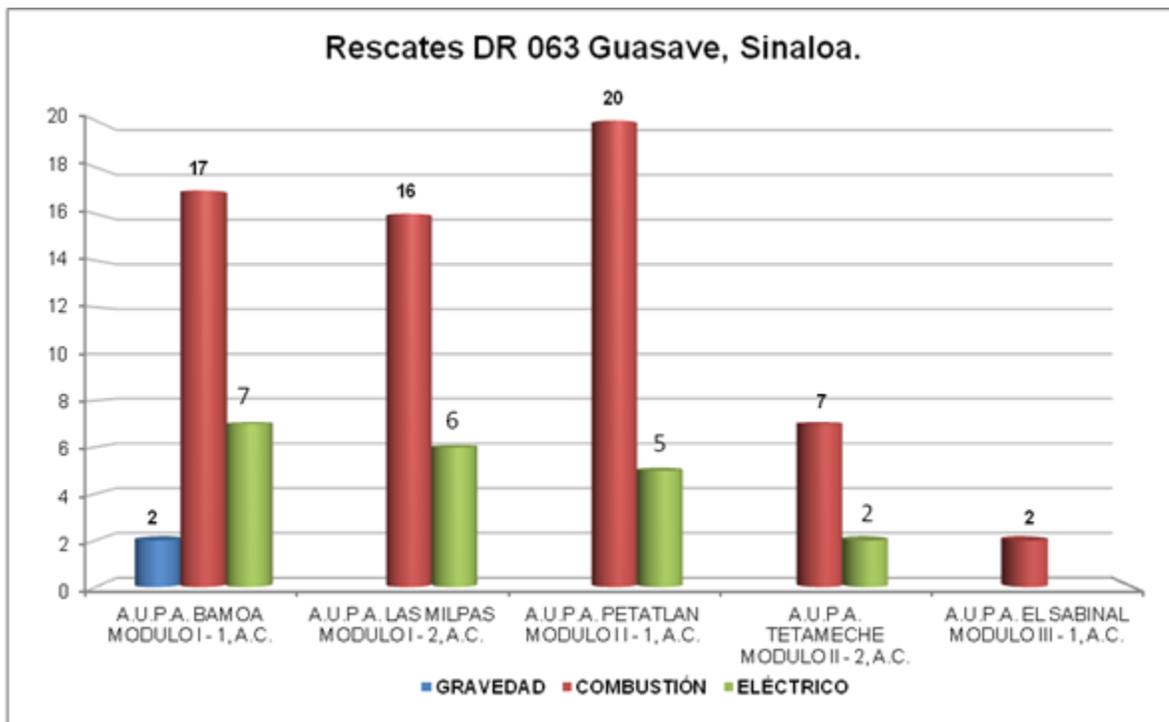


Figura 5.7. Clasificación de los Rescates para el DR 063 Guasave, Sinaloa.

De acuerdo al funcionamiento los rescates se clasificaron por tres formas de operar: gravedad con el 2.4 %, eléctrico 23.8 % y por combustión 73.8 %.

A nivel de cultivo, por cada decena y por Módulo se realizó el registro de la superficie física, la superficie regada y el volumen neto empleado.

También se realizó un resumen de la superficie física programada y realizada, al igual que para los volúmenes, un ejemplo del Módulo I-1 Bamoa, en donde se encontró una diferencia entre el volumen programado y el utilizado, debido a desperdicios e ineficiencia en el uso del agua, por lo cual se presenta en el Cuadro 5.4.

Cuadro 5.4. Avance del Plan de Riegos para Módulo I-1 del DR 063 Guasave, Sinaloa.

AVANCE DEL PLAN DE RIEGOS 2011-2012 1RA. DECENA DEL MES DE NOVIEMBRE				
2011-2012	VOLUMEN POR MODULO (Millares de m ³)		SUPERFICIE (ha Riego)	
CICLO-CULTIVO	PROGRAMADO	ENTREGADO	PROGRAMADO	REGADO
ALGODÓN	0.00	0.00	0.00	0.00
ARROZ	0.00	0.00	0.00	0.00
CALABAZA	0.00	0.00	0.00	61.00
CÁRTAMO	413.00	413.00	180.00	180.00
CEBOLLA	0.00	0.00	0.00	17.00
CHILE VERDE	96.00	363.00	83.00	227.00
EJOTE	89.00	302.00	72.00	254.00
FRIJOL	723.00	1,290.00	320.00	1,405.00
GARBANZO	14,512.00	16,506.00	6,450.00	18,960.00
JITOMATE	289.00	967.00	277.00	658.00
MAÍZ ELOTERO	0.00	0.00	0.00	0.00
MAÍZ GRANO	512.00	512.00	226.00	323.00
PAPA	0.00	67.00	0.00	30.00
PEPINO	145.00	242.00	69.00	145.00
SANDÍA	0.00	0.00	0.00	0.00
SORGO GRANO	0.00	0.00	0.00	0.00
TOMATE DE CÁSCARA	43.00	88.00	36.00	88.00
TRIGO GRANO	0.00	0.00	0.00	0.00
VARIOS	0.00	0.00	0.00	0.00
ALFALFA	0.00	83.00	44.00	84.00
OTROS FRUTALES	0.00	35.00	14.00	58.00
OTROS PASTOS	0.00	0.00	0.00	0.00
SUMA	16,822.00	20,868.00	7,771.00	22,490.00

VOL. AUTORIZADO	16,822.00		GRAVEDAD	BOMBEO	GLOBAL
VOL. UTILIZADO	20,868.00		18,878.80	3,567.00	22,445.80

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Desperdicios

México es un país de contrastes en materia de agua, que va de las recurrentes sequías contrastando con el desperdicio que hacen los usuarios por malas prácticas de riego. Para atenuar al máximo este tipo de prácticas, al momento de hacer la distribución en los puntos de control, se

oriento a los productores, para que la distancia de surcos o tiros de agua, fueran adecuados al tipo suelo y de cultivo; invitándolos para que estuvieran al pendiente de sus riegos ya que constantemente se estaban haciendo recorridos de campo, para verificar que no hubiera desperdicios de agua, por mal manejo del riego en la parcela o tiraderos de agua por abandono a descuido del regador. A nivel Distrito se reportaron 48 desperdicios de agua, registrándolos en bitácora, georeferenciando cada punto y tomando fotografías como se muestra en la figura 5.8.

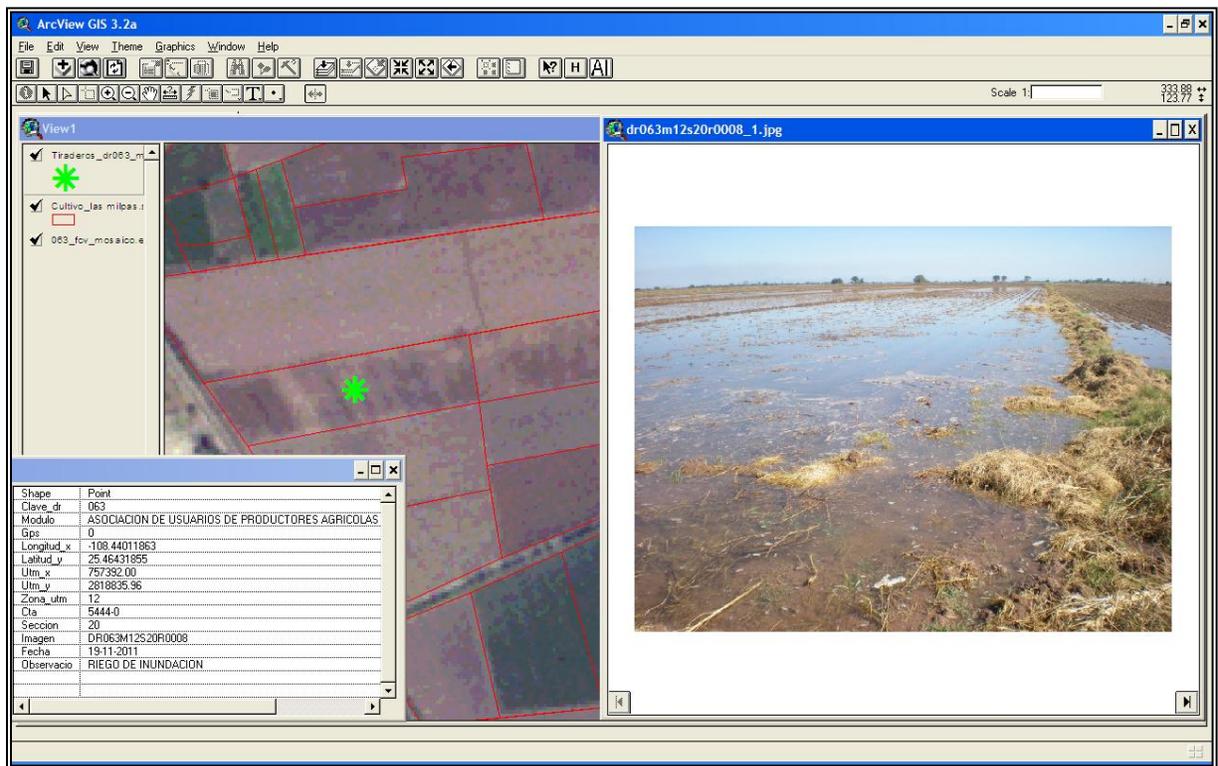


Figura 5.8. Incorporación de los datos de desperdicios al agua al SIG.

La finalidad primordial de esta acción fue concientizar a los usuarios sobre la importancia de hacer un uso adecuado del recurso agua y proponer alternativas para optimizar el aprovechamiento del mismo, evitando la reincidencia en este tipo prácticas.

5.5. Cultivos

Sinaloa es una de las entidades agrícolas más importantes del país, la agricultura se concentra en la llanura costera; donde las precipitaciones son insuficientes para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, por ello la mayoría de las tierras cuenta con infraestructura para riego.

Para identificar el mosaico de cultivos fue necesario apoyarse en los reportes proporcionados por el personal de los Módulos de Riego y con visitas en campo para verificar la información. Producto de dichos recorridos de campo, se generaron una serie de planos que fueron utilizados como apoyo.

Se utilizó como plataforma el Modelo de Sistema de Información Geográfica (SIG) del distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa, para el seguimiento del establecimiento de cultivos generando un mosaico para el ciclo Otoño-Invierno 2011-2012 obteniendo los datos mostrados en el Cuadro 5.5.

Cuadro 5.5. Superficie (ha) Obtenida en el SIG durante en el ciclo agrícola Otoño-Invierno 2011-2012

CULTIVO	AUPA I-1 BAMOA	AUPA I-2 LAS MILPAS	AUPA II-1 PETATLÁN	AUPA II-2 TETAMECHE	AUPA III-1 EL SABINAL	TOTAL
AJONJOLI	-	-	4.55	-	-	4.55
ALFALFA	138.49	105.52	140.73	42.22	-	426.97
ALGODÓN	-	-	17.21	385.65	-	402.86
BERENGENA	3.31	-	-	-	-	3.31
CALABAZA	79.01	52.41	17.71	-	-	149.13
CARTAMO	2,664.85	952.16	5,235.38	4,795.61	3,528.92	17,176.92
CEBOLLA	42.74	7.95	9.33	-	-	60.02
CHILE	193.73	34.72	24.04	20.25	20.75	293.48
FRIJOL	1,562.29	3,985.87	2,381.85	1,537.83	431.44	9,899.27
FRIJOL EJOTERO	365.33	273.45	-	220.17	-	858.95
GARBANZO	18,042.73	5,787.29	1,714.41	10,273.93	512.59	36,330.94
GIRASOL	4.93	-	-	-	-	4.93

CULTIVO	AUPA I-1 BAMOA	AUPA I-2 LAS MILPAS	AUPA II-1 PETATLÁN	AUPA II-2 TETAMECHE	AUPA III-1 EL SABINAL	TOTAL
HORTALIZAS	79.83	-	-	-	-	79.83
HUERTA	-	16.52	34.36	-	113.32	164.20
MAIZ	4,964.78	9,564.35	11,406.36	3,063.74	182.42	29,181.66
PAPA	129.39	1,672.70	-	27.53	-	1,829.62
PAPAYA	-	5.65	-	-	-	5.65
PASTO	33.30	11.98	49.77	37.83	81.67	214.55
PEPINO	30.18	8.74	-	-	-	38.92
SANDIA	-	25.63	-	-	-	25.63
SORGO	509.36	1,322.58	934.76	589.50	63.26	3,419.46
TOMATE	478.44	200.87	182.52	99.73	51.68	1,013.24
TOMATILLO	50.66	78.73	26.05	91.61	-	247.05
TRIGO	44.25	188.09	21.81	16.69	31.30	302.15
SUBTOTAL	29,417.58	24,295.20	22,200.83	21,202.29	5,017.36	102,133.26

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar la superficie sembrada en el Distrito de Riego es de 102,133.26 ha, según los cálculos obtenidos mediante el SIG, dicha cantidad es prácticamente idéntica a la reportada por los Módulos que es 102,289.60, obteniéndose una diferencia de 156.34 ha correspondiente al 0.0015%. Sin embargo haciendo un análisis minucioso percibimos una inmensa variación en cuanto a superficie sembrada en cultivos como maíz los cuales son más elevados en el cálculo del SIG con respecto a lo que según los Módulos reportaron.

Podemos concluir señalando que cultivos como cártamo y garbanzo los cuales requieren una baja demanda de agua figuran con una menor superficie de la reportada por los Módulos, en el cuadro 5.6, esto indica que los usuarios obtuvieron permisos de riego para dichos cultivos, pero establecieron uno con mayor demanda de agua como es el caso específico y más notable del maíz.

Cuadro 5.6. Superficie (ha) reportada por los Módulos de Riego a la CONAGUA para el ciclo agrícola Otoño-Invierno 2011-2012.

MODULO DE RIEGO		Superficie en ha por cultivo								
		OTOÑO INVIERNO					SUMA O.I.	SUMA PERENNES	TOTAL	%
		GARBANZO	MAIZ	CARTAMO	FRIJOL	VARIOS				
BAMOA	PROGR.	19,896.0	1,100.0	1,500.0	1,500.0	764.0	24,760.0	349.0	25,109.0	126.4
	REALIZ.	19,409.0	3,755.0	5,047.0	1,813.0	1,510.0	31,534.0	208.0	31,742.0	
MILPAS	PROGR.	7,500.0	6,000.0	0.0	5,000.0	1,690.0	20,190.0	0.0	20,190.0	113.3
	REALIZ.	6,138.3	7,996.1	1,009.0	4,028.3	3,632.1	22,803.8	75.8	22,879.5	
PETATLAN	PROGR.	3,264.0	6,080.0	3,494.0	4,570.0	2,050.0	19,458.0	0.0	19,458.0	111.7
	REALIZ.	1,924.9	10,327.3	5,376.8	2,401.0	1,623.3	21,653.4	90.6	21,744.0	
TETAMECHE	PROGR.	12,645.1	1,115.9	5,485.0	1,279.6	1,174.4	21,700.0	100.0	21,800.0	97.1
	REALIZ.	10,034.0	3,068.9	5,031.5	1,545.9	1,398.9	21,079.2	96.5	21,175.7	
SABINAL	PROGR.	320.0	150.0	4,394.0	545.0	143.0	5,552.0	138.0	5,690.0	83.5
	REALIZ.	425.0	151.0	3,500.0	398.2	90.7	4,564.9	183.5	4,748.4	
TOTAL	PROGR.	43,625.1	14,445.9	14,873.0	12,894.6	5,821.4	91,660.0	587.0	92,247.0	110.9
	REALIZ.	37,931.2	25,298.3	19,964.3	10,186.5	8,255.0	101,635.2	654.4	102,289.6	

Fuente: Jefatura del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.



Figura 5.9. Cultivo en pie Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.

También se imprimieron planos de mosaicos de cultivos para cada Módulo, en los cuales muestran gráficamente los datos obtenidos, un ejemplo del Módulo II-2 Tetameche se presenta en la figura 5.10.

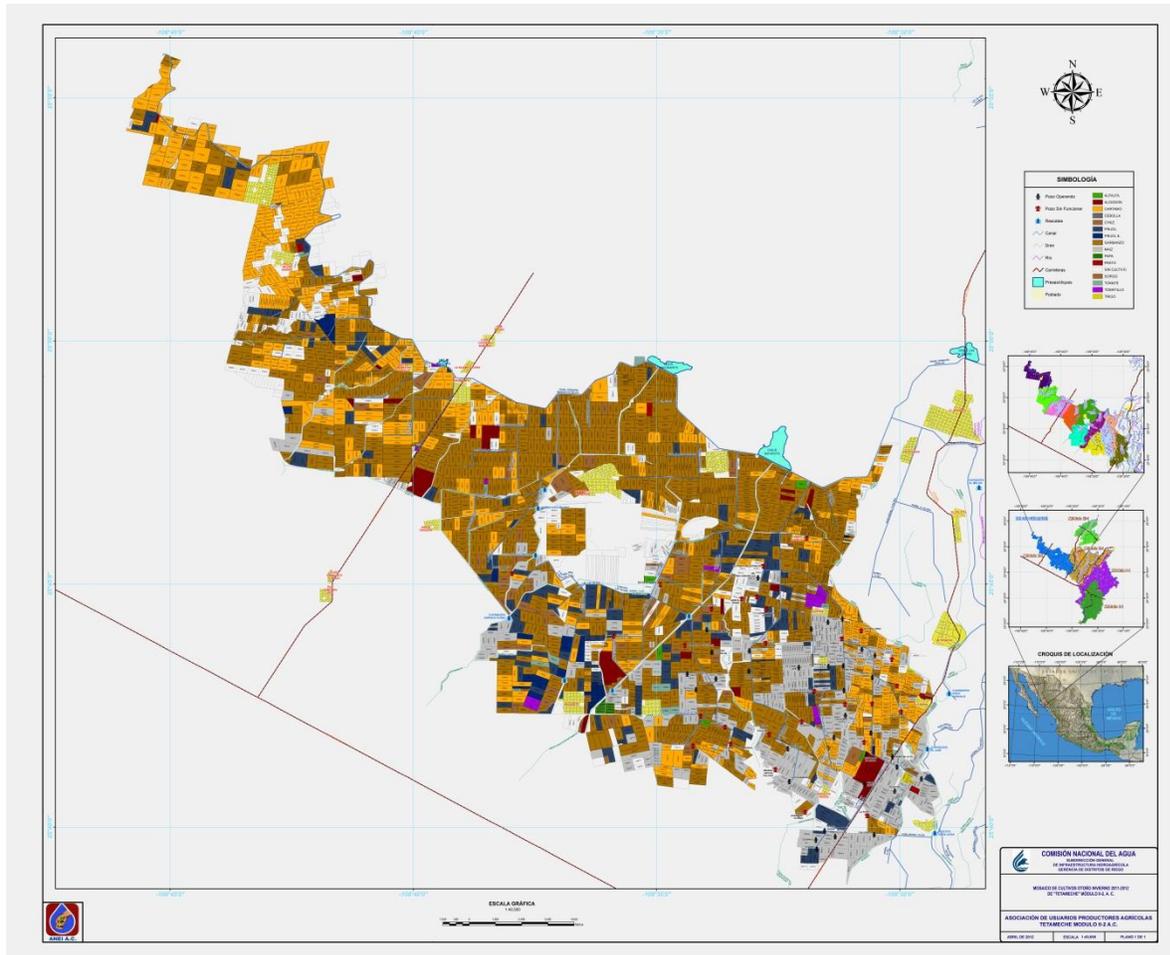


Figura 5.10. Plano del mosaico de cultivos Otoño-Invierno para el Módulo II-2 Tetameche del DR 063 Guasave, Sinaloa

En la figura 5.11 que se muestra a continuación, se observa la distribución de los principales cultivos del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa de acuerdo a la cantidad de superficie sembrada.

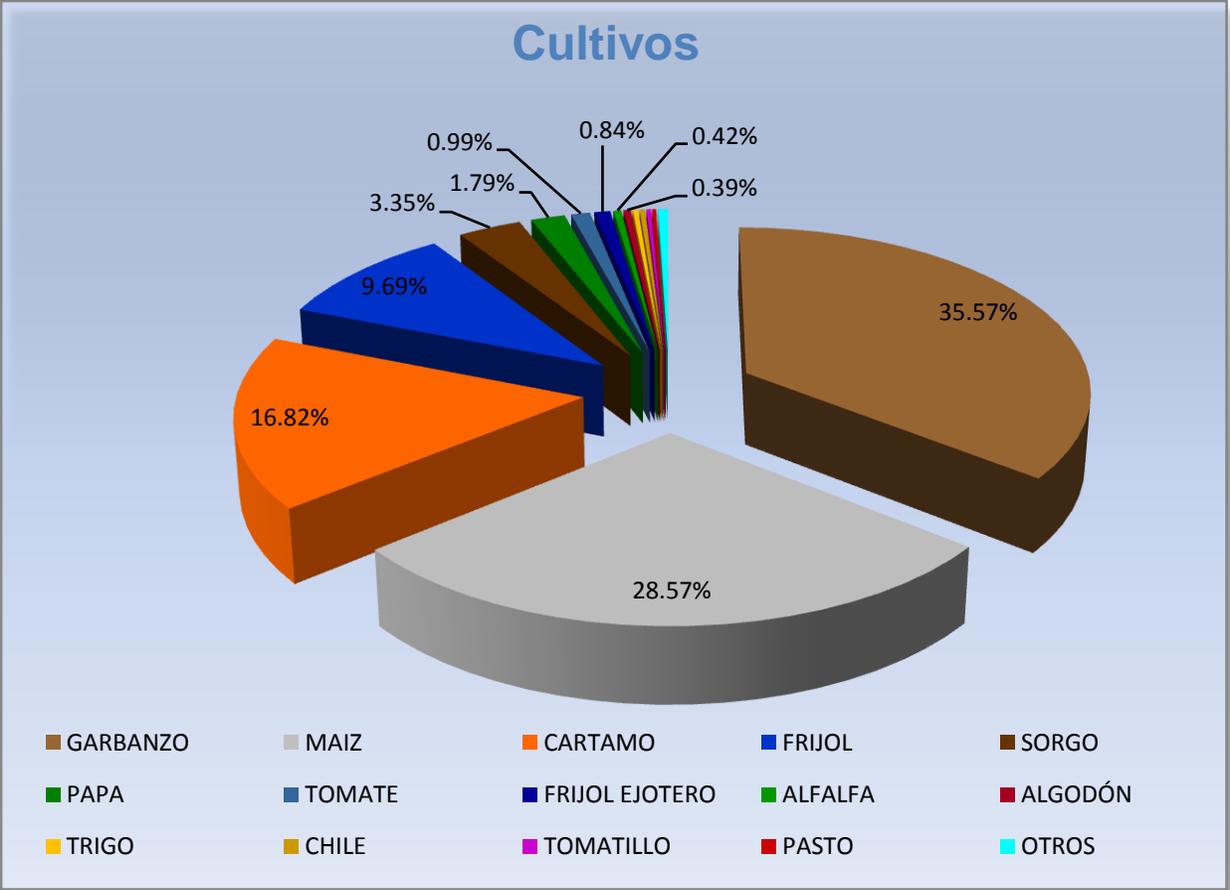


Figura 5.11. Distribución del padrón de cultivos del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.

De igual manera mediante el SIG se dio seguimiento para algunos cultivos que se establecieron durante el ciclo agrícola Primavera-Verano 2012, resaltando que los Módulos no otorgaron permisos para dichas siembras, sin embargo algunos Usuarios hicieron uso de pozos particulares para realizar los riegos. El Cuadro 5.7 muestra los cultivos con sus respectivas superficies sembradas en este ciclo agrícola.

Cuadro 5.7. Superficie (ha) Obtenida en el SIG durante en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2012

CULTIVO	MÓDULO				TOTAL (ha)
	I-1 BAMOA	I-2 LAS MILPAS	II-1 PETATLAN	II-2 TETAMECHE	
CARTAMO	121.38	394.10	49.04	206.11	770.63
FRIJOL	-	6.40	2.44	-	8.84
FRIJOL EJOTERO	19.94	20.12	-	-	40.05
GARBANZO	72.38	100.76	-	-	173.14
GIRASOL	4.65	-	-	-	4.65
HORTALIZAS	3.63	-	-	-	3.63
MAIZ	301.69	1,191.23	53.66	80.79	1,627.37
PASTO	9.50	-	-	-	9.50
SANDIA	-	4.92	-	-	4.92
SORGO	952.88	1,695.54	446.29	288.74	3,383.44
TOMATILLO	2.32	-	-	-	2.32
SUBTOTAL	1,488.35	3,413.07	551.43	575.63	6,026.17

Fuente: Elaboración propia.

El módulo que presenta una mayor superficie sembrada en el ciclo Primavera-Verano es Las Milpas con 3,413.07 ha, seguido por Bamoa con 1,488.35 ha. Por otra parte los Módulos Petatlán y Tetameche con 551.43 y 575.63 ha respectivamente, presentaron la menor superficie. Debido a que el Módulo III-1 El Sabinal no cuenta con pozos particulares con suficiente capacidad de extracción para ambos ciclos, éste no presentó cultivos para este ciclo agrícola.

Para fines visuales se imprimieron planos para cada Módulo, los cuales muestran gráficamente los datos obtenidos, un ejemplo del Módulo I-2 se presenta en la figura 5.12.

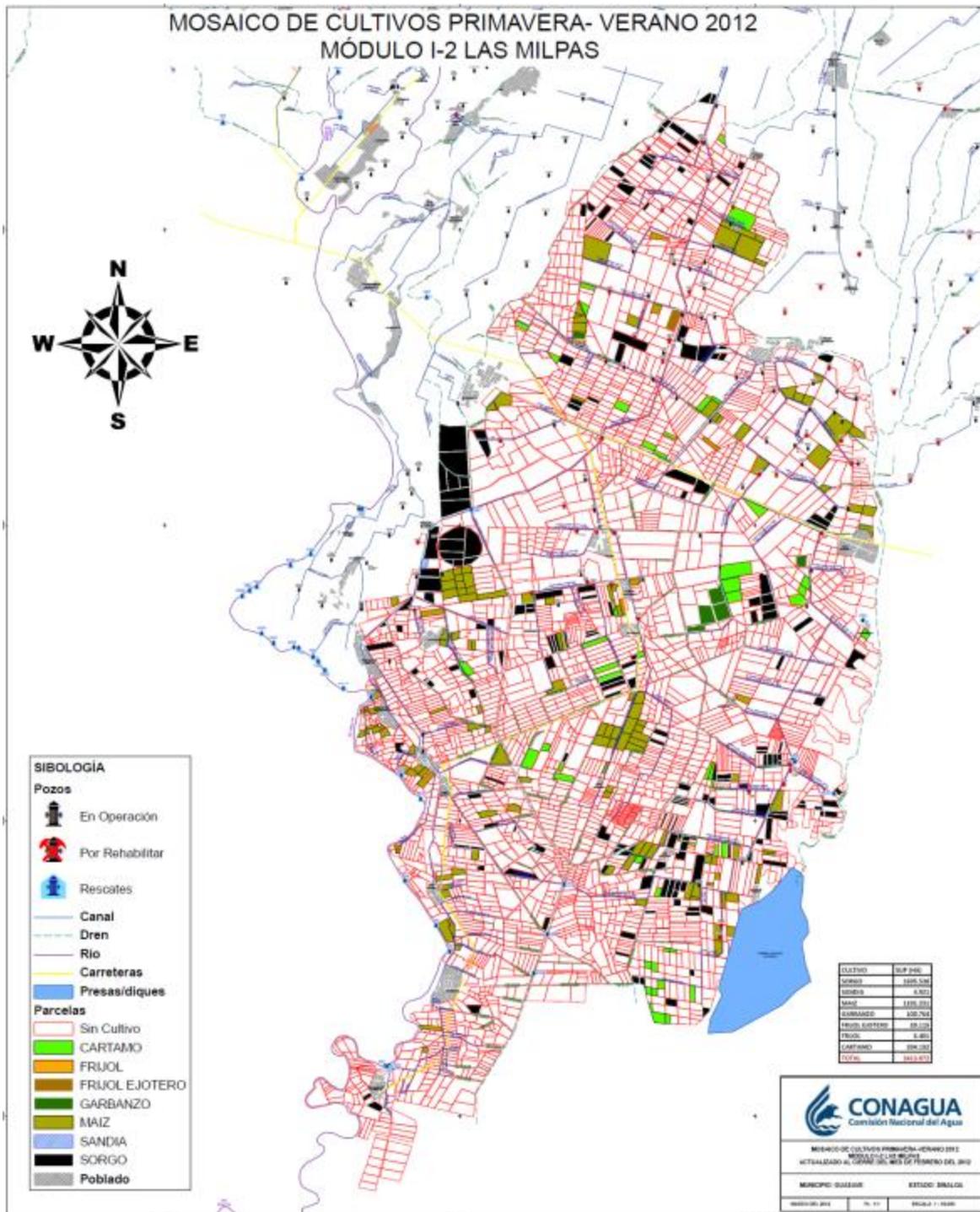


Figura 5.12. Plano del mosaico de cultivos Primavera-Verano 2012 para el Módulo II-2 Las Milpas del DR 063 Guasave, Sinaloa

El 23 de diciembre de 2011 se presentó una helada que afectó algunos cultivos, por lo cual se inició un operativo para detección del grado de afectación. En el cuadro 5.8, se describe la superficie siniestrada total y parcialmente presentada en cada módulo.

Cuadro 5.8. Superficie siniestrada total y parcialmente para cada módulo del DR 063, (ha).

MÓDULO	SINIESTRO		
	TOTAL	PARCIAL	TOTAL
A.U.P.A. BAMOA MODULO I - 1, A.C.	502.54	1,454.49	1,957.03
A.U.P.A. LAS MILPAS MODULO I - 2, A.C.	344.76	-	344.76
A.U.P.A. PETATLAN MODULO II - 1, A.C.	1,010.51	1,822.27	2,832.74
A.U.P.A. TETAMECHE MODULO II - 2, A.C.	-	-	0
A.U.P.A. EL SABINAL MODULO III - 1, A.C.	394.21	-	394.21
TOTAL	2,252.02	3,276.76	5,528.74

Se encontró como resultado que el Módulo II-1 Petatlán fue el más afectado con una superficie de 2, 832.74 ha, seguido del Módulo I-1 Bamoa con 1,957.03 ha, por su parte los Módulos III-1 El Sabinal y I-2 Las Milpas solo presentaron 394.21 y 344.76 ha respectivamente, mientras que el Módulo II-2 Tetameche no presentó afectación alguna perceptible.

5.6. Estimación de Superficie Cultivada Mediante Técnicas de Percepción Remota.

Con la adquisición de las Imágenes de satélite tipo RapidEye, para los meses de noviembre de 2011 a abril de 2012 y su procesamiento mediante el *Software Erdas Image 2010* se obtuvo la superficie de cultivos en pie para esos meses en el Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa. En la figura 5.13 se presenta una de las imágenes.



Figura 5.13. Imagen satelital tipo RapidEye para el DR 063.

En lo que se refiere a la superficie que se encontraba en pie para el mes de marzo de 2012, se generó el Cuadro 5.9, en donde se tiene una superficie de 121,976.94 ha, en el del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa y de ésta únicamente 94,575.56 ha., se encuentran con cobertura vegetal esto representa el 77.54 %.

También se observa que el Módulo de Riego con mayor cobertura vegetal es la A.U.P.A. II-1 Petatlán con 23,077.18 ha, que representa el 88.48 % de su superficie registrada, seguido del Módulo A.U.P.A. I-1 Bamoá con 20,876.79 ha, lo cual corresponde al 65.93 % del total de su superficie.

Cuadro 5.9. Superficie con y sin cobertura vegetal para el mes de marzo de 2012 en el DR 063.

Módulo	Superficie (ha)	Superficie Con Cobertura Vegetal (ha)	Superficie Sin Cobertura Vegetal (ha)	Superficie Con Cobertura Vegetal (%)	Superficie Sin Cobertura Vegetal (%)
AUPA I-1 Bamoa	31,664.01	20,876.79	10,787.22	0.66	0.34
AUPA I-2 Las Milpas	26,130.96	21,867.16	4,263.80	0.84	0.16
AUPA II-1 Petatlán	26,082.91	23,077.19	3,005.72	0.88	0.12
AUPA II-2 Tetameche	23,509.87	18,005.58	5,504.29	0.77	0.23
AUPA III-1 El Sabinal	14,589.19	10,748.84	3,840.35	0.74	0.26
TOTAL	121,976.95	94,575.57	27,401.38		

Para ver el comportamiento de la superficie con y sin cobertura vegetal del mes de marzo de 2012 en el Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa se presenta la figura 5.14.

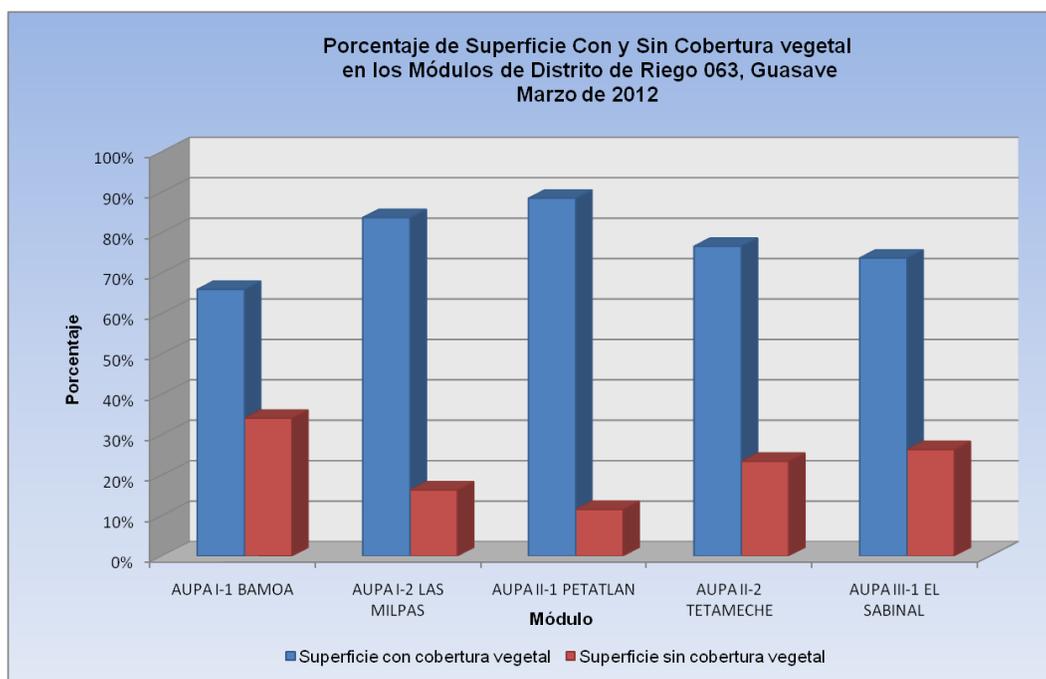


Figura 5.14. Porcentaje de superficies con y sin cobertura vegetal para el mes de marzo de 2012

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. Conclusiones

- El uso combinado de las herramientas del Sistema de Información Geográfica hace posible la integración ágil y confiable de información espacial y temporal de todos los factores involucrados en la operación del Distrito de Riego, haciendo posible además su inclusión y exposición, para la toma de decisiones y seguimiento de acciones.
- En el período de octubre de 2011 al 15 de abril de 2012, la coordinación con personal de la Comisión Nacional del Agua y de las Asociaciones Civiles, permitió la realización en forma adecuada, del seguimiento y orientación para el manejo eficaz y oportuno de riego en la red de conducción del Distrito de Riego 063 Guasave, Sinaloa.
- El constante monitoreo en los puntos de control permitió tener una mayor supervisión en la medición de gastos entregados tanto en tomas directas, canales laterales y en bombeos, actualizando datos día a día para una toma de decisiones oportuna.
- Así mismo, la supervisión y el monitoreo continuo del control coordinado de los movimientos y gastos entregados, permitió mantener los niveles de operación adecuados en la red de distribución, garantizando con ello la entrega de los volúmenes a los Módulos de Riego y posteriormente a los usuarios a nivel parcela.
- Se propuso un Plan de Riegos con superficies restringidas y con un patrón de cultivos de donde se reducía la superficie de cultivos de media y alta demanda de agua, con lo cual se logró que el recurso hídrico existente en las presas de almacenamiento fuera suficiente para lograr cerrar el ciclo agrícola Otoño-Invierno 2011-2012.
- Se evaluó la operación del Distrito de Riego a partir de la información obtenida en campo y su verificación mediante imágenes satelitales para la estimación de las superficies sembradas.

- La información obtenida mediante visitas en campo e imágenes satelitales, se integró en un Modelo de Sistema de Información Geográfica, lo cual permitió un análisis eficiente y oportuno para la toma de decisiones.

6.2. Recomendaciones

- En función de los resultados obtenidos, se recomienda el uso de esta herramienta para los trabajos que se realizan en los Distritos de Riego, sugiriendo a la Comisión Nacional del Agua y a las Autoridades de las Asociaciones Civiles de Usuarios el uso de los Sistemas de Información Geográfica, para el desarrollo de sus actividades.
- Al inicio de cada año agrícola y en el desarrollo del plan de riego, debe hacerse conciencia en los productores para que se adapten a las restricciones en la dotación asignada por las autoridades del módulo y en el cuidado del agua.
- Se recomienda a los Módulos de Riego, la elaboración de un programa de siembras, llevando un calendario de riego preciso y acorde con las necesidades de los cultivos.
- Se sugiere una supervisión intensiva del riego, para disminución de desperdicios de agua, por el abandono del riego a nivel parcela, tiraderos de agua y descargas a la red de drenaje
- Se recomienda el respeto a la programación en la distribución del gasto, que se designa para cada toma, garantizando la continuidad oportuna del riego programado, para las demás parcelas a las que se le asignó el volumen en los turnos previamente establecidos, obligando a los usuarios el riego continuo y la supervisión del mismo durante las 24 horas del día.
- En épocas de restricción de volúmenes, es importante la implementación de un patrón de cultivos de baja demanda hídrica, tales como: el frijol, garbanzo, sorgo y cártamo, en lugar de los cultivos tradicionales de maíz y trigo, que exigen una mayor demanda de agua.

- Los directivos de los Módulos de Riego,deberán involucrarse en mayor medida en la supervisión de los avances de riego diario, gastos servidos volúmenes distribuidos, evitando con ello el riesgo de mayores superficies a las autorizadas, facilitando la toma de decisiones que permitan mayor eficiencia en la distribución y aplicación del riego. Independientemente de que se tendrá personal capacitado para coordinación, control y evaluación de las actividades diarias de distribución del agua.
- Se sugiere que previo al inicio de los riegos, cada módulo hará un diagnóstico de las necesidades de conservación de su infraestructura, posteriormente realizando la reparación, rehabilitación y/o en su caso la sustitución de la infraestructura, que facilite la operación, la distribución, evitando las pérdidas por falta de una conservación adecuada.
- Se propone, al personal de los módulos para que instruyan a los usuarios, la limpieza de su red de conducción con la finalidad de un riego más eficiente reduciendo las pérdidas por conducción.
- Es importante que el área de operación cuente con personal capacitado en la detección de las necesidades de agua de los cultivos, teniendo conocimiento de técnicas prácticas para atender las demandas evitando al máximo el estrés hídrico en las plantas, como sucedió por las restricciones en el ciclo otoño-invierno (2011- 2012) repercutiendo en los rendimientos de éstos.
- Deberá de hacerse una programación acorde con los volúmenes autorizados por el Comité Técnico de Operación de Obras Hidráulicas, de la Comisión Nacional del Agua, permitiendo hacer una distribución por módulo para un reparto más justo y equitativo para todos los usuarios del Distrito de Riego.

7. BIBLIOGRAFÍA.

1. Carter G. A. 1991. Primary and Secondary Effects of the Water Content on the Spectral Reflectance of Leaves. *American Journal of Botany*.
2. Clarke K. C. 2001. *Getting Started with Geographic Information Systems*. Prentice Hall Series in Geographic Information Science, New Jersey.
3. CONAGUA. 2005. Plan Director para la Modernización Integral del Riego, del Distrito de Riego 063, Guasave, Sinaloa.
4. CONAGUA. 2012. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Año Agrícola 2010-2011. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Tlalpan, México, D.F.
5. Huete A. R. 1998. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*.
6. INEGI. 2002. Continuo de Elevaciones Mexicano. En línea: <http://www.inegi.gob.mx>.
7. Jensen J. R. 2000. *Remote Sensing of Environment: An Earth Resource Perspective*. Prentice Hall, New Jersey.
8. Jordan C. F. 1969. Derivation of the leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology* 50.
9. Kauth R. J., y Thomas G.S. 1976. The Tasseled Cap -A graphic Description of the Spectral - Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat. *Proceedings, Machine Processing of Remotely Sensed Data*, West Lafayette, IN: Laboratory for the Application of Remote Sensing.

10. Kriegler F. J., Malila W. A., Nalepka R. F. y Richardson W. 1969 "Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition" en Proceedings of the sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment. University of Michigan, Ann Arbor, MI.
11. Mejía S. E. 2010. Manual práctico de ArcView gis 3.2. Colegio de Postgraduados. Mundi-Prensa. México.
12. Moreno J. A. 2008. Sistemas y Análisis de la Información Geográfica. Segunda Edición. Alfaomega. México.
13. Palacios V. E. y Exevio G. A. 2011. La operación de los Sistemas de Riego con Apoyo de las Técnicas de la Información. Colegio de Potsgraduados.
14. Richardson A. J. y Wiegand C.L. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
15. Rock B. N., J. E. Vogelmann, Williams D.L., Voglemann F.A. y Hoshisaki T. 1986. Remote Detection of Forest Damage, Bio Science.
16. Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A. y Deerins D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351, vol. 1.