



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD

AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**COLEGIO DE INGENIERÍA
TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA**

**CÁLCULO DE LA SUPERFICIE AGRÍCOLA EN EL CADeR DE
LIBRES E IZÚCAR DE MATAMOROS EN EL ESTADO DE PUEBLA
CON USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

TESIS

Que para obtener el Título de:

INGENIERO TOPOÓGRAFO Y GEODESTA

Presenta:

JESSICA LETICIA ESPINOSA CAMACHO

Asesor de Tesis:

ING. MARCOS ARELLANO DÍAZ

PUEBLA, PUE.

FECHA: DICIEMBRE 2021

1578



BUAP

Oficio No. SAC/2048/2021

**C. Jessica Leticia Espinosa Camacho, -201441566-
Pasante de la Licenciatura en Ingeniería
Topográfica y Geodésica
Presente.**

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional en línea, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

“CALCULO DE LA SUPERFICIE AGRÍCOLA EN EL CADER DE LIBRES E IZÚCAR DE MATAMOROS EN EL ESTADO DE PUEBLA CON USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”

Por lo anterior hago de su conocimiento que se asigna como Asesor de tema al Ing. Marcos Arellano Díaz.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z. a 03 de diciembre de 2021

**M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director**



M'ACGZ /barv
C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo

M. I. Ángel Cecilio Guerrero Zamora
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P r e s e n t e.

El que suscribe: Ing. Marcos Arellano Díaz, asesor del tema de tesis:

“CALCULO DE LA SUPERFICIE AGRÍCOLA EN EL CADER DE LIBRES E IZÚCAR DE MATAMOROS EN EL ESTADO DE PUEBLA CON USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”

Presentada por la C. Jessica Leticia Espinosa Camacho -201441566-, pasante del Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica, y en atención al oficio No. SAC/2048/2021 con fecha de emisión 03 de diciembre de 2021, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión del mismo.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

A t e n t a m e n t e
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z. a 06 de diciembre de 2021



Ing. Marcos Arellano Díaz
Asesor de Tema

Índice

| | |
|--|----|
| Introducción..... | 6 |
| Objetivo General | 8 |
| Objetivos Específicos | 8 |
| CAPÍTULO I. GENERALIDADES | 9 |
| 1.1. Teledetecciones y percepción remota | 9 |
| 1.2. Características de los sensores remotos activos y pasivos | 12 |
| 1.3. Plataforma de teledetección espacial | 14 |
| 1.3.1. Programa Copernicus | 14 |
| 1.3.2. Programa SPOT-6..... | 17 |
| 1.3.3. Programa Landsat-7..... | 20 |
| CAPÍTULO II. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO CON EL SISTEMA GPS TRIMBLE JUNO 5B | 22 |
| 2.1. Sistema de posicionamiento global (GPS)..... | 22 |
| 2.2. Introducción del GPS Juno 5B..... | 25 |
| 2.2.1. Características de Juno 5B | 25 |
| 2.2.2. Software de campo compatible | 26 |
| 2.2.3. Interfaz del programa ArcPad 10.2.4..... | 27 |
| 2.2.4. Localización DDR y CADeR (SADER) | 28 |
| 2.2.5. Formato F2..... | 31 |
| 2.2.6. Método levantamiento de información en campo | 32 |
| CAPÍTULO III. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA UTILIZADOS EN LA ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES AGRÍCOLAS | 39 |
| 3.1. Componentes de un SIG | 42 |
| 3.2. Modelos para información geográfica..... | 43 |
| 3.3. Programas utilizados para la investigación | 47 |
| 3.3.1. ERDAS IMAGINE 2014 | 47 |
| 3.3.2. ArcGis 10.4.1..... | 48 |
| 3.3.3. QGIS 2.18.0 | 51 |
| CAPÍTULO IV. ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES AGRÍCOLAS | 53 |
| 4.1. Puntos previos a la estimación | 53 |
| 4.1.1. Adquisición base de datos | 55 |
| 4.2. Trabajo de campo | 56 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.1. Planeación..... | 56 |
| 4.2.2. Tamaño de muestra | 56 |
| 4.2.3. Resultado | 57 |
| 4.3. Adquisición de imágenes para el cubrimiento de zonas de cultivo | 61 |
| 4.3.1. SENTINEL 2 | 61 |
| 4.3.2. SPOT 6 | 66 |
| 4.4. Procesamiento de imágenes | 68 |
| 4.4.1. Unión de bandas | 68 |
| 4.4.2. Generación de mosaicos..... | 69 |
| 4.4.3. Recorte de imágenes a nivel CAdE R..... | 71 |
| 4.4.4. Recorte de áreas a nivel parcela (Frontera Agrícola serie IV)..... | 72 |
| 4.5. Clasificación Supervisada..... | 76 |
| 4.5.1. Campos de entrenamiento | 77 |
| 4.5.2. Clasificación | 78 |
| 4.6. Pos clasificación | 80 |
| 4.6.1. Recode..... | 80 |
| 4.6.2. Generalización (Neighborhood)..... | 80 |
| 4.6.3. Recodificación local (Clump y Eliminate) | 81 |
| 4.6.4. Cálculo de áreas y porcentaje de las áreas en la clasificación..... | 82 |
| 4.6.5. Evaluación de la clasificación..... | 83 |
| 4.6.6. Archivo Ráster a Vector | 84 |
| CAPÍTULO V. PRODUCTO CARTOGRÁFICO OBTENIDO DE LA ESTIMACIÓN AGRÍCOLA..... | 85 |
| 5.1. Mapa temático | 85 |
| 5.1.1. CAdE R Izúcar de Matamoros..... | 85 |
| 5.1.2. CAdE R Libres | 86 |
| 5.2. Evaluación de las proyecciones de producción agrícola..... | 87 |
| 5.2.1. Red Agropecuaria en Web (RAW) | 87 |
| 5.2.1. Tabla comparativa entre datos proporcionados por la RAW y la ESA | 88 |
| Conclusión..... | 90 |
| Bibliografía | 91 |

Introducción

El desarrollo de las grandes manchas urbanas exige la demanda de más recursos naturales, en consecuencia, existe un mayor requerimiento de productos del campo.

En la actualidad, México cuenta con tres métodos de producción:

- Cíclicos: son aquellos cuyo periodo vegetativo es menor a 12 meses y requieren de una nueva siembra para la obtención de cosechas (2 periodos “Otoño – Invierno” y “Primavera – Verano”. Con fechas del 1 de octubre al 28 de febrero y el segundo periodo del 1 de marzo al 30 de septiembre, fechas tentativas).
- Perennes: se define así a los cultivos de ciclo largo, cuyo periodo vegetativo se extiende más allá de 12 meses (varios ciclos de producción anual).
- Agricultura Protegida: invernaderos.

Es primordial saber en dónde y cuánto se está produciendo, pues la superficie sembrada (Ha) puede llegar a sobrepasar cualquier esfuerzo por llevar a cabo una supervisión presencial de campo en cada hectárea sembrada, idealmente, con poco personal, sin exponer a éste ante situaciones de riesgo e inseguridad y, sobre todo, con un bajo costo operativo.

La estimación de la superficie sembrada agrícola es fundamental para la toma de decisiones; su finalidad consiste en conocer de manera concreta la producción de diversos granos básicos y otros cultivos que permiten entender el panorama agrícola. En esta investigación se presenta el caso del Estado de Puebla, el cual se compone de 217 municipios, con una superficie de 34,289,66 km² en total, lo que representa el 1.8 % del territorio nacional. Este porcentaje repercute de forma directa en el Desarrollo Rural Sustentable, en la seguridad alimentaria y en el grado de disponibilidad de materias básicas, así como en el índice de volumen físico de la producción agrícola y Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario.

Como meta del análisis de superficies agrícolas realizadas por el Ingeniero Topógrafo y geodesta, se tiene como finalidad generar estadística e información geográfica fidedigna y oportuna, con las cuales se oriente y fortalezca la autonomía de la toma de decisiones de productores y agentes económicos para modificar el rumbo del país, con la ayuda de herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG), imágenes de satélite y el uso del Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS).

Objetivo General

Conocer y hacer uso de tecnologías de recopilación de datos, utilizando sistemas de posicionamiento global para cuantificar áreas de producción y usando los datos recopilados en los Sistemas de Información Geográfica al estimar la superficie agrícola sembrada en el Estado de Puebla de los cultivos de interés en el ciclo Primavera–Verano 2020, a partir del análisis de imágenes de satélite SENTINEL 2 A y SPOT6, mediante teledetección.

Objetivos Específicos

1. Aplicar las tecnologías de la Teledetección y percepción remota.
2. Aplicar la tecnología GPS Trimble JUNO 5B en el levantamiento de información de campo.
3. Analizar, aplicar y calcular las estimaciones de superficies agrícolas, utilizando los Sistemas de Información Geográfica (SIG).
4. Analizar y aplicar los datos recopilados para realizar la clasificación de campo, de acuerdo con los parámetros establecidos Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).
5. Aplicar los SIG en la generación de mapas temáticos como resultado a los análisis de las imágenes de satélite

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. Teledetecciones y percepción remota

La teledetección es una técnica diseñada para adquirir imágenes de la superficie terrestre; utiliza sensores que funcionan desde plataformas espaciales y parte de que entre el sensor y la Tierra existe una interacción energética (Chuvienco, 2002, p. 20). El marco de estudio de la teledetección es la superficie terrestre. Otros autores también han ofrecido su propia definición de la teledetección. La teledetección, también denominada percepción remota, es para López (2019) una disciplina científica que integra conocimientos y tecnologías en la observación, análisis e interpretación de fenómenos terrestres y atmosféricos. Las medidas y las imágenes obtenidas mediante plataformas aéreas y espaciales constituyen su fuente de información primordial.

La teledetección es la técnica para detectar objetos terrestres a distancia. Para hacer teledetección se necesita un sensor que sea capaz de registrar radiación electromagnética de la superficie de la Tierra, los objetos terrestres y la plataforma portadora de este sensor. La técnica de teledetección también incluye todo el trabajo realizado a posteriori con esas imágenes, es decir, su procesamiento e interpretación. (López, 2019, p. 3).

Por otra parte, La Rocca M, (2004, P.12) indica que la teledetección es una ciencia que abarca los conocimientos y técnicas dirigidos a obtener información sobre objetos o fenómenos a distancia sin tener contacto con éstos. Para dicho autor, esta ciencia va más allá de los procesos de adquisición de información, sino que incluye su posterior análisis desde una perspectiva particular de aplicación. Pérez y Muñoz (2006) definen la teledetección de la siguiente manera:

Se entenderá, de modo genérico, como cualquier procedimiento o técnica de adquisición de información sin tener contacto directo con ella. Sin embargo, de un modo más restringido es como una técnica que tiene por objeto la captura, tratamiento y análisis de imágenes digitales tomadas desde satélites artificiales. (Pérez y Muñoz, 2006, p. 19).

Componentes de un sistema de teledetección

La teledetección es posible debido a la interacción entre la energía electromagnética y las cubiertas terrestres. Las últimas presentan un comportamiento reflectivo

variable que se encuentra condicionado por factores externos o ambientales, además de la influencia de sus propias características fisicoquímicas evidentes al momento de tomar la imagen. (Pérez y Muñoz, 2006, p. 20).

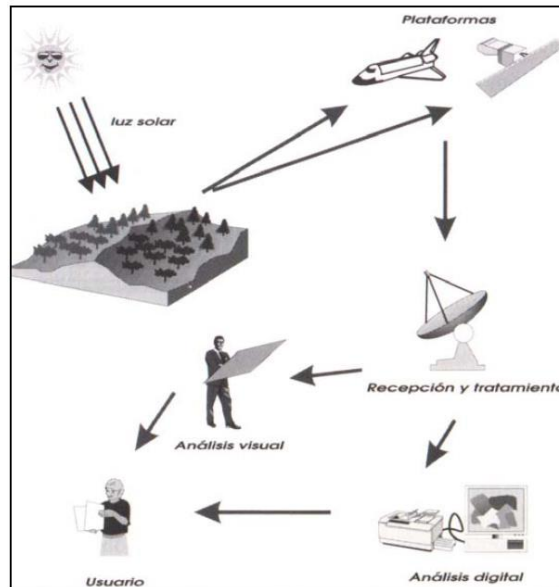


Imagen 1. Componentes de un sistema de Teledetección. Fuente: Chuvieco. E. (2002) Teledetección Ambiental.

Como se puede observar en la Imagen 1, el primer componente de un sistema de teledirección es la fuente generadora de radiación electromagnética: el sol. La energía que éste origina se refleja en las cubiertas terrestres, luego de atravesar la atmósfera, dicha energía es recolectada por sensores ópticos-electrónicos que se hallan a bordo de vehículos espaciales. La información recabada se transmite a la Tierra en forma de señal digital como matriz numérica. Dentro de los sistemas de recepción ocurre un primer tratamiento de la imagen que consiste en depurar errores geométricos o radiométricos previamente a su distribución. Los usuarios analizan la imagen en formato analógico; el proceso de tratamiento visual o digital arroja nuevos datos que toman forma de mapas temáticos o tablas estadísticas. (Pérez y Muñoz, 2006, p. 20).

Espectro electromagnético

En teledetección las ondas se clasifican por su longitud. Las partes del espectro son descritas por Pérez et al. (2020), de la siguiente manera:

Espectro visible. Se llama así a la región del espectro comprendida entre 0.4 y 0.7 micrómetros aproximadamente. Es la única radiación electromagnética que el ojo humano puede percibir. Dentro del espectro visible se pueden distinguir tres franjas: azul (de 0.4 a 0.5 μm), el verde (de 0.5 a 0.6 μm) y el rojo (de 0.6 a 0.7 μm).

Infrarrojo cercano. Así se llama a la región del espectro comprendida entre 0.7 a 1.3 μm aproximadamente. Resulta de especial importancia para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad porque estas cubiertas tienen picos de reflectancia en este intervalo.

Infrarrojo medio. Se llama así a la región del espectro comprendida entre 1.3 y 8 μm aproximadamente. Resulta idóneo para estimar contenidos de humedad en la vegetación y para detección de focos de temperatura.

Infrarrojo térmico. Se llama así al espectro que va entre 8 y 100 μm . Detecta el calor proveniente de la mayoría de las cubiertas terrestres.

Las microondas. Comprende la región a partir de 1mm hasta 1m. se utiliza en teledetección porque es un tipo de radiación bastante transparente a las cubiertas nubosas, es decir, que atraviesa bastante las nubes. (Pérez et al., 2020, p. 8).

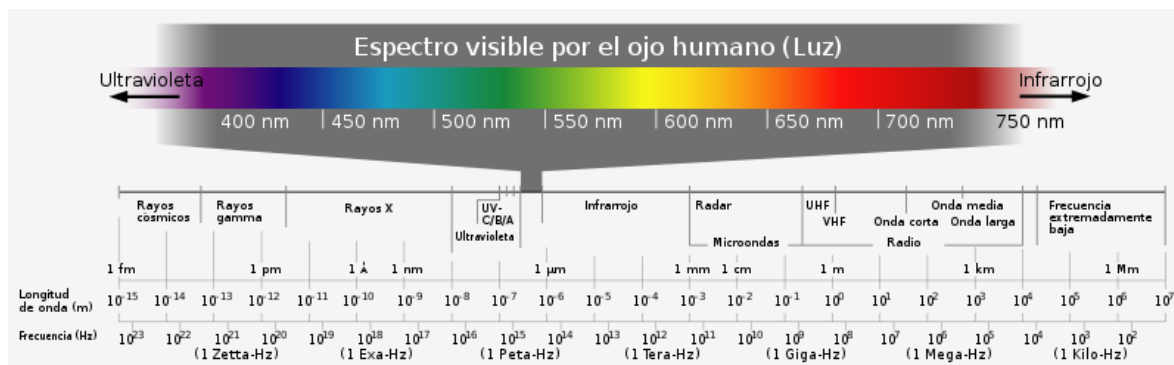


Imagen 2. Espectro Electromagnético. Fuente: Internet.

Firma espectral

La firma espectral hace referencia al perfil específico de radiancia emitida por los objetos situados en la superficie de la tierra. Debido a que los satélites miden la energía reflejada o emitida por los objetos presentes en la superficie terrestre de acuerdo con el poder de reflectividad y emisividad de cada uno, así como la longitud de onda, los objetos reaccionan de diferentes maneras ante la energía solar

recibida. Esta reflectividad propia que cada objeto posee es denominada firma espectral. Diferentes tipos de superficies, como el agua, la tierra o la vegetación, reflejan la radiación de manera distinta.

Firma espectral en vegetación

La vegetación es un entorno complejo, éste varía a través del tiempo, por lo cual las propiedades espectrales cambian según las estaciones del año y las fases del crecimiento de las especies vegetales. En el entorno de la vegetación se observan las siguientes distintas escalas de complejidad según La Rocca, (2004).

Nivel Hoja. Mecanismos involucrados entre la radiación y una hoja. En la parte visible son los pigmentos foliares como la clorofila los responsables de la alta absorción de la radiación solar, la poca reflectividad en esta parte de espectro y la poca transmitividad, principalmente en el rojo. En la región de infrarrojo cercano se observa una alta reflectividad y transmitividad, producto de la estructura interna de las hojas.

Infrarrojo medio. La respuesta espectral es gobernada por el contenido de agua. Estas propiedades varían según la especie, el estado de crecimiento y la geometría de la hoja.

Nivel de la planta o cobertura vegetal. La firma espectral es mucho más compleja porque implica otros elementos tales como tronco, tallos, así como el sustrato. (La Rocca, 2004, p. 14).

La totalidad de los objetos, sin importar la radiación que emitan, reciben radiación del sol, fundamentalmente. En función de su tipo, el comportamiento del objeto en cuestión puede seguir tres direcciones:

- Reflejarse. En ésta la radiación es reenviada al espacio.
- Absorberse. Así la radiación incrementa la energía del objeto.
- Transmitirse. La radiación se dirige a los objetos que están situados detrás. (López, 2019).

1.2. Características de los sensores remotos activos y pasivos

Para adquirir imágenes se utilizan dispositivos usualmente denominados sensores. Los sensores remotos se clasifican de acuerdo con el tipo de fuente de energía electromagnética que utilizan.

-Sensores pasivos. No emiten ninguna radiación. Capturan la información procedente de la radiación solar que refleja la Tierra o la emitida por los propios objetos terrestres. Los sensores pasivos se clasifican, a su vez, según el número de bandas o canales espectrales de las imágenes adquiridas, en pancromáticos, multiespectrales e hiperespectrales. Los primeros capturan información en una sola banda, normalmente en el rango entre la radiación visible y el infrarrojo próximo. Las imágenes obtenidas en éstos se visualizan en escala de grises. Los multiespectrales capturan información en varias bandas, asignando una banda para cada rango del espectro del que pueden capturar información, mientras que los hiperespectrales se utilizan en casos en los que el número de bandas es muy elevado, llegando varias centenas (Pérez et al., 2020).

-Sensores activos: Emiten la radiación electromagnética reflejada en los objetos y miden la energía que se devuelve reflejada al sensor. Éste es el proceso de escaneo de la superficie terrestre.

Los sensores poseen características propias que según la aplicación los vuelven mayormente apropiados. Estas características pueden ser agrupadas en las resoluciones del sensor, que se describen a continuación, según La Rocca (2004).

Resolución espacial. Hace referencia al objeto más pequeño que puede ser detectado por el sensor, es decir, equivalente al píxel. El tamaño del píxel varía según los sensores y tiene un rol muy importante en la interpretación, pues determina el nivel de detalle.

Resolución espectral. Hace referencia al número y ancho de bandas espectrales que pueden discriminar el sensor. A mayor cantidad de bandas y menos ancho de éstas, aumenta la resolución espectral

Resolución Radiométrica. Es la sensibilidad del sensor para detectar variaciones en la cantidad de energía espectral recibida.

Resolución temporal. Es la frecuencia con la que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. (La Rocca, 2004, p. 20).

1.3 Plataforma de teledetección espacial

De acuerdo con los datos de la NASA, a la fecha de septiembre de 2018, existían alrededor de 4000 satélites operativos orbitando la Tierra, de los cuales, más de 100 estaban dedicados a la observación de la Tierra desde el espacio o la teledetección espacial con distintos objetivos y escalas.

1.3.1. Programa Copernicus

Es el nuevo nombre del Programa de Observación de la Tierra de la comisión europea, anteriormente conocido como GMES. La misión está dedicada a la cobertura completa y sistemática de la superficie terrestre. Para lograr este objetivo y brindar una alta disponibilidad de la misión, se requiere una constelación de dos satélites operativos que permita alcanzar un tiempo de revisión geométrica de cinco días.

Sentinel-2 es una misión de imágenes operativas multiespectrales dentro del programa GMES, la cual se implementa conjuntamente por la Comisión Europea (CE) y la Agencia Espacial Europea (ESA) para la observación de la Tierra (datos sobre vegetación, suelo y agua). Asimismo, proporciona correcciones de datos de distorsiones y absorción atmosférica.

Cumplimiento del Sentinel-2:

- Cobertura geográfica. Todas las áreas terrestres (excepto la Antártida).
- Revisión geométrica. Cinco días de vista libre de nubes, totalmente en consonancia con los cambios de vegetación.
- Resolución espacial. 10 m distancia de muestreo espacial.

La misión ha sido apoyada en especie por la Agencia Espacial Francesa (CNES) para proporcionar experiencia en procesamiento y calibración de imágenes, así como por el Centro Aeroespacial Alemán (DLR), el cual proporciona la carga útil de comunicación óptica.

En el transcurso de la misión los píxeles que presenten fallas pueden reemplazarse por píxeles redundantes. Existen dos tipos de detectores que integran filtros de alta calidad para aislar de manera altamente eficaz las bandas espectrales. Cada satélite posee un nivel de autonomía alto, por lo que pueden operar sin requerir intervención desde la Tierra por lapsos de 15 días. Este proceso exige un análisis sofisticado, además de detección y corrección de fallos autónomos a bordo; es capaz de distinguir entre diferentes tipos de cultivos y de proporcionar datos oportunos sobre gran amplitud de índices de plantas como el índice de área foliar, el contenido de clorofila y el contenido de agua en las hojas, los cuales son esenciales para monitorear de manera precisa el crecimiento de las plantas. También puede otorgar información sobre los cambios en la cobertura del suelo para que las áreas dañadas, afectadas por incendios o deforestación puedan ser monitoreadas. El crecimiento urbano también puede ser rastreado.

| | |
|-------------------------------|---|
| Lanzamiento de Sentinel -2A | 23 de junio de 2015, Guayana Francesa |
| Lanzamiento de Sentinel -2B | Marzo de 2017, Guayana Francesa |
| Tiempo de revisión geométrica | Cinco días desde la constelación de dos satélites |
| Imágenes multiespectrales | 13 bandas, con un ancho de banda de 290km, y una resolución espacial de 10m (cuatro bandas), 20m (6 bandas) y 60m |
| Aplicaciones principales | Agricultura, bosques, cambio de uso en la tierra, cambio de cobertura en el suelo; monitorear aguas costeras. |
| Fondos | Estados miembros de la ESA y la Unión Europea |

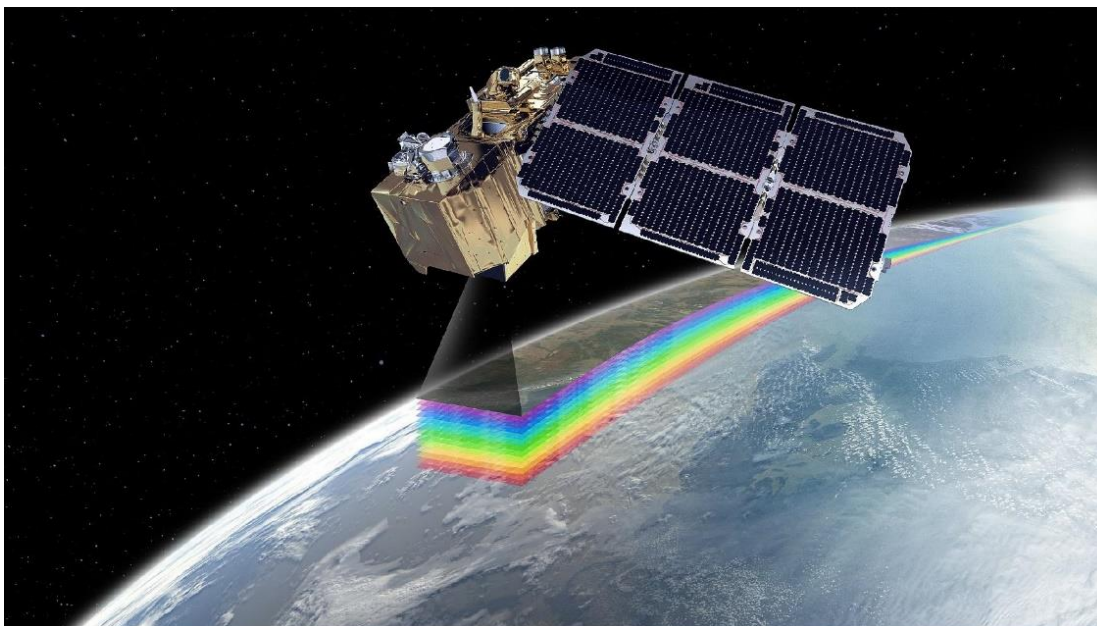


Imagen 3. Satélite Sentinel 2-A. Fuente: Airbus DS, Ref. 38.

Niveles de procesamiento

- Nivel 1. Incluye lo siguiente:
 - Correcciones radiométricas (corrección de luz y exclusión de píxeles defectuosos).
 - Correcciones geométricas (ortorectificación).
- Nivel 2. Incluye lo siguiente:
 - Detección de nubes.
 - Correcciones atmosféricas (corrección de efectos de pendiente).
- Nivel 3. Incluye lo siguiente:
 - Simulación de correcciones de nubes dentro de una imagen de nivel 2. (Misiones de observación de la Tierra, Recuperado de <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2>)

Combinación de Bandas

- Uso agrícola (11, 8 A, 2). Elementos representados en verde brillante.

- Falso color para zonas urbanas (12,11,4), tonos magentas para praderas, pastos en verde claro y verde oliva para áreas forestales.
- Color Natural (4,3,2) se aproxima a los colores naturales.

1.3.2. Programa Copernicus

Por sus siglas, la constelación SPOT significa Satélites para la Observación de la Tierra, está constituida por una serie de satélites diseñados y lanzados por el Centro Nacional de Estudios Espaciales de Francia (CNES), con apoyo de Suecia y Bélgica; son operados por la empresa Spot Image. Cuenta con una cobertura de 2,500 km de radio que alcanza el sur de los Estados Unidos, Cuba y la región de Centroamérica. Está compuesta por tres satélites 2, 4 y 5 con capacidad de captura de imágenes terrestres con media y alta resolución y una excelente precisión de localización. La información que SPOT provee es utilizada para el conocimiento, control, previsión, gestión de recursos y las actividades humanas del planeta. Spot Image es una compañía de servicios de observación de la Tierra, ofrece productos y soluciones basados en imágenes desde 1986; su sede central se encuentra en Toulouse, Francia (SEMAR, 2021) <http://2006-2012.semar.gob.mx/informacion-sector/ciencia/ermexs.html>.

Historia:

- SPOT 1, lanzado en febrero de 1986 (sin operar desde noviembre de 2003).
- SPOT 2, lanzado en enero de 1990 (sin operar desde julio de 2009).
- SPOT 3, lanzado en septiembre 1993 (sin operar desde 1996 por problema técnico).
- SPOT 4, lanzado en marzo de 1998.
- SPOT 5, lanzado en mayo de 2002.
- SPOT 6, lanzado en septiembre de 2012.
- SPOT 7, lanzado en enero de 2014 para trabajar hasta 2024.

La constelación de satélites SPOT ofrece una capacidad operacional diaria de adquisición, prácticamente de cualquier punto del globo terráqueo con una resolución de 10 m. (Misiones de observación de la Tierra, Recuperado de <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/spot-4>)

ERMEX (MÉXICO)

La Estación de Recepción México inició sus operaciones en noviembre de 2003, fecha en la cual México comenzó a recibir imágenes satelitales SPOT. La antena tiene un diámetro de 3.4m y recibió la telemetría de los satélites SPOT 2,4 Y 5.

A partir del 19 de febrero de 2013, éstas son las instituciones que tienen la función de gestionar imágenes en el territorio nacional:

- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) a través del SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera).
- SEDENA (Secretaría de la Defensa Nacional).

Las imágenes se encuentran a disposición de los tres niveles de Gobierno (Federal, Estatal y Municipal). Asimismo, se posee un rango de cobertura para la adquisición de imágenes de 2500 km, a partir de su ubicación actual.

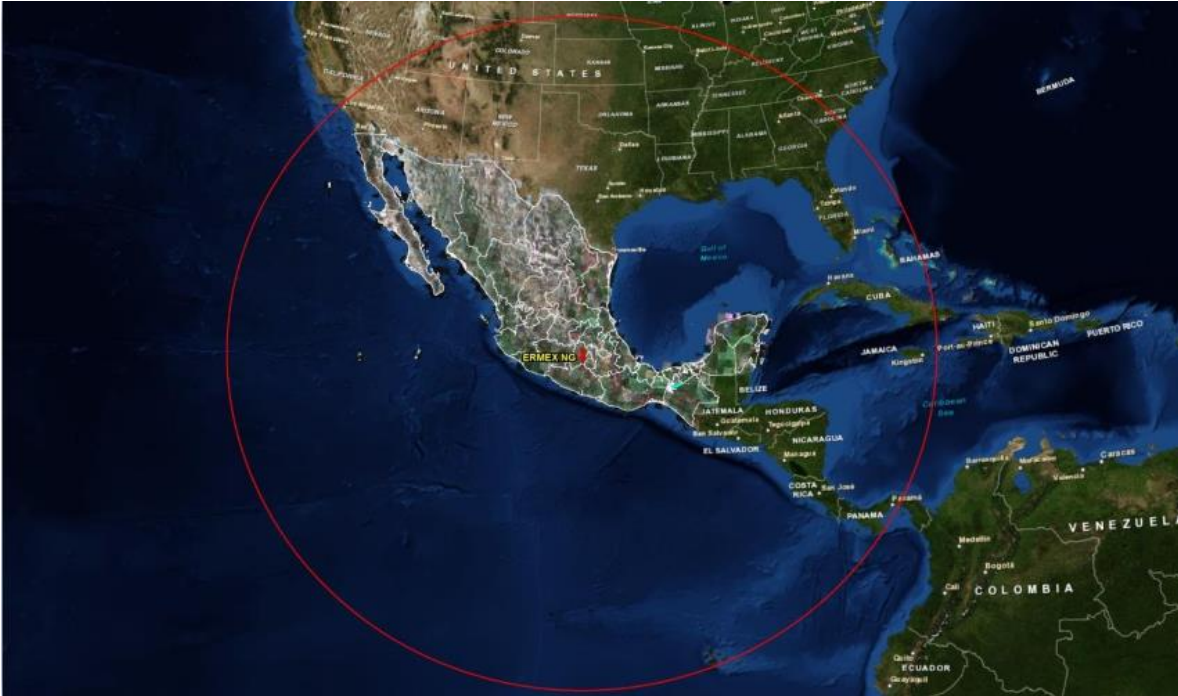


Imagen 4. Perímetro satélite SPOT. Fuente: www.siap.gob.mx/ermex-ng.

Los satélites pasan dos veces al día por el país, operan a una altura de 822 km sobre el nivel medio del mar y captan imágenes de 60 por 60 km². En total, el mosaico está compuesto por 822 imágenes del territorio nacional.

Características de los Satélites SPOT

| Satélite | Bandas Espectrales | Resolución Espacial | Resolución Espectral |
|--------------|------------------------|---------------------|---------------------------|
| Spot 6 y 7 | P:pancromático | 1'5m | 0,45 - 0,74 μm |
| | B1:Azul | | 0,45 - 0,52 μm |
| | B2:Verde | | 0,53 - 0,59 μm |
| | B3:Rojo | | 0,62 - 0,69 μm |
| | B4: Infrarrojo Cercano | 6m | 0,78 - 0,89 μm |
| Spot 5 | P:pancromático | 2'5m o 5m | 0,48 - 0,71 μm |
| | B1:Azul | 10m | 0,50 - 0,59 μm |
| | B2:Verde | | 0,61 - 0,68 μm |
| | B3:Rojo | | 0,78 - 0,89 μm |
| | B4: Infrarrojo Cercano | 20m | 1,58 - 1,75 μm |
| Spot 4 | P:pancromático | 10m | 0,48 - 0,71 μm |
| | B1:Azul | 20m | 0,50 - 0,59 μm |
| | B2:Verde | | 0,61 - 0,68 μm |
| | B3:Rojo | | 0,78 - 0,89 μm |
| | B4: Infrarrojo Cercano | | 1,58 - 1,75 μm |
| Spot 1,2 y 3 | P:pancromático | 10m | 0,51 - 0,73 μm |
| | B1:Azul | 20m | 0,50 - 0,59 μm |
| | B2:Verde | | 0,61 - 0,68 μm |
| | B3:Rojo | | 0,78 - 0,89 μm |

Imagen 5. Tabla de bandas espectrales SPOT. Fuente: Airbus.

1.3.3. Programa Landsat-7

Los Landsat son una serie de satélites construidos y puestos en órbita por Estados Unidos para la monitorización de la superficie terrestre. El objetivo general de la misión consiste en ampliar y mejorar el registro a largo plazo de imágenes. multiespectrales. Inicialmente se le llamó a este tipo de satélites ERTS-1 y, posteriormente, los restantes recibieron el nombre de Landsat.

Historia

- ERTS-1, lanzado en julio de 1972 (fin de operación en enero de 1978).

- Landsat-2, lanzado en enero de 1975 (fin de operación en julio de 1983).
- Landsat-3, lanzado en marzo de 1978 (fin de operación en septiembre de 1993).
- Landsat-4, lanzado en julio de 1982 (fin de operación en diciembre de 1993).
- Landsat-5, lanzado en marzo de 1984 (fin de operación en noviembre de 2011).
- Landsat-6, lanzado en octubre de 1993 (fin de operación en la misma fecha).
- Landsat-7, lanzado en 1998, sigue en operación.

Landsat-7 tiene la capacidad de recolectar y transmitir hasta 532 imágenes por día. Se encuentra en una órbita heliosincrónica, lo cual significa que pasa siempre a la misma hora en un determinado lugar.

Características

| MODO ESPECTRAL | ESPACIAL (metros) | ESPECTRAL (micras) | | RADIOMÉTRICA | TEMPORAL |
|----------------|-------------------|-------------------------------|-------------|--------------|----------|
| Pancromática | 15 | Banda 8. Pancromática | 0.52 - 0.90 | 8 BITS | 16 Días |
| Multiespectral | 30 | Banda 1. Azul | 0.45 - 0.52 | | |
| | | Banda 2. Verde | 0.53 - 0.61 | | |
| | | Banda 3. Roja | 0.63 - 0.69 | | |
| | | Banda 4. Infrarrojo cercano 1 | 0.78 - 0.90 | | |
| | | Banda 5. Infrarrojo cercano 2 | 1.55 - 1.75 | | |
| | | Banda 6. Infrarrojo medio | 2.09 - 2.35 | | |

Imagen 6. Componentes de un sistema de Teledetección. Fuente: https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/imgLANDSAT/doc/Aspectos_tecnicos_landsat.pdf

Combinación de Bandas

- 1, 2 y 3. Se aproxima a los colores reales. Es ideal para realzar información del agua: turbidez, corrientes y sedimentos en suspensión.
- 2,3 y 4. La banda 4 (infrarrojo cercano) es útil para identificar los límites entre el suelo y el agua.

CAPÍTULO II. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO CON EL SISTEMA GPS TRIMBLE JUNO 5B

2.1. Sistema de posicionamiento global (GPS)

La abreviatura GPS se refiere al sistema de posicionamiento global, el cual está basado en la constelación Navstar GPS el cual es un acrónimo en inglés que significa Navigation system with time and ranging global positioning system, es decir, sistema de posicionamiento global con sistema de navegación por tiempo y distancia (GPS Basic Leica, año, p. 5). Dicho sistema surgió del antiguo sistema de posicionamiento espacial de la Marina de los Estados Unidos, llamado Transit, cuyo objetivo fue posicionar submarinos con misiles balísticos y embarcaciones militares. (Fallas, 2002, p. 3)

Posterior a la Segunda Guerra Mundial, el departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norteamérica se vio en la necesidad de desarrollar una forma para determinar una ubicación exacta en cualquier momento y punto de la superficie terrestre, por lo cual fue diseñado el GPS, con fines originalmente militares. (GPS Basic leica, p. 5). Actualmente el uso generalizado del GPS ha superado su utilización militar, ahora es una herramienta de carácter e importancia mundial. El GPS tiene por objetivo determinar las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia, los cuales pueden encontrarse en cualquier lugar del planeta, estar estáticos o en movimiento y ser observados en cualquier momento (Huerta y Mangiaterra, 2005). El sistema GPS está constituido por tres segmentos fundamentales:

- Espacial
- De control
- De usuario

Segmento espacial (satélites que giran en órbitas alrededor de la Tierra)

El segmento espacial GPS es una constelación de satélites que transmiten señales de radio a los usuarios. Dichas señales son transmitidas en dos frecuencias moduladas a partir de relojes atómicos altamente estables; cuentan con transmisores, paneles solares y propulsores cuya función esencial es recibir y almacenar la información que transmite la estación de control. (Manual Juno 5 b, p. 5). El GPS, al ser un sistema basado en satélites artificiales cuenta con una disposición de 24 unidades en seis órbitas planas y circulares, con una inclinación de 55° respecto del plano del Ecuador. Su distribución es aproximadamente uniforme y tiene cuatro satélites en cada órbita (Huerta y Mangiaterra, 2005, p. 17).

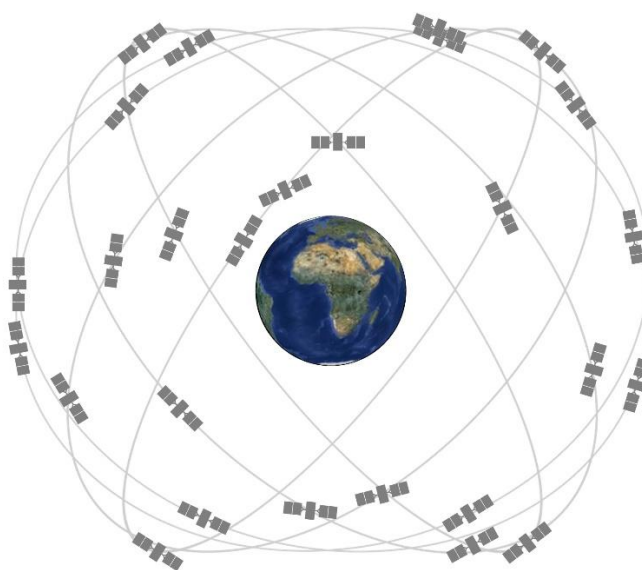


Imagen 7. Satélites Constelación NAVSTAR. Fuente: (Huerta. E. (2005) GPS Posicionamiento Satelital).

Segmento de control

El segmento de control GPS consiste en una red global de estaciones en Tierra, su función es rastrear los satélites, monitorear sus transmisiones, analizar y enviar comandos y datos a la constelación siendo así el sistema responsable del funcionamiento y operatividad del GPS (Gómez 2019, p. 13). Las estaciones de monitoreo utilizan coordenadas sumamente precisas, equipadas con receptores GPS de doble frecuencia y reloj de Cesio. El segmento operacional de control

cuenta con: estación maestra de control, estación de control alternativa, 11 antenas de control y comando y 16 sitios de monitoreo.



Imagen 8. Red global de estaciones en tierra de rastreo, monitoreo, análisis y control.
Fuente: Liliana. a. (2019) La Matemática detrás del GPS. NGA: Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial. AFSCN: Fuerza área de Control de Satélites.

Segmento de usuario

El segmento de usuario se compone por instrumentos para recibir y procesar la señal que los satélites emiten, dichos instrumentos están compuestos por una antena y un receptor, los cuales determinan su posición y la hora. Entre los usos típicos del segmento se encuentran avances en objetivos científicos como pronosticar el tiempo, monitorear terremotos y proteger el medio ambiente. El GPS se ha convertido en una herramienta fundamental para desarrollar nuevos sistemas de transporte aéreo en cuanto a la seguridad de vuelo y el aumento de la capacidad del espacio. Representa una posibilidad de desarrollo respecto a la productividad económica en áreas como la agricultura, la construcción, la topografía, la minería, los sistemas bancarios, la administración y logística de cadenas de suministros, las

redes de comunicaciones, y ayuda en trabajos de búsqueda y rescate (Huerta y Mangiaterra, 2005).

2.2. Introducción del GPS Juno 5B

Las soluciones geospaciales de Trimble facilitan los flujos de trabajo eficientes y fluidos para capturar y transformar datos en inteligencia del mundo real.

El colector de mano Juno incluye un receptor GPS integrado, el cual le permite capturar datos GPS para incorporarlos a un SIG o para la administración de recursos (Juno series user guide, p. 67).

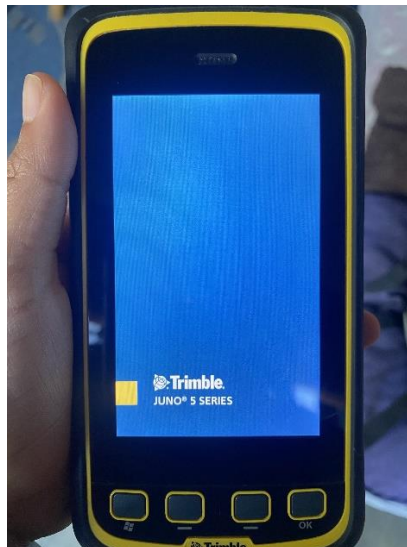


Imagen 9. Pantalla de inicio Trimble JUNO 5. Fuente: Espinosa. J. (2020).

2.2.1. Características de Juno 5B

- Mapa Móvil
- Señal WASS
- Error de 2 a 5m en tiempo real
- Capacidad para trabajar con información Ráster y vectorial
- Crear y editar archivos en formato Shapefile (.shp); puntos, líneas y polígonos
- GPS integrado
- Uso rudo (condiciones de lluvia, caídas, grado de protección IP65)

- Capacidad para trabajar con ArcPad
- Tecnología bluetooth
- Cámara integrada de 8 megapíxeles con geoetiquetado
- Ranura de tarjeta microSD

2.2.2. Software de campo compatible

Para capturar datos GPS con el colector de mano Juno, se debe instalar el Software de campo GPS en el dispositivo. La extensión Trimble GPSCorrect, software ESRI ArcPad, se utiliza para configurar las opciones de corrección diferencial en tiempo real y captura de datos (Juno Series User Guide, p. 19).

ArcPad es una aplicación SIG, destinada a dispositivos móviles y especialmente dirigida a proyectos de captura de datos e información geográfica mediante posicionamiento GPS en campo. La parte fundamental de ArcPad es trabajar con información geográfica de tipo vectorial y Ráster, ya que éstos son los principales componentes para las ubicaciones geográficas de puntos de interés. (Manual Juno, p. 7).

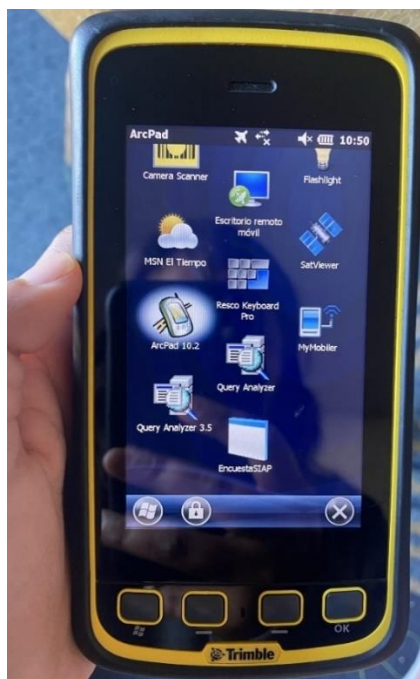


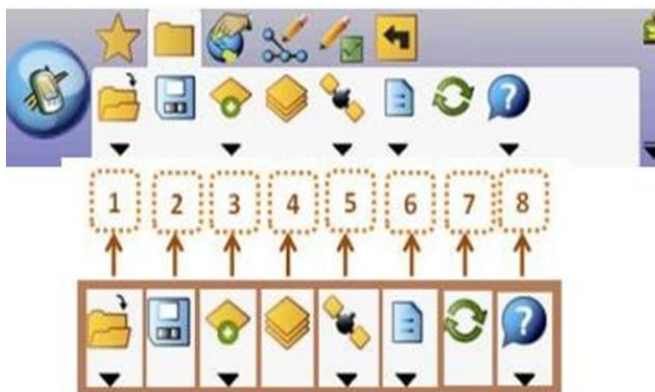
Imagen 10. Pantalla de menú principal, Trimble JUNO 5. Fuente: Espinosa. J. (2020).

2.2.3. Interfaz del programa ArcPad 10.2.4



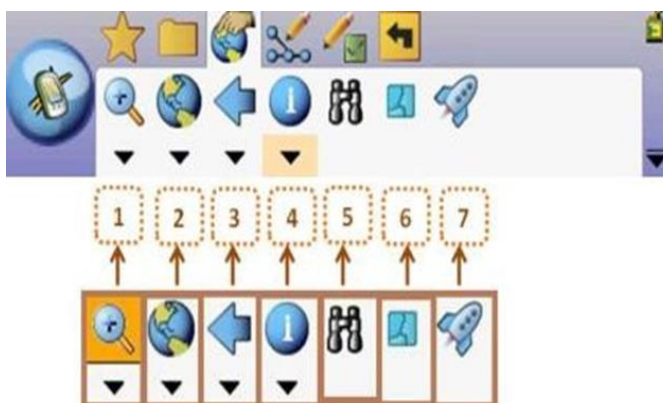
- ↑ Inicio ArcPad10.2
- ↑ % de Batería
- ↑ Almacenamiento del programa
- ↑ Exploración de Archivos

Barra de Herramientas Principal de ArcPad



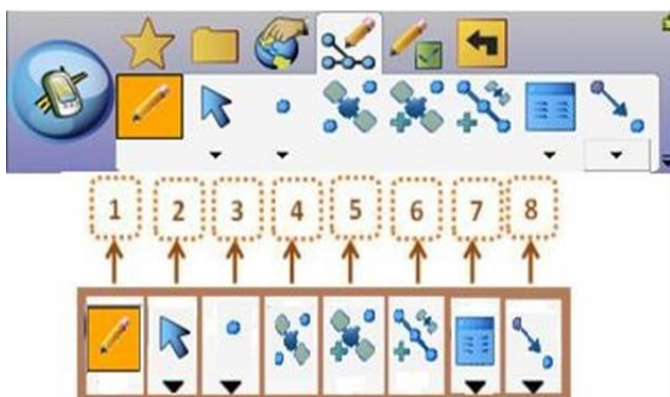
1. Abrir
2. Guardar
3. Agregar capa
4. Tabla de contenido
5. GPS
6. Opciones
7. Actualizar
8. Ayuda

Herramientas de Exploración



1. Zoom
2. Full Extent
3. Regresar
4. Información
5. Buscar
6. Limpiar la selección
7. QuickDraw

Herramientas de dibujo



1. Iniciar Edición
2. Seleccionar
3. Seleccionar: Punto o polígono
4. Capturar punto
5. Añadir Vértice GPS
6. Añadir Vértices de manera continua
7. Propiedades
8. Capturar puntos mediante offset

2.2.4. Localización DDR y CADeR (SADER)

Para este ejercicio se tomará en cuenta la estructura territorial de la SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural), en la cual el Estado de Puebla se conforma por ocho Distritos de Desarrollo Rural (DDR) y por 22 Centros de Apoyo al Desarrollo Rural (CADeR), lo que favorece la conexión entre productores, gobiernos estatales y municipales.

DISTRITOS DE DESARROLLO RURAL

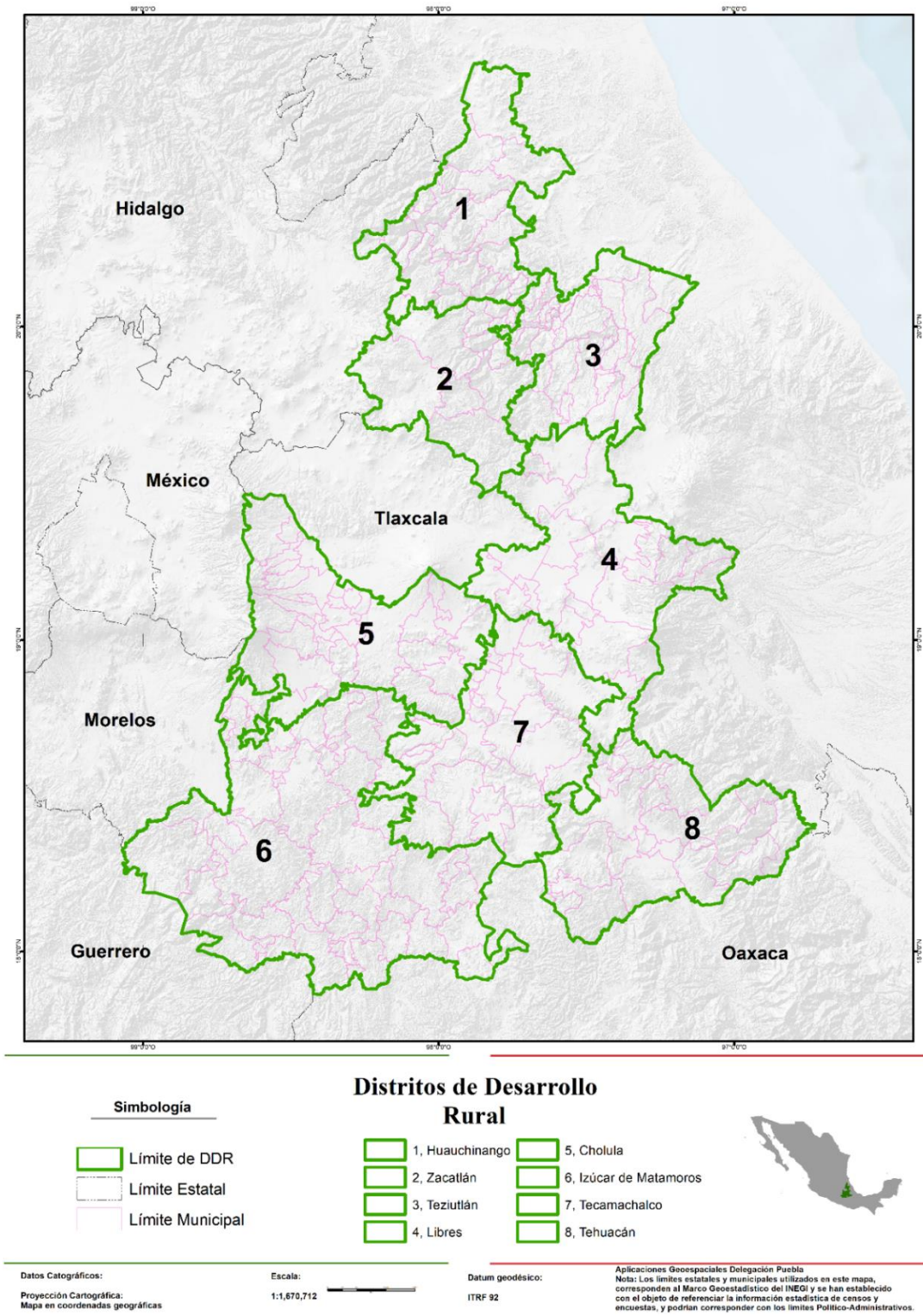


Imagen 11. Distribución de Distritos de Desarrollo Rural.

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019).

CENTROS DE APOYO AL DESARROLLO RURAL

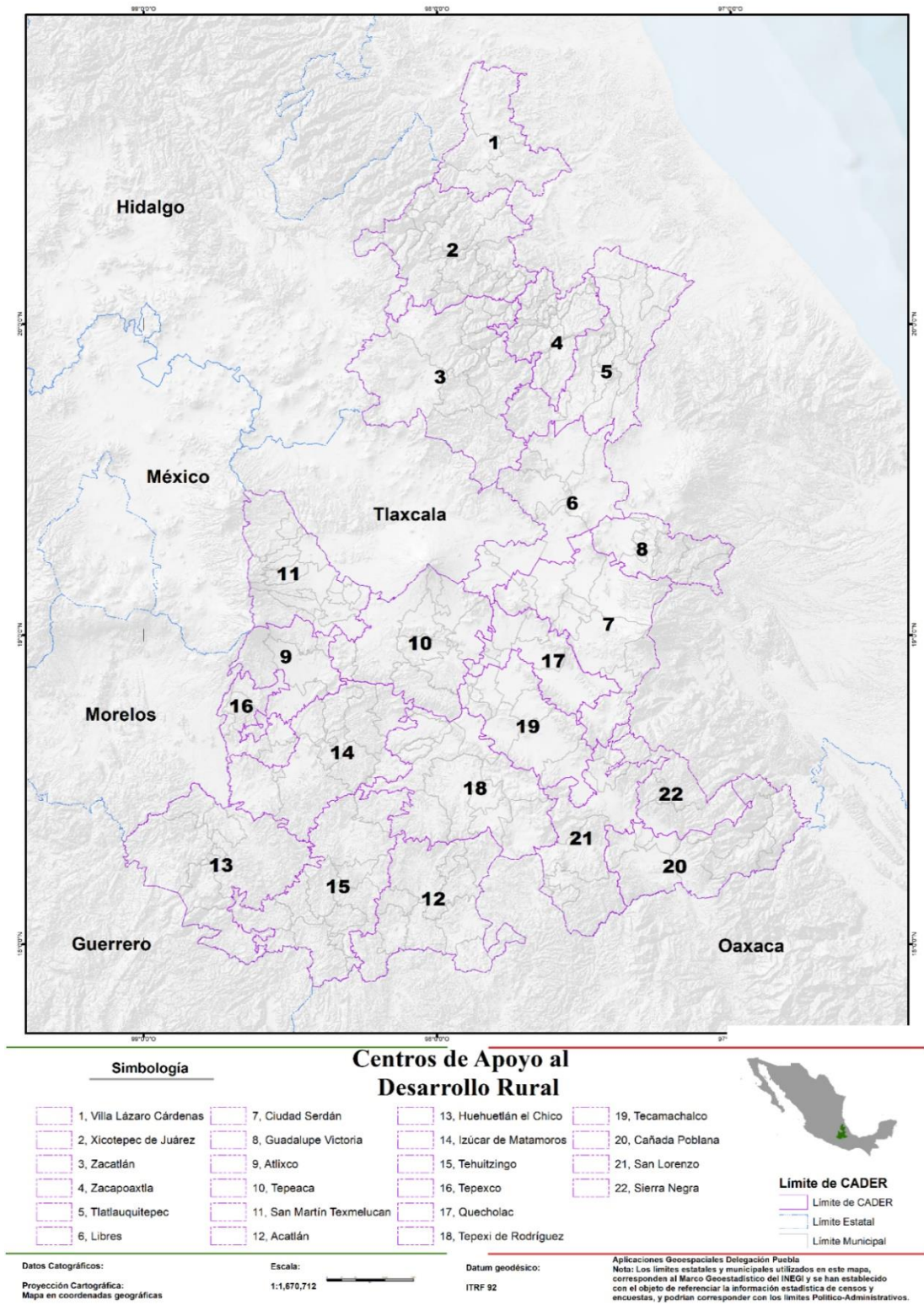


Imagen 12. Distribución de Centros de Apoyo al Desarrollo Rural. Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019).

2.2.6. Método levantamiento de información en campo

El levantamiento de campo consiste en tomar puntos GPS, completar el formato F2, la toma de fotografías georreferenciadas (a detalle y panorámica), así como la generación del recorrido de campo (Tracklog).

Se deben considerar las distancias de municipio a municipio, la accesibilidad, el vehículo a utilizar y, además, es de vital importancia tomar en cuenta que los recorridos de campo se necesitan hacer desde muy temprano para, a más tardar, a las 4 p.m., concluir con la adquisición de información. Para que un punto sea útil, la parcela debe tener una superficie mayor de 0.5ha, de preferencia, un estado fenológico de floración y se debe ingresar al predio al menos 50 m. El punto no se podrá tomar a orilla de carretera ni en medio de caminos saca cosechas, asimismo, la distancia entre un cultivo y otro deberá ser de un 1km.

Estado Fenológico como ejemplo: Grano Básico Maíz



Imagen 14. Estado Fenológico de Maíz para muestrear. Fuente: López. J. (2019)
Estimación de superficies agrícolas por teledetección (SIAP).

El procedimiento para levantar un punto como única clave será seguir el formato F2, el cual se va a ir desglosando del siguiente modo: como primer paso a realizar en

el recolector de datos se ingresará ArcGis 10.2 (ArcPad) y después se cargará la base de datos que contiene el formato F2 y la capa de límite municipal.

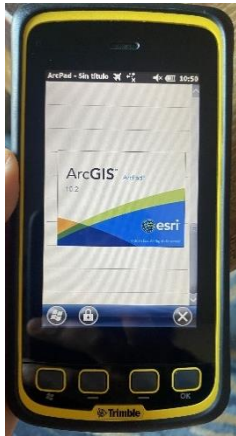


Imagen 15. Arcgis en Trimble Juno 5
Fuente: Espinosa J. (2020).

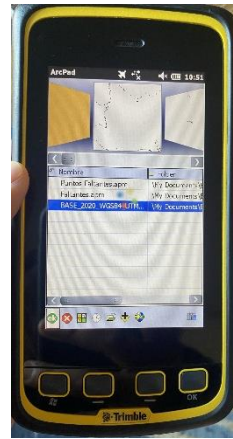


Imagen 16. Base de Datos en Trimble Juno 5. Fuente: Espinosa J. (2020).

Una vez cargadas las capas de trabajo se activará el GPS y, como se mencionó con anterioridad, uno de los datos principales a recolectar será el recorrido de campo (Tracklog). En la Barra de Herramientas principal está la opción GPS, entonces se seleccionará “GPS ACTIVO” y para encender el Tracklog la indicación será igual al procedimiento anterior, solo que se selecciona al final la opción de “Registro de trayectoria del GPS”.



Imagen 17. Activación de GPS y Tracklog. Fuente: Espinosa J. (2020).

En la Imagen se notan dos casillas activas, las cuales se describieron con anterioridad. El GPS Juno está listo para iniciar la recolección de datos.

Se abrirá la base de datos y se seguirá cada uno de los campos que están cargados en el formato F2.

- Fecha
- Cultivo: la base de datos tiene incluida una plantilla en donde se podrá desglosar y seleccionar qué cultivo es.
- Modalidad: se verificará si es riego o temporal.
- Altura: es aproximada.

Foto 1. De detalle

Papa

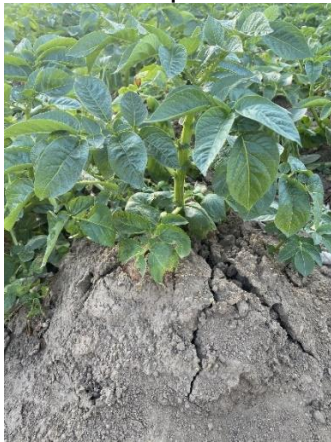


Imagen 18. Foto de detalle cultivo de papa. Fuente: Espinosa J. (2020).

Rábano



Imagen 19. Foto de detalle cultivo de rábano. Fuente: Espinosa J. (2020).

Amaranto



Imagen 20. Foto de detalle de cultivo de amaranto. Fuente: Espinosa J. (2020).

Zanahoria



Imagen 21. Foto de detalle cultivo de Zanahoria. Fuente: Espinosa J. (2020).

Cebada



Imagen 22. Foto de detalle de cultivo de cebada. Fuente: Espinosa J. (2020).

Lechuga



Imagen 23. Foto de detalle cultivo de lechuga. Fuente: Espinosa J. (2020).

Foto 2. Panorámica

Papa



Imagen 24. Foto panorámica de cultivo de papa. Fuente: Espinosa J. (2020).

Rábano



Imagen 25. Foto panorámica de cultivo de rábano. Fuente: Espinosa J. (2020).

Amaranto



Imagen 26. Foto panorámica de cultivo de amaranto. Fuente: Espinosa J. (2020).

Zanahoria



Imagen 27. Foto panorámica de cultivo de zanahoria. Fuente: Espinosa J. (2020).

Cebada



Imagen 28. Foto panorámica de cultivo de cebada. Fuente: Espinosa J. (2020).

Lechuga



Imagen 29. Foto panorámica de cultivo de lechuga. Fuente: Espinosa J. (2020).

- Suelo cubierto. Porcentaje de suelo cubierto por el cultivo:
 - 80 a 100
 - 50 a 80
 - 0 a 50
- Superficie del predio (Ha). Será realizada según los rangos predefinidos en la base:
 - Menor a 0.25
 - 0.26 a 0.5
 - 0.6 a 1.0
 - 1.1 a 3.0
 - Mayor a 3
- Variedad. Solo se ingresará este dato si es conocida la variedad del cultivo.
- Maleza.
- Estado Fenológico. Estado de desarrollo del cultivo
- Asociación de cultivo. Se valora si en un mismo predio existen dos cultivos desarrollandose, por ejemplo, la siembra de maíz con frijol.
- Cultivos colindantes. Permite seleccionar el tipo de cobertura colindante al norte, sur, este y oeste de la parcela.

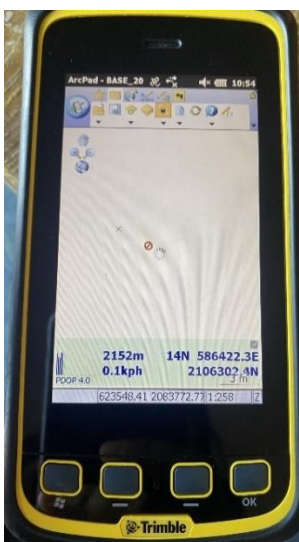


Imagen 30. Coordenadas en Trimble Juno 5. Fuente: Espinosa. J. (2020).

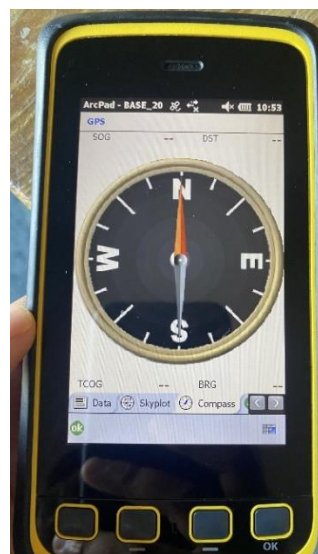


Imagen 31. Brújula en Trimble Juno 5. Fuente: Espinosa. J. (2020).

Se debe dar *click* en las coordenadas y seleccionar el compas.

- Siniestro. Se anotará el tipo de siniestro; inundación, helada, enfermedades, plaga, sequía, granizo, vientos u otro.

Helada (Papa)



Imagen 32. Foto a detalle de siniestro por helada
Fuente: Espinosa J. (2020).

Sequía (Frijol)



Imagen 33. Foto a detalle de siniestro por sequía.
Fuente: Espinosa J. (2020).

Plaga (Maíz)



Imagen 34. Foto a detalle de siniestro por plaga.
Fuente: Espinosa J. (2020).

- Nombre de Estado.
- Observaciones. Con referencia a las incidencias para la toma de puntos.

A continuación, se muestran las capturas de pantalla de cómo quedarían registrados los campos del formato F2 en la base de datos:



Imagen 35. Formato F2.
Fuente: Espinosa J. (2020).

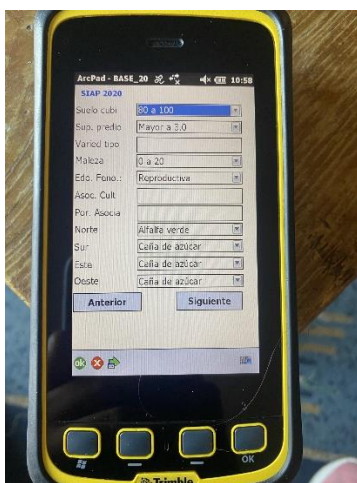


Imagen 36. Formato F2.
Fuente: Espinosa J. (2020).

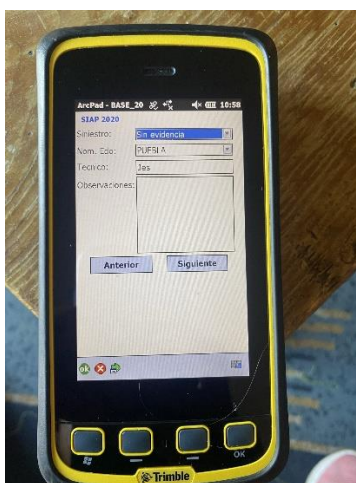


Imagen 37. Formato F2.
Fuente: Espinosa J. (2020).

Ya recabados los puntos con la información correspondiente del recorrido del día, es esencial finalizar el tracklog.

Trabajo de campo



Imagen 38. Cultivos de Zanahoria. Fuente: Espinosa J. (2020).



Imagen 39. Mantas encontradas
Fuente: Espinosa. J. (2020).



Imagen 40. Riesgos de Campo.
Fuente: Espinosa J. (2020).

CAPÍTULO III. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA UTILIZADOS EN LA ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES AGRÍCOLAS

A continuación, se presenta una definición provisional de los sistemas de información geográfica (SIG). Estos son sistemas que permiten almacenar datos espaciales para su consulta, manipulación y representación. La cartografía tiene como fin el estudio de la representación de datos espaciales (Alonso, 2006). Estos sistemas ofrecen información para asignar una posición geográfica, por lo cual se acompaña de información adicional relativa a su localización (Olaya, 2014).

Los SIG han sido útiles para resolver problemas socioespaciales de las ciencias; desde sus inicios fue considerada una herramienta interdisciplinaria (Buzai, 2013) que permite integrar bases de datos espaciales e implementar diversas técnicas de análisis de datos, por lo cual todas las actividades en relación con el espacio pueden verse beneficiarse con un SIG. A continuación, se presentan algunos ejemplos de éstas.

- Científicas: referentes ciencias medioambientales y relacionadas con el espacio, como el desarrollo de modelos empíricos, por ejemplo, aquellos que relacionan temperatura con altitud u orientación. En cuanto a la modelización cartográfica se aplican modelos empíricos para elaborar mapas de temperatura a partir de altitud u orientación. En cuanto a teledetección, las imágenes de satélite son tomadas a partir de estructuras ráster manejadas en un SIG.
- De gestión: cartografía, información pública, catastro, planificación de espacios protegidos, ordenación territorial, planificación urbana, estudios de impacto ambiental, evaluación de recursos y seguimiento de las consecuencias (siniestros o accidentes).
- Empresariales: de marketing para la distribución de material publicitarios, en estrategias de distribución para optimizar rutas, en localización óptima de una sucursal en función de los clientes potenciales.

Por otra parte, Los datos geográficos o espaciales representan fenómenos reales o abstractos en términos de posición y forma respecto de un sistema de coordenadas. Significan también aquellos atributos geoespaciales y temáticos o descriptivos relacionados con el objeto geográfico, como su elevación, temperatura y color. Así mismo, interrelaciones espaciales existentes entre los objetos, el campo de estudio de la topología, la cual consiste “en la información cualitativa compuesta por un conjunto de reglas que describen las propiedades y conexiones, no métricas, de la información geográfica, como pueden ser la contigüidad, la conectividad, la superposición o la adyacencia” (Del Bosque y Fernández, 2012, p. 30). Las representaciones del espacio geográfico pueden ser realizadas mediante dos componentes. Por un lado, aquellas entidades distribuidas que cuentan con localizaciones espaciales específicas; por el otro, los atributos que poseen dichas entidades, se esta manera puede decirse que en el espacio geográfico vemos formas y características (Buzia, 2013). Un SIG está constituido de la siguiente manera, según Alonso, (2006).

Bases de datos espaciales en las que en realidad se codifica mediante unos modelos de datos específicos.

Base de datos temáticos_cuya vinculación con la base de datos cartográfica permite asignar a cada punto, línea o área del territorio unos valores temáticos.

Conjunto de programas_que permiten manejar estas bases de datos de forma útil para diversos propósitos de investigación, docencia o gestión.

Conjunto de ordenadores y periféricos de entrada y salida que constituyen el soporte físico del SIG. Estas incluyen tanto el programa de gestión de SIG como otros programas de apoyo.

Comunidad de usuarios_que puedan demandar información espacial. Un SIG ha de permitir la realización de las siguientes operaciones:

Lectura, edición, almacenamiento y, en términos generales, gestión de datos espaciales.

Análisis de dichos datos. Esto puede incluir desde consultas sencillas a la elaboración de complejos modelos, y puede llevarse a cabo tanto sobre la componente espacial de los datos (la localización de cada valor o elemento) como sobre la temática (el valor o el elemento en sí)

Generación de resultados tales como mapas, informes, gráficos. (Alonso, 2006, p. 36).

Además de su definición a partir de su uso, un SIG también es un conjunto de software y hardware diseñado para adquirir, mantener y usar datos cartográficos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas (Olaya, 2011). Formalmente se trata de “la unión de información en formato digital y herramientas informáticas (programas) para su análisis con unos objetivos concretos dentro de una organización” (Alonso, 2006, p. 35).

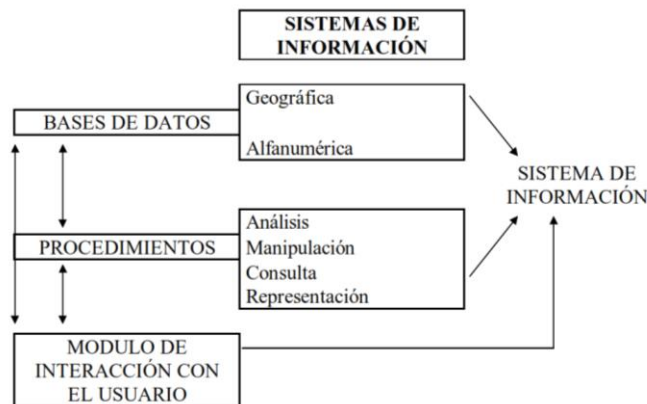


Imagen 41. Estructura del SIG. Fuente: Escobar. F. (1994), Sistemas de Información Geográfica.

El SIG ofrece una amplia utilidad como sistema de apoyo a la decisión, pues el propio sistema se estructura como elemento de ayuda dirigido a la toma de decisiones mediante la formulación de hipótesis de simulación que muestran en diferentes resultados según los datos y procedimientos elegidos. La tecnología aplicada en dicho proceso multiplica el valor añadido del sistema de apoyo a la decisión, ello debido a que logra manejar un alto número de datos interrelacionados, con un amplio y complejo nivel de análisis (Ponencia 130).

Para Olaya (2011), los SIG deben entenderse como un sistema debido a que la ciencia que los define debe, además de describir y apoyar a sus elementos, atender a las interrelaciones existentes entre dichos elementos, pues ésta es una de las características fundamentales de todo sistema. La finalidad de un sistema de información geográfica es combinar las bases de datos gráficas, es decir, la cartografía digital que incluye la localización de cada entidad, con las bases de datos

alfanuméricas (atributos textuales y numéricos medidos en cada unidad espacial). Ello con el propósito de representar dichos datos en un sistema de coordenadas geográficas y tratarlos de forma espacial a fin de obtener información significativa (Buzai, 2013). Para completar la definición de lo que es un SIG, es imprescindible describir las tecnologías que comparten caracteres comunes con dicho sistema. Se presentan a continuación desde lo indicado por Olaya (2011).

SIG Y CAD han sido diseñados para propósitos diferentes. El SIG es reflejar la realidad, mientras que el CAD es diseñar algo que no existe todavía. La creación es el elemento fundamental en el CAD, mientras que el estudio de una realidad ya creada constituye la base del SIG.

Volumen de datos. El volumen de datos de un SIG es órdenes de magnitud mayor, y ello implica una gestión de datos distinta y unas necesidades más elevadas en ese sentido.

La escala de trabajo también alcanza dimensiones mayores, ya que, mientras que con ambas herramientas pueden trabajarse en una extensión limitada, un CAD no está pensado para gestionar datos de una superficie como la de un país, un continente o el planeta entero. No todos los tipos de datos de un SIG se pueden incorporar en una CAD. Los datos procedentes de la teledetección, por ejemplo, no forman parte del abanico de datos que un CAD pueda manejar. (Olaya, 2011, p. 35).

3.1. Componentes de un SIG

Un sistema de Información geográfica consta de una serie de subsistemas, dentro de éstos cada uno realiza una serie de funciones particulares. Existen tres subsistemas fundamentales, que se describen a continuación.

- De datos. Realiza operaciones de entrada y salida de datos, así como la gestión de éstos dentro del SIG. Éste permite a otros subsistemas acceder a los datos y realizar sus funciones con base en ellos.
- De visualización y creación cartográfica. Elabora representaciones que parten de los datos, como mapas y leyendas, lo cual permite la interacción con ellos.
- De análisis. Integra métodos y procesos para analizar los datos geográficos.

Los elementos principales que contemplan estos subsistemas son los siguientes.

- Datos. Elementos fundamentales para el trabajo, contienen la información geográfica para la existencia de los SIG.
- Software. Se requiere una aplicación informática que procese los datos.
- Hardware. El equipo para ejecutar el software.
- Personas. Diseñan y utilizan el software. (Olaya, 2011).

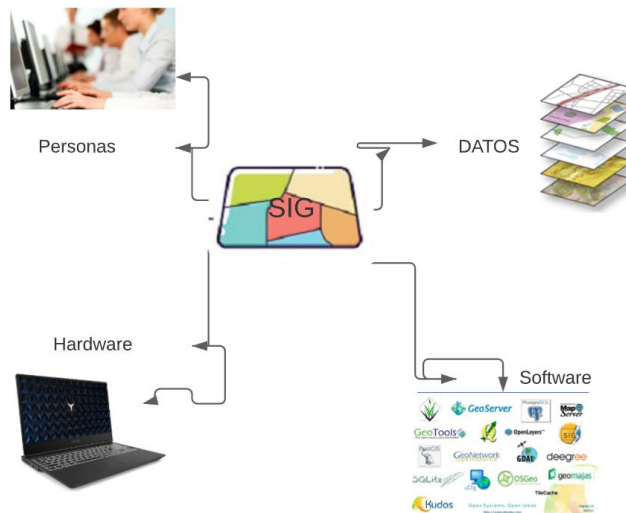


Imagen 42. Elementos de subsistemas.

3.2. Modelos para información geográfica

Sirven para describir aquellos enfoques teóricos que buscan convertir la realidad relativa de una variable dada en una capa que se muestre de forma altamente precisa y funcione para ser empleada en un SIG. Dicho proceso implica construir un modelo (el dato geográfico) que represente la realidad y sirva para conocerla a profundidad mediante un análisis llevado a cabo no sobre esa realidad, sino sobre el modelo. En ello participa una serie de elementos y valores clasificados en tres niveles.

- Modelo geográfico. Éste es un modelo conceptual de la realidad geográfica que incluye su comportamiento.

- Modelo de representación. Recoge el anterior modelo conceptual y sus características propias para reducirlo a una serie finita de elementos.
- Modelo de almacenamiento. Esquema de las alternativas para almacenar los elementos del modelo de representación.

Modelos geográficos

Mediante ellos se trata de conceptualizar el espacio estudiado, la variable tratada y la variación de esta a lo largo del espacio. El modelo geográfico es un esquema mental que constituye una forma particular de entender el hecho geográfico en sí. Existen muchos modelos geográficos, entre los cuales cabe destacar campos y entidades.

Campo

El campo es un modelo de variación dentro de un marco n -dimensional. Cada punto del espacio vectorial origen está asociado con un único valor escalar. Así se obtiene lo que se denomina un campo escalar. La mayoría de las variables empleadas en un SIG requieren un único valor para describirse, ya sea temperatura, elevación o presión atmosférica, que solo requiere de un número para expresarse, mientras que en los campos vectoriales el espacio vectorial de destino es multidimensional. El espacio vectorial de origen puede ser bidimensional, ello significa una función de la forma $f(x,y)$ donde las variables estudiadas adquieren uno u otro valor en función de su posición dentro de un sistema coordenado de referencia.

Entidades

Las entidades se refieren al modelo de entidades, el cual concibe un entorno geográfico como un espacio vacío sobre el que se sitúan distintos elementos que lo van rellenando, de manera que no asocia a cada punto geográfico un valor. Pueden considerarse entidades todos los elementos geométricos existentes en éste, como puntos, líneas y polígonos.

Modelos de representación

Ofrecen una concepción particular del espacio geográfico y sus atributos.

Curvas de Nivel

Es la representación clásica empleada tradicionalmente en los mapas de papel. Se recoge la elevación de una serie de curvas que marca los puntos en los que dicha elevación es múltiplo de una cierta cantidad (la equidistancia).

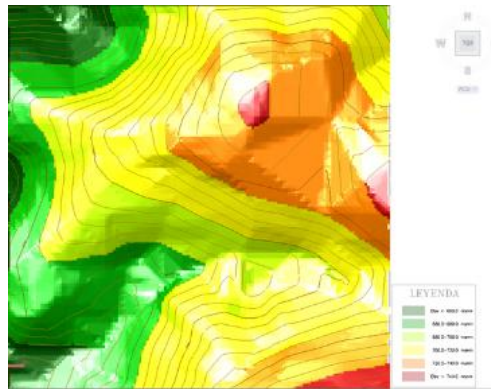


Imagen 43. Curvas de Nivel. Fuente: imagen tomada de Internet.

Conjunto de líneas (red de carreteras)

Para un mismo tipo de información existen diversas alternativas en cuanto a la forma de materializar la realidad.



Imagen 44. Red de carreteras México. Fuente: imagen tomada de Internet.

Éstas las podemos clasificar en dos grupos principales:

- Ráster
- Vectorial

Modelo Ráster

Consta de una matriz de celdas o píxeles organizados en filas y en columnas (o una cuadrícula), en la cual cada celda contiene un valor que representa información, por ejemplo, la temperatura. Los modelos Ráster en un SIG generan archivos muy voluminosos, por ello, todos los sistemas poseen técnicas de compresión de datos para facilitar el almacenamiento de éstos.



Imagen 45. Imagen Sentinel 2-A,
Municipio de Tepeojuma.



Imagen 46. Zoom Imagen
Sentinel 2- A.

Modelo Vectorial

Para la descripción de los objetos geográficos se utilizan vectores, con una notación explícita por medio de coordenadas que se corresponden con el/los punto/s que definen espacialmente cada una de las entidades, a las cuales se asocian sus atributos temáticos. Los diferentes objetos se representan como punto, línea y polígono.



Punto



Línea



Polígono

Con estos elementos se puede moldear el espacio geográfico si se asocia a estas geometrías una serie de valores definidos (Del Bosque y Fernández, 2012, p. 39).

3.3. Programas utilizados para la investigación

3.3.1. ERDAS IMAGINE 2014

Es una de las principales soluciones de Software para el tratamiento de imágenes de satélite. Se trata de una *suite* de herramientas que combina la capacidad de tratamiento de imágenes con capacidades SIG, posibilitando la creación de datos geoespaciales a partir de la extracción de imágenes. Asimismo, cuenta con una variada gama de herramientas principalmente enfocada en la extracción e interpretación de la información.

Sus principales capacidades son las siguientes:

- Análisis de imágenes, teledetección y GIS.
- Soporte para óptica, pancromática, multiespectral e imágenes hiperespectrales.
- Interfaz de cinta fácil de usar.
- Modelado espacial con Ráster, vector y nube de puntos.
- Preparación del terreno y mosaicos de alto rendimiento.
- Principales formatos de archivo: Geo TIFF, NITF, CADRD, JPEG, JPEG2000, ECW y MrSID.
- Servicio de cartografía web (WMS)

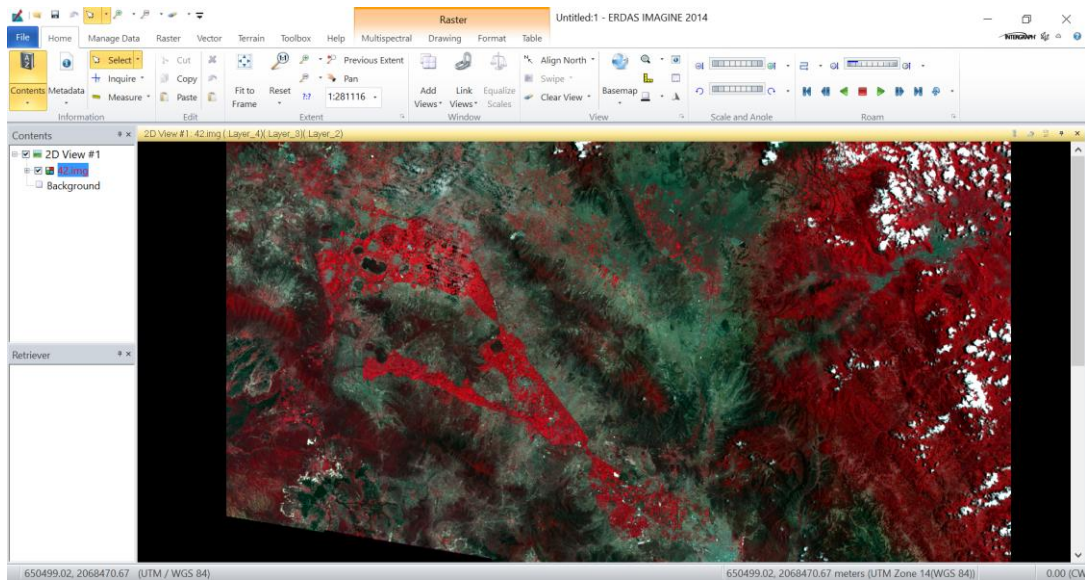


Imagen 47. Interfaz ERDAS IMAGINE 2014.

3.3.2. ArcGis

Es un sistema de información geográfica, el cual posee una interfaz gráfica de usuario, además es de manejo sencillo y posibilita la carga con facilidad de datos espaciales y tabulares para ser mostrados en forma de mapas, tablas y gráficos. También provee las herramientas necesarias para consultar y analizar los datos, además de exponer los resultados como mapas con calidad de presentación.

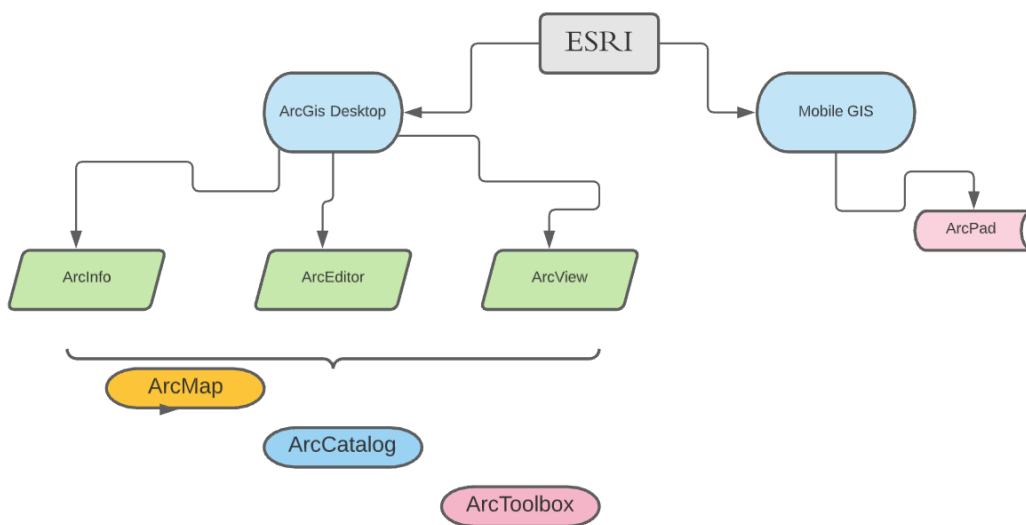


Imagen 48. ESRI

ESRI

Es una empresa estadounidense, la cual se fundó en el año 1969. En la actualidad, es líder mundial en el desarrollo y en la comercialización de software especializado en Sistemas de Información Geográfica. SIGSA es el distribuidor exclusivo de ESRI en México.

ArcGis Desktop

Está Integrada por los productos de SIG de la casa ESRI, que incluye ArcView, ArcEditor, ArcInfo. Éstos comparten la misma interfaz y, por ende, trabajan de la misma manera. La diferencia radica en la funcionalidad de cada uno de sus productos.

ArcInfo

Posee más de 100 herramientas válidas para trabajar cualquier formato vectorial de los soportados por ArcGis, además de aproximadamente 50 herramientas específicas para formato de cobertura. Dispone de funcionalidades de conversión de datos a otros formatos y sistemas de proyección, así como la funcionalidad aportada por el entorno de comandos.

ArcEditor

Diseñado principalmente para crear editar geodatabase. Se puede crear y modificar las bases de datos y los esquemas de base de datos para ficheros shape, coberturas, geodatabase personales y corporativas.

ArcView

Incorpora funciones avanzadas de visualización, análisis, consulta de datos, así como la capacidad de crear y editar datos geográficos y alfanuméricos.

ArcMap

Permite realizar mapas a partir de capas o datos geoespaciales, elegir colores y simbología, interrogar a las bases de datos, analizar relaciones espaciales y diseñar mapas o salidas impresas.

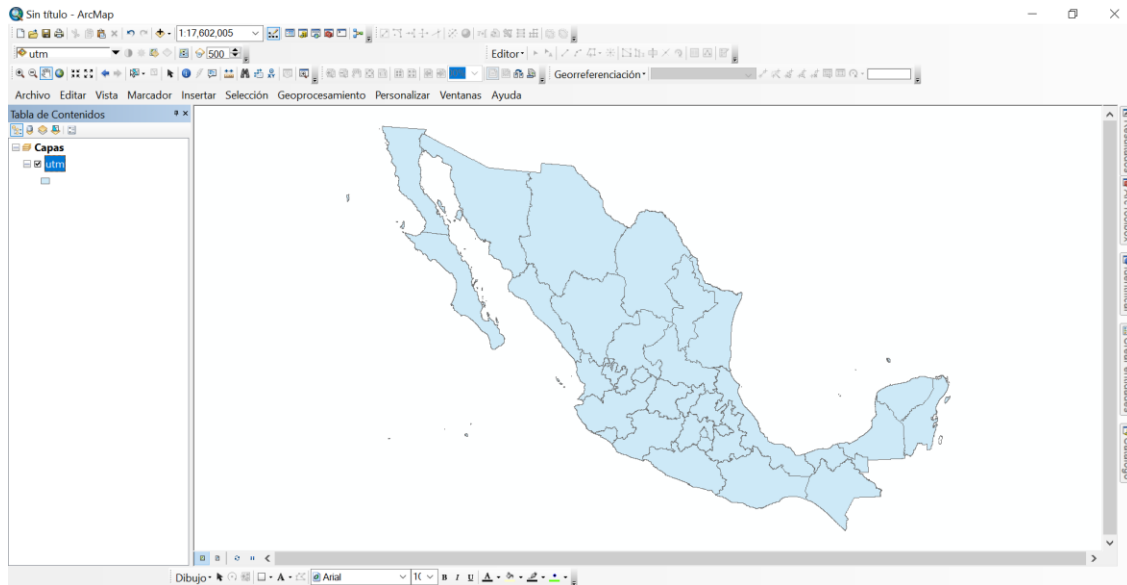


Imagen 49. Interfaz de ArcMap.

ArcCatalog

Permite manipular y acceder a la información geográfica de un modo fácil.

Se pueden agregar al catálogo las conexiones de la información geográfica con las cuales se está trabajando; también es posible conectar los folders con los discos locales, además de compartir los folders y las bases de datos disponibles en la red de trabajo.

ArcToolbox

Permite convertir los datos espaciales de un formato a otro, así como introducir un sistema de referencia o cambiar proyecciones de los datos. Las herramientas se encuentran organizadas temáticamente y permite realizar dichas funciones de forma sencilla.

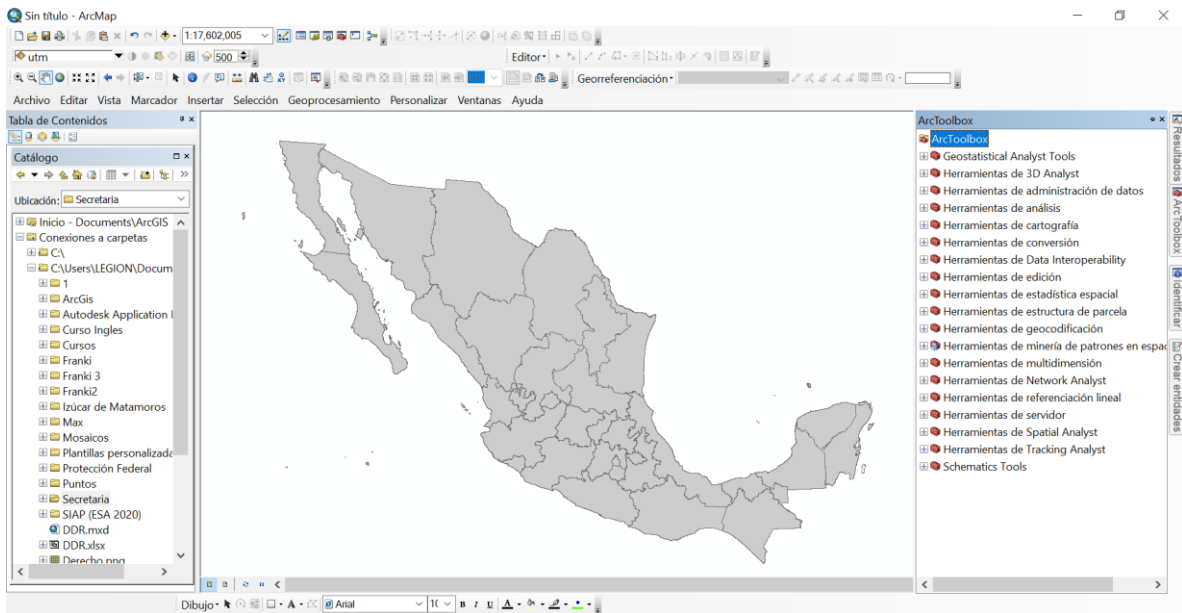


Imagen 50. ArcCatálogo y ArcToolbox.

ArcPad

Es un sistema de información geográfico y de mapeo portátil. El programa se compone de la integración de cuatro tecnologías: SIG, un equipo liviano, el sistema de posicionamiento global (GPS) y una comunicación inalámbrica. ArcPad proporciona acceso a la base de datos, mapeo, SIG y la integración del GPS a los usuarios de campo. La recopilación de información es eficiente.

3.3.3. QGIS 2.18.0

Trata con información espacial en una computadora. Se pueden abrir mapas digitales, crear nueva información espacial para añadir a un mapa, crear mapas impresos y personalizados a las necesidades, así como trabajar análisis espacial. QGIS está bajo una licencia liberal que permite copiar, modificar y redistribuir datos libremente.

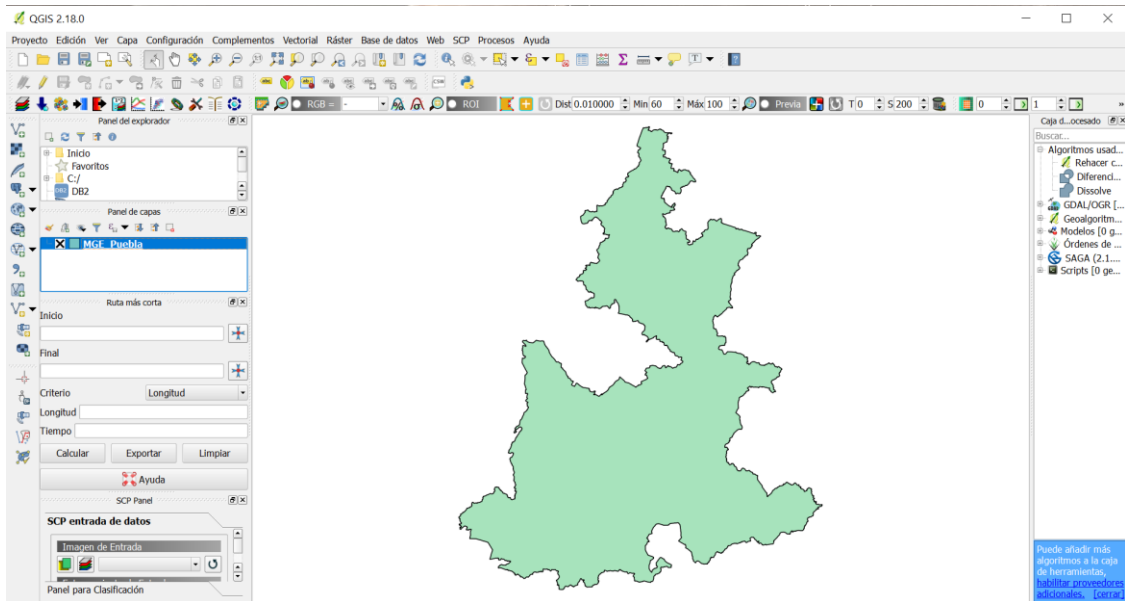


Imagen 51. Interfaz de QGIS 2.18.0

La plataforma de ERDAS IMAGINE es utilizada para el procesamiento de imágenes de satélite, mientras que ArcGis y QGIS son para la generación vectorial.

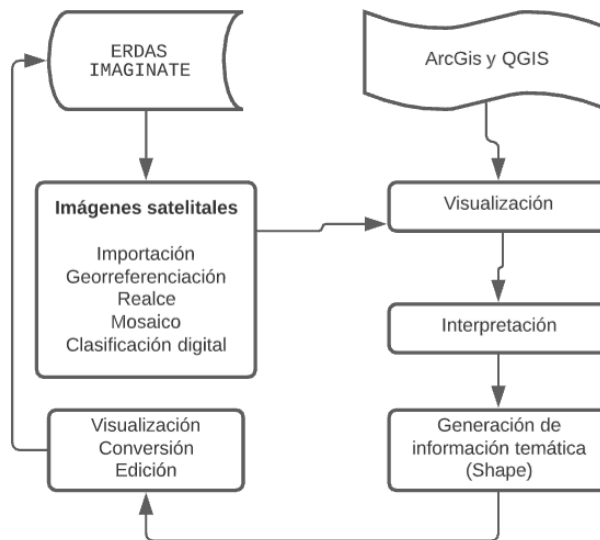


Imagen 52. Erdas y ArcGis

CAPÍTULO IV. ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES AGRÍCOLAS

El procesamiento digital es el conjunto de métodos y técnicas orientado en la manipulación y el análisis de las imágenes digitales; su mejoramiento, la transformación y la clasificación temática, con el fin de generar información útil sobre objetos, fenómenos y áreas, sin estar en contacto directo con ellos, para mejorar la obtención de conocimientos. ERDAS IMAGINATE es un software apropiado para el procesamiento del sistema de análisis de imágenes.

Una imagen digital consta de una composición de elementos pictóricos denominados píxeles, éstos se encuentran organizados en filas y columnas. Cada uno está asociado con un número denominado “nivel digital”, el cual representa la intensidad de un área mínima relativa dentro de la escena (Posada, 2012).

El parámetro cartográfico de toda la información a utilizar, así como el resultado final (archivos Ráster y Shapefile) será en proyección UTM, zona 14 con Datum WGS84.

4.1. Puntos previos a la estimación

La información de la superficie terrestre que se obtiene mediante sensores remotos puede ser utilizada tras la interpretación y análisis de imágenes, lo cual consiste en extraer información a partir de datos recolectados; involucra la identificación o medida de objetos observables en las imágenes (Posada, 2012).

La interpretación y el análisis de imagen puede ser definido como la “técnica de examinar las imágenes, con el fin de identificar objetos y extraer información”. El análisis de imágenes estudia los datos de sensores remotos e intenta, a través de procesos lógicos, llevar a cabo la detección, identificación, clasificación y evaluación de la información de los objetos naturales.

Las imágenes de satélite ofrecen un escenario visual que permite analizar geoespacialmente una porción de la superficie de la Tierra en un momento determinado.

En un primer punto, se debe conocer que en el ciclo agrícola que se va a estimar, las fechas de siembra se aproximan de acuerdo con la información histórica; para este caso será el periodo de Primavera–Verano 2020, el cual abarca los meses de marzo a septiembre. Por ello, se debe considerar que los 217 municipios poseen producción de granos básicos y que no todos los cultivos tienen la misma temporalidad, debido a las condiciones de variabilidad climática, a la orografía y la edafología.

Se debe conocer qué productos agrícolas son los que predominan por regiones y en qué zonas existen superficies de riego. Para poder obtener un panorama más claro sobre cómo resultará la estimación, se deben tomar en cuenta los datos que proporciona El Servicio Meteorológico Nacional en su sección “Monitor de sequía de México”, la cual da a conocer la intensidad de la sequía que se presenta en la República Mexicana; asimismo, esta información se puede filtrar por Estado (cada 15 días se actualiza). Con el análisis de estos datos será considerar si las fechas de siembra se atrasaron o si habrá un bajo rendimiento de producción.

Como dato sobresaliente, cabe mencionar que en los recorridos de campo existen problemas con las fechas de siembra; esto puede ocurrir, sobre todo, con los cultivos que se encuentran con el método de producción temporal, pues el atraso de las lluvias provoca un descontrol total sobre una fecha exacta.

Con el fin de obtener información más confiable y certera, es recomendable generar unidades de trabajo, es decir, que la superficie sea entre 10 y 20 municipios, un aproximado de 30 a 40 puntos. Para llevar a cabo una mejor estrategia de trabajo podemos tomar como base el CADeR (Centro de Apoyo de Desarrollo Rural).

4.1.1. Adquisición base de datos

La base de datos se llevará a cabo con los datos proporcionados por las siguientes instituciones federales:

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera)
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía)
- CONADESUCA (Comité Nacional Para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar)
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural)
- SDR (Secretaría de Desarrollo Rural)
- ERMEX (Estación de Recepción México)
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional)
- SE (Secretaría de Economía)
- SEGALMEX (Seguridad Alimentaria Mexicana)
- Secretaría de Bienestar
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria)
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua)

Información Vectorial:

1. Marco Geoestadístico Nacional, Estatal y Municipal

El Marco Geoestadístico Nacional es un sistema único, diseñado por el INEGI para referenciar correctamente la información estadística de los censos y encuestas con los lugares geográficos correspondientes.

(http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/clasificador/4_cartografia/2.pdf)

2. Frontera Agrícola serie IV

La Frontera Agrícola es el conjunto de terrenos sembrados, más los terrenos que alguna vez fueron sembrados y hoy se encuentran en descanso (suelo para fines agrícolas). La información se divide en polígonos.

3. Padrón Cañero

4.2. Trabajo de campo

La compilación de información de campo consiste en el levantamiento de puntos dirigidos georreferenciados, geofotos (fotografías georreferenciadas) del cultivo de interés y trayecto del recorrido en campo (Manual Estimación de superficies agrícolas 2019, p. 10).

4.2.1. Planeación

El trabajo de campo se programa según las fechas de siembra proporcionadas por los técnicos (Monitoreo SIAP), dependiendo del estado fenológico del cultivo.

El punto se tomará 50 m al interior de la parcela, cada una de éstas debe tener una superficie mayor a 0.50 Hectáreas y se deberán tomar dos fotografías; una a detalle de la planta y la otra panorámica, la cual abarque la mayor superficie del cultivo.

La distancia mínima entre punto y punto será de 1 km. Contar con el equipo necesario será de vital importancia para el buen desarrollo del trabajo de campo (Anexo técnico subproyecto esa, 2018).

4.2.2. Tamaño de muestra

Los cultivos primordiales serán los granos básicos:

- Frijol
- Maíz

- Sorgo
- Perennes
- Representativos de la zona

En las siguientes tablas se expone un número aproximado de muestras a recolectar de cada CADeR (se dará el ejemplo de Libres e Izúcar de Matamoros).

| CADER | Municipios | Frijol | Maíz | Trigo | Perenne | Total |
|--------------|-----------------|--------|------|-------|---------|-------|
| CADeR Libres | Cuyoaco | 3 | 33 | 2 | 7 | 45 |
| | Libres | 3 | 42 | 2 | 8 | 55 |
| | Nopalucan | 7 | 57 | 2 | 10 | 76 |
| | Ocoatepec | 0 | 5 | 0 | 4 | 9 |
| | Oriental | 2 | 21 | 0 | 5 | 28 |
| | San José Chiapa | 5 | 19 | 0 | 7 | 31 |
| | Tepeyahualco | 12 | 48 | 0 | 16 | 76 |
| | | 32 | 225 | 6 | 57 | 320 |

| CADER | Municipios | Maíz | Sorgo | Perenne | Total |
|---------------------|----------------------|------|-------|---------|-------|
| Izúcar de Matamoros | Ahuatlán | 2 | 0 | 2 | 4 |
| | Chietla | 7 | 2 | 1 | 10 |
| | Izúcar de Matamoros | 9 | 2 | 3 | 14 |
| | Huehuetlán el Grande | 3 | 2 | 2 | 7 |
| | Teopantlán | 2 | 0 | 2 | 4 |
| | Tepeojuma | 0 | 2 | 2 | 4 |
| | | 23 | 8 | 12 | 43 |

4.2.3. Resultado

Como resultado se recabaron 1372 puntos y 2744 fotografías a nivel Estatal, en un periodo de 2 meses. Se tomó muestra de granos básicos, perennes y cultivos sobresalientes de cada región, por ejemplo, amaranto, avena, brócoli, caña de azúcar, cebada, cebolla, cilantro, col, flores, espinacas, haba, hortalizas, papa, poro, rábano, sábila y zanahoria.

La muestra principal de los 217 municipios es de 1372 Puntos

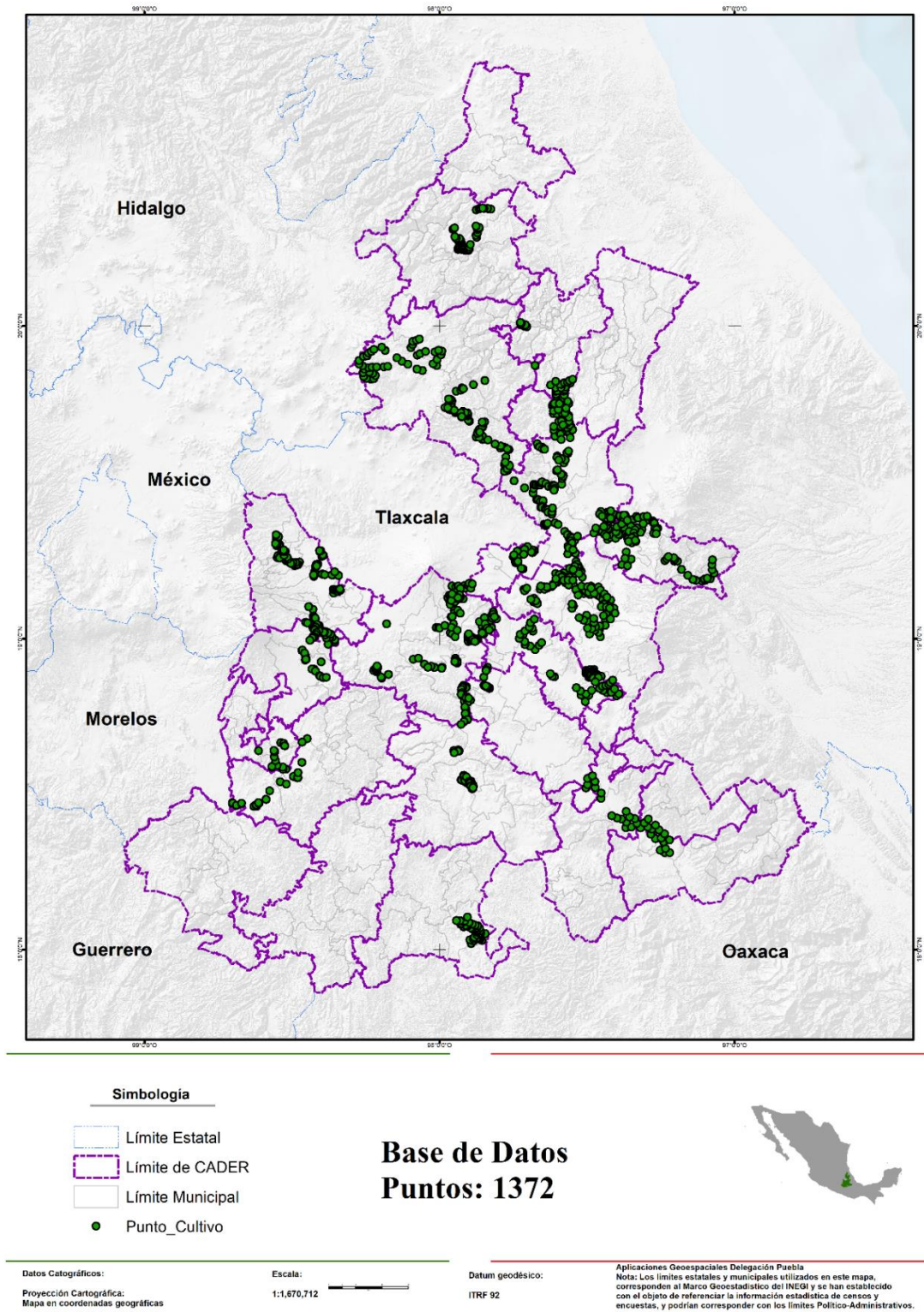
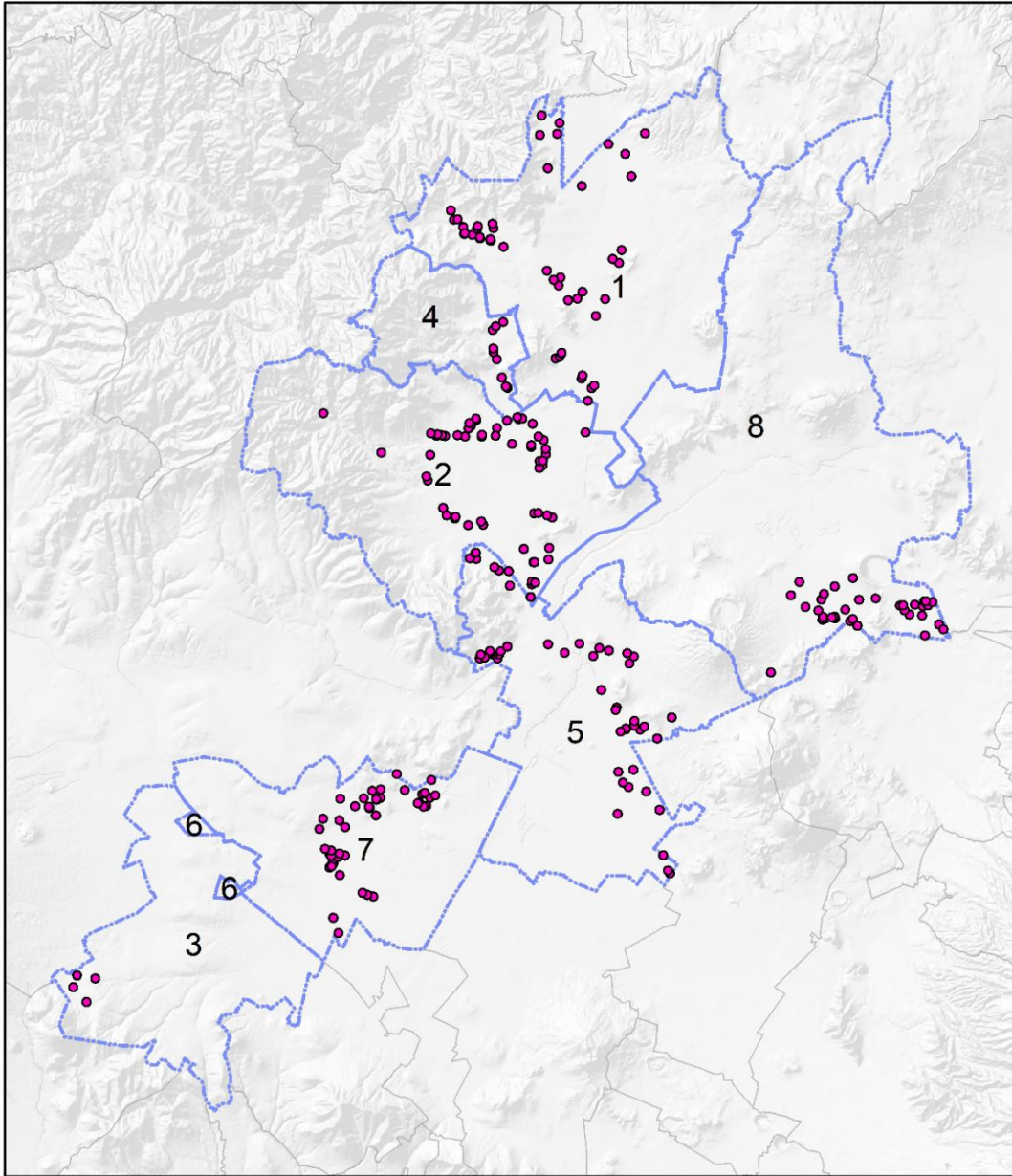


Imagen 53. Muestra de puntos a nivel Estado. Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019).

LIBRES: 258 Puntos



Simbología

| | | | |
|--|--------------|--|-------------------------|
| | 1, Cuyoaco | | 5, Oriental |
| | 2, Libres | | 6, Rafael Lara Grajales |
| | 3, Nopalucan | | 7, San José Chiapa |
| | 4, Ocoatepec | | 8, Tepeyahualco |

**Base de Datos
Libres: 258**

| | |
|--|-------------------|
| | Municipios_Libres |
| | Límite Municipal |
| | Puntos_Libres |



Datos Cartográficos:
Proyección Cartográfica:
Mapa en coordenadas geográficas

Escala:
1:1,670,712

Datum geodésico:
ITRF 92

Aplicaciones Geoespaciales Delegación Puebla
Nota: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico del INEGI y se han establecido con el objeto de referenciar la información estadística de censos y encuestas, y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos.

Imagen 54. Muestra de puntos CADeR Libres. Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019).

IZÚCAR DE MATAMOROS: 65 Puntos

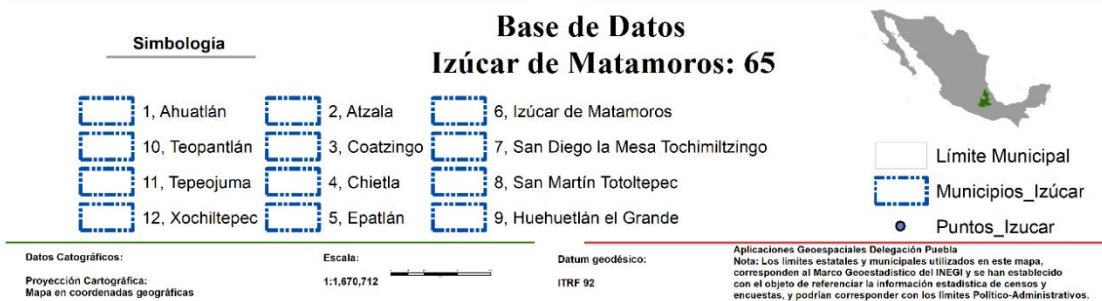
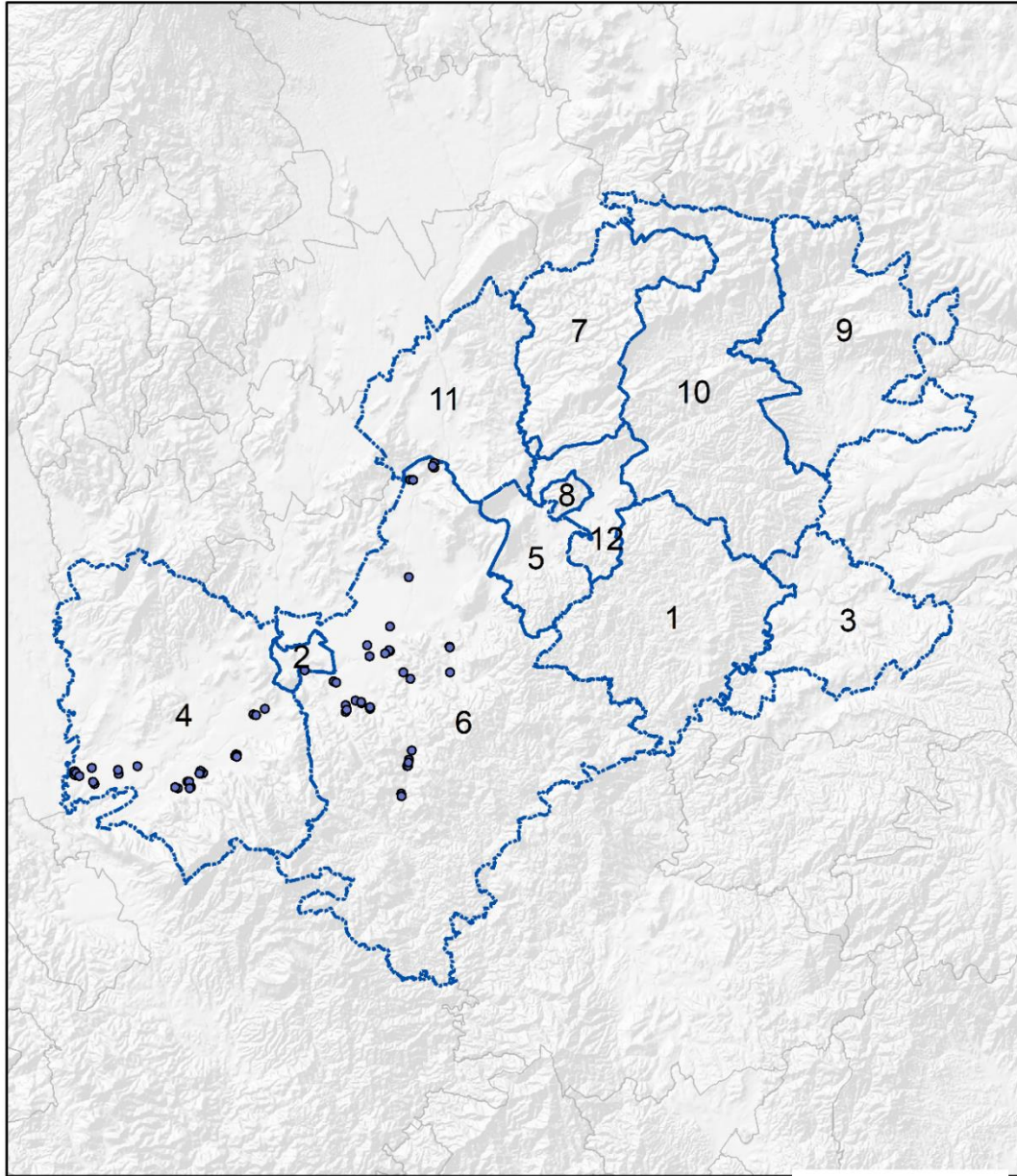


Imagen 55. Muestra de puntos CADeR Izúcar de Matamoros. Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019).

4.3. Adquisición de imágenes para el cubrimiento de zonas de cultivo

Las imágenes obtenidas a partir de plataformas espaciales constituyen una fuente muy importante de información sobre los recursos naturales y del ambiente. El proceso de selección de imágenes remite, de principio, al sensor, el instrumento más adecuado para el estudio. La fecha de adquisición de las imágenes se refiere a la mejor época óptima para su captura, que la elección de imágenes con fechas inadecuadas no es útil. La extracción de información de las imágenes se lleva a cabo de manera previa al procesamiento de la clasificación, que utiliza el método visual. La interpretación visual se basa en el conocimiento del intérprete. Las imágenes de satelitales permiten una visión sinóptica de amplias áreas de la superficie terrestre, y con ello una mayor comprensión de la organización espacial y acceso a información que la visión común no alcanza (La Rocca, 2004, p 24).

La selección de las imágenes requiere establecer la época óptima de adquisición de éstas. Por este motivo, se analizó cada región (CADeR):

- Coberturas vegetales y estado fenológico aproximado (fechas de siembra).
- Porcentaje de ocupación.

Los criterios que se utilizaron para la selección son los siguientes:

- A. Fecha de adquisición.
- B. Nubosidad inferior al 20% en frontera agrícola.

4.3.1. SENTINEL

Es necesario ingresar al servidor que se encuentra mediante la liga <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, para realizar la búsqueda. Ahí, se desplegará una ventana en la cual aparecerá un planisferio que se puede moldear hasta encontrar la zona de interés.



Imagen 56. Sitio oficial Copernicus. Fuente: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Así, se buscará la zona a descargar y se aplicará un filtro seleccionando el periodo y el tipo de sensor.

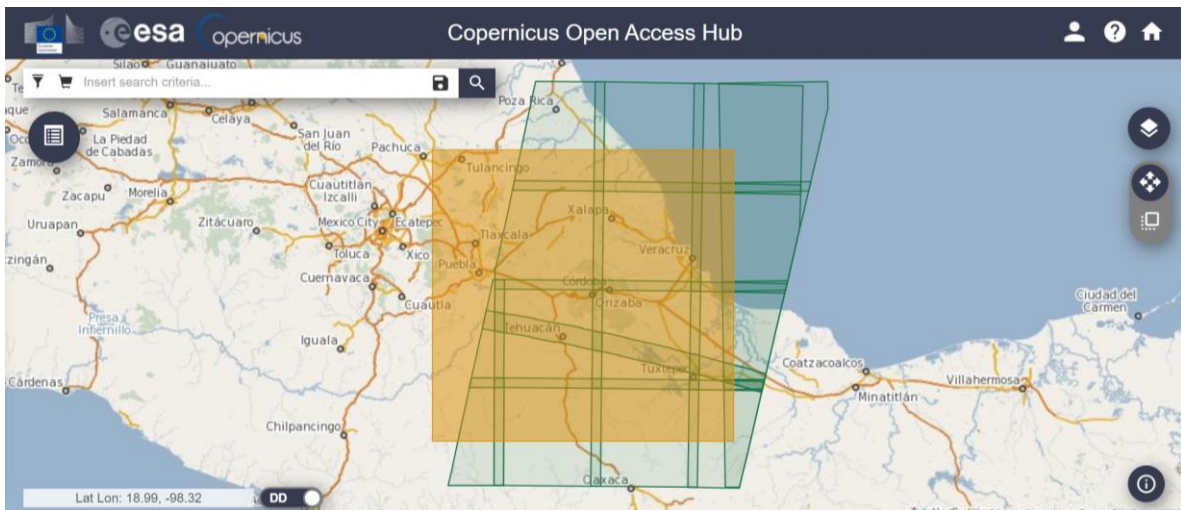


Imagen 57. Grilla de imágenes. Fuente: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Así, se desplegará un catálogo de imágenes disponibles en la zona especificada. Para este ciclo agrícola la búsqueda se realizó con fecha en los meses de julio y agosto, se hará una selección de imágenes por zonas que tengan un porcentaje de nubosidad menor al 20%, se hará una vista previa a la imagen y se verificará que posea rasgos de que ya existen superficies cultivadas.

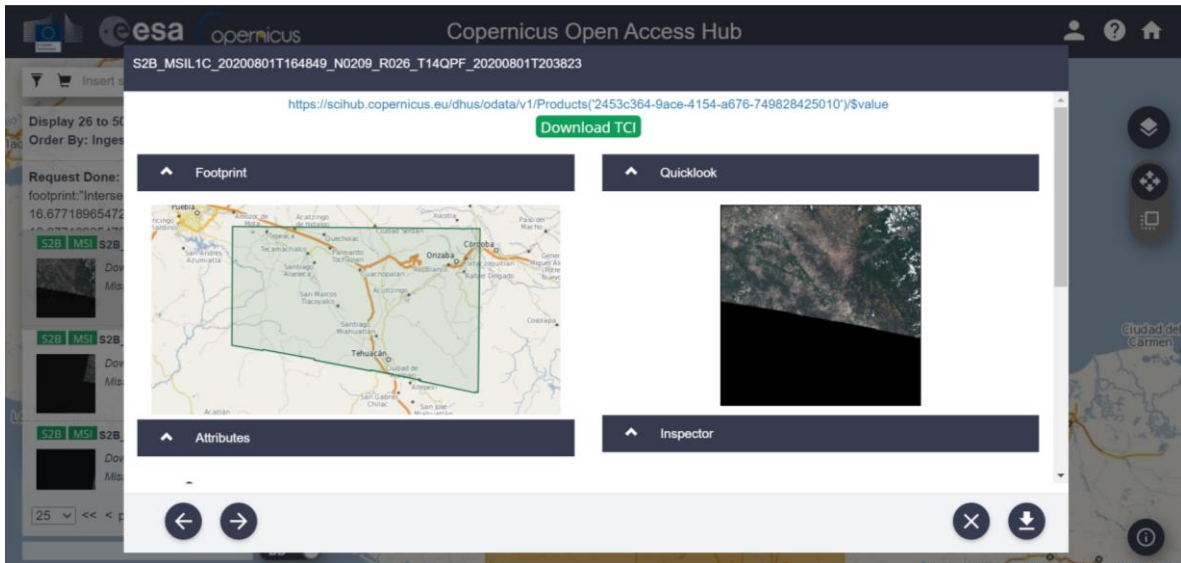


Imagen 58. Vista previa Imagen Sentinel 2-A. Fuente: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

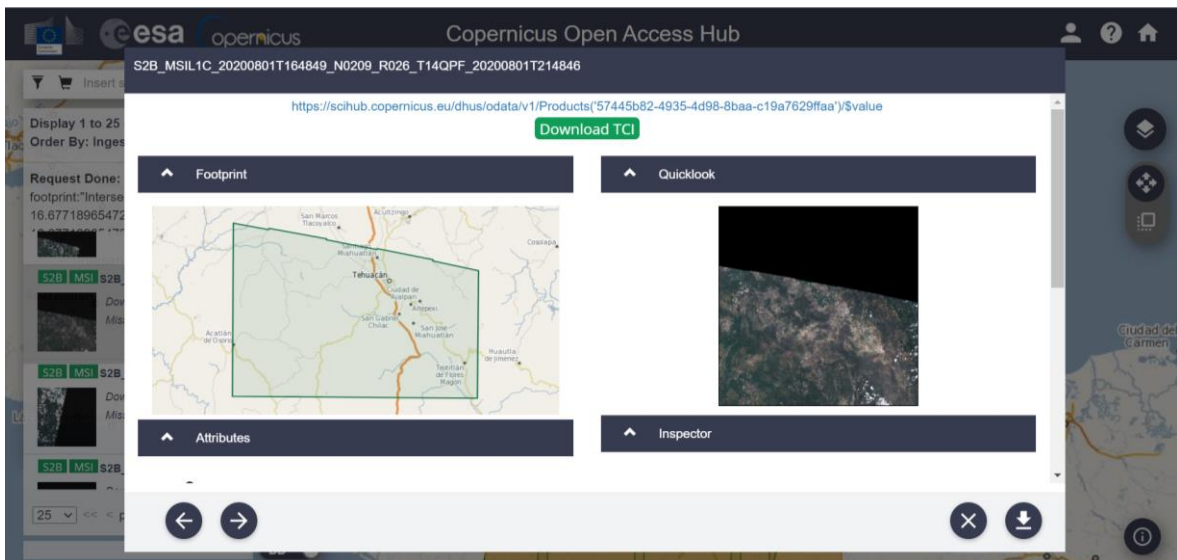



Imagen 59. Vista previa Imagen Sentinel 2-A. Fuente: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Cada carpeta descargada contiene una porción de escena (bandas); la unión de estas escenas generará un mosaico con todas las bandas que integran una imagen Sentinel.

La imagen que se descarga viene completa, conformada por varios gránulos que poseen un tamaño de archivo, considerablemente grande (2.29 GB), por lo que el

tiempo de descarga varía entre 8 y 15 horas. Las bandas se encuentran comprimidas en una estructura de carpetas en donde se alojan los metadatos.

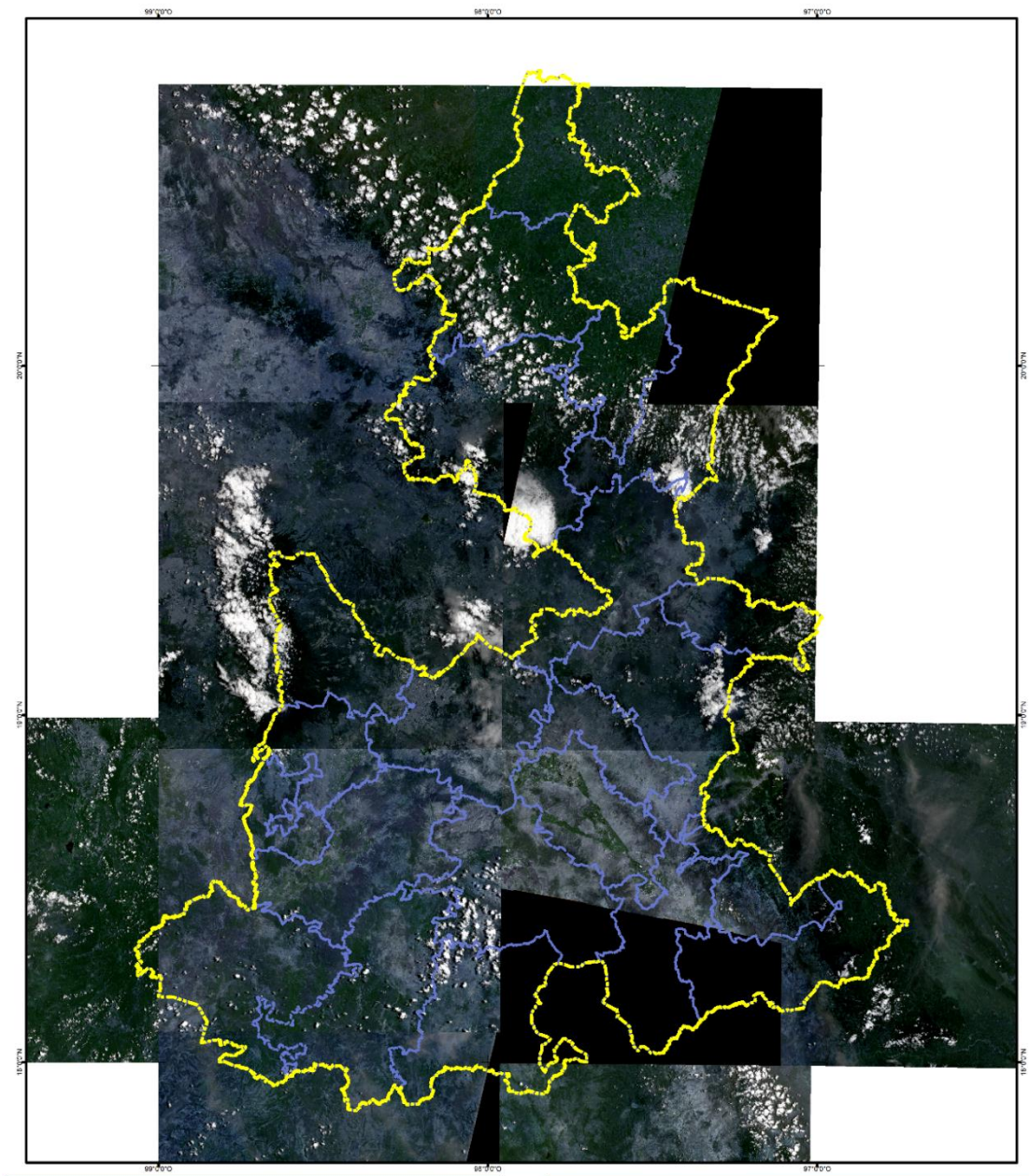
Significado de la nomenclatura de carpeta descargada:

 S2A_MSIL1C_20200730T165901_N0209_R069_T14QNF_20200730T220406

- S2A = Misión Sentinel 2
 - MSI = Indica el instrumento de operación (Multiespectral)
 - L1C = Nivel procesado del producto (Procesamiento nivel 1 con algunas correcciones básicas: radiométrica, geométrica)
 - 2020 = Año de creación
 - 07 = Mes
 - 30 = Día
 - T165901 = Tiempo de creación hora, minutos y segundos
 - N0209 = Número de órbita
 - T14QNF = Número de grilla
- 20200730T220406 = Año, mes, día y tiempo de creación (hora, minutos y segundos). [https://www.geomatica.pe/blog/descargar-sentinel-2-level-1-y-level-2-con-esa-copernicus#:~:text=Nivel%2D1%3A%20Es%20la%20data,de%20la%20Atm%C3%B3sfera%20\(TOA\).](https://www.geomatica.pe/blog/descargar-sentinel-2-level-1-y-level-2-con-esa-copernicus#:~:text=Nivel%2D1%3A%20Es%20la%20data,de%20la%20Atm%C3%B3sfera%20(TOA).)

Un total de 36 escenas se descargaron, de las cuales solo 12 han sido necesarias para cubrir el total de CADeR con los que cuenta el Estado de Puebla.

Cubrimiento formado por imágenes Sentinel 2-A



Simbología

- Límite de CADER
- MGE_Puebla

Cobertura de imágenes Sentinel 2-A



Datos Cartográficos:
Proyección Cartográfica:
Mapa en coordenadas geográficas

Escala:
1:1,670,712

Datum geodésico:
ITRF 92

Aplicaciones Geoespaciales Delegación Puebla
Nota: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoespacial del INEGI y se han establecido con el objeto de referenciar la información estadística de censos y encuestas, y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos.

Imagen 60. Cobertura Estatal de imágenes Sentinel 2-A. Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019).

Como se podrá notar, hay espacios en donde la imagen no cubre la superficie para solucionar ese tipo de inconvenientes, por ello, será necesario revisar las imágenes SPOT. Se debe considerar que, de la imagen satelital, independientemente de que sea SPOT o SENTINEL, solo se utilizará la zona agrícola (Frontera Agrícola).

Por ejemplo, se posee un CADeR con 12 municipios, nueve son cubiertos por imágenes Sentinel, tres tienen problemas de nubosidad, por lo tanto, no hay rastros de superficies cultivadas en esas fechas; como primera solución, se cubriría esa necesidad con imágenes Spot si continuara persistiendo el problema.

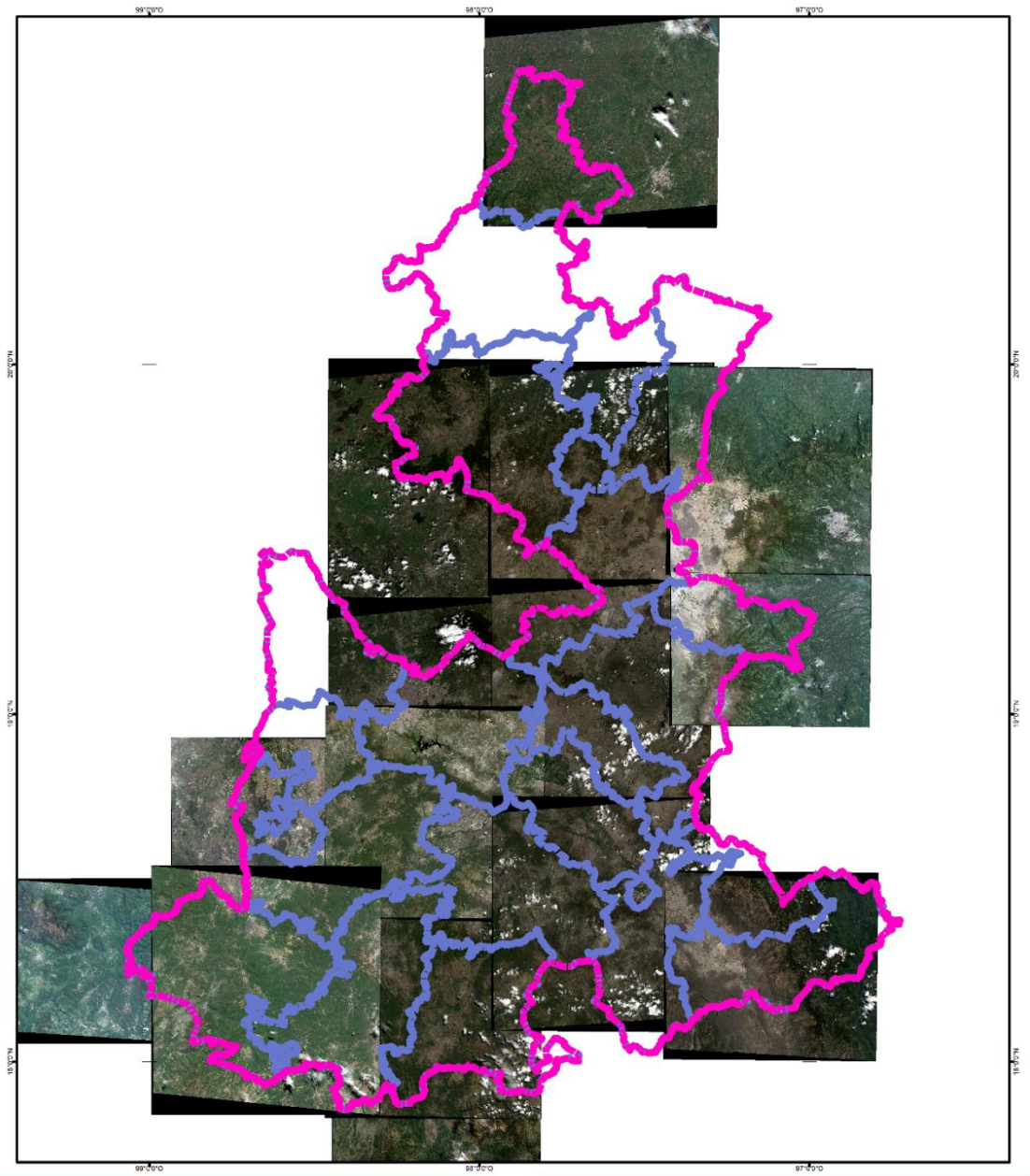
Asimismo, se buscarán nuevas imágenes que cubran esos tres municipios, las cuales cumplan con las características requeridas para la estimación y, por consiguiente, solo se realizará el recorte de esos tres municipios. De este modo, se hará la estimación por separado de los nueve municipios que salieron en el primer mosaico y la segunda etapa se llevará a cabo solo con los municipios restantes.

4.3.2. SPOT

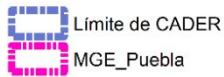
La solicitud de imágenes de satélite la realizará el SIAP ante la antena de ERMEX, con las siguientes características:

- SPOT 6
- Porcentaje de nubosidad menor al 10%

Cubrimiento formado por imágenes SPOT 6



Simbología



Cobertura de imágenes Spot 6



Datos Cartográficos:
Proyección Cartográfica:
Mapa en coordenadas geográficas

Escala:
1:1,670,712

Datum geodésico:
ITRF 92

Aplicaciones Geoespaciales Delegación Puebla
Nota: Los límites estatales y municipales utilizados en este mapa, corresponden al Marco Geoestadístico del INEGI y se han establecido con el objeto de referenciar la información estadística de censos y encuestas, y podrían corresponder con los límites Político-Administrativos.

Imagen 61. Cobertura Estatal imágenes Spot 6. Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019).

4.4. Procesamiento de imágenes

4.4.1. Unión de bandas

Las imágenes multispectrales disponen de varias bandas en donde se almacena información de diversas regiones. La combinación de bandas nos permite analizar elementos específicos de la superficie de la tierra, para este caso en específico, será la agricultura.

La unión de bandas se realizó con el módulo “Spectral” de Erdas Imagine 2014. Así, las bandas a utilizar serán: B_02 (Azul), B_03 (Verde), B_04 (Rojo) y B_08 (Infrarrojo), las cuales cuentan con una resolución de 10m.

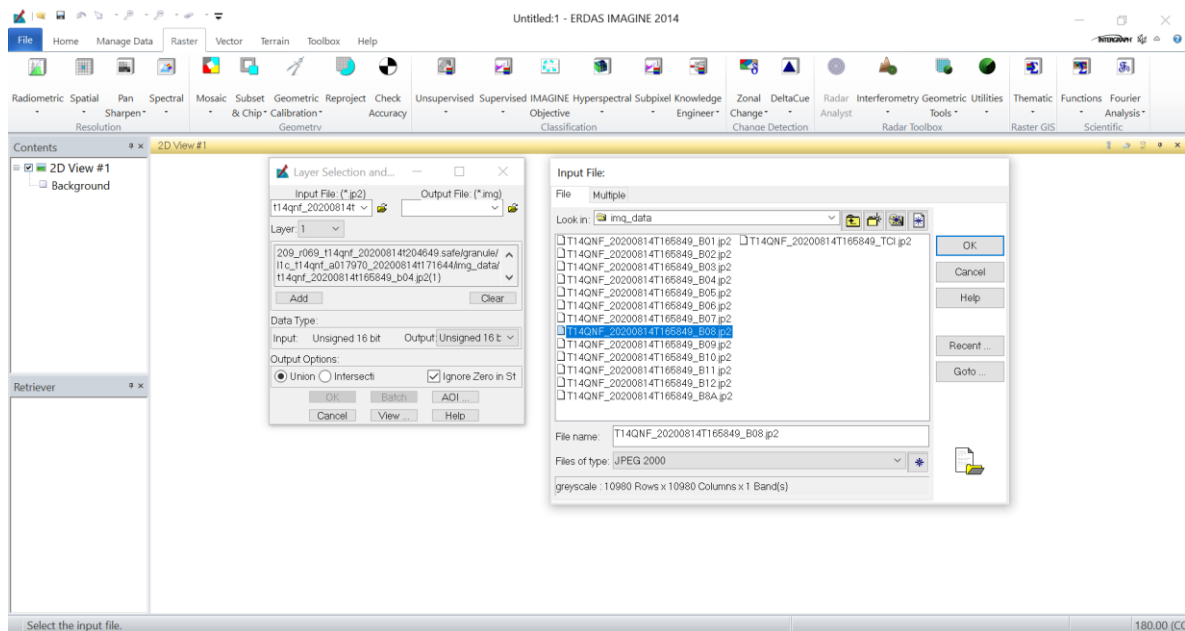


Imagen 62. Erdas, combinación de bandas. Fuente: Espinosa. J. (2020).

Una vez terminado el proceso, se observará una sola imagen que es producto de la unión de varias bandas. El proceso se realizará con todas y cada una de las imágenes Sentinel descargadas.

4.4.2. Generación de mosaicos

Se deben crear áreas o zonas para un proceso de clasificación eficiente. Para este caso, se tomará como referencia la segmentación o división que tiene SADER (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural). Así, 8 DDR (Distritos) y 22 CADeR (Centro de Apoyo al Desarrollo Rural) conforman el Estado de Puebla.

Las unidades de trabajo serán llamados Mosaicos, es decir, que son la unión de dos o más imágenes. Por ello, se deben considerar algunas características:

- Que las imágenes sean del mismo sensor.
- Imágenes de la misma temporalidad.
- Deben contar con el mismo número y ancho de bandas.

La generación de mosaicos se realizó con el módulo “MosaicPro” de Erdas Imagine 2014. Así, se seleccionarán las imágenes que cuenten con el menor porcentaje de nubosidad, con el fin de obtener una imagen con mayor claridad, la cual facilite los siguientes procesos.

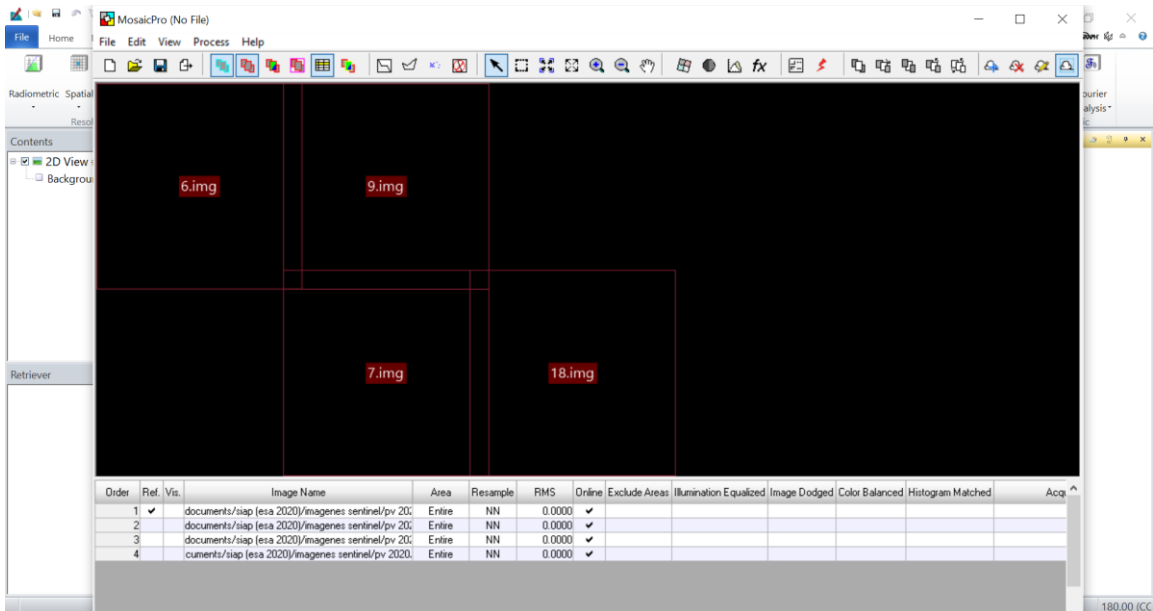


Imagen 63. Erdas. Elaboración Mosaico.

Las capas (imágenes) pueden ser reorganizadas de tal manera que en la parte superior queden las de mejor calidad.

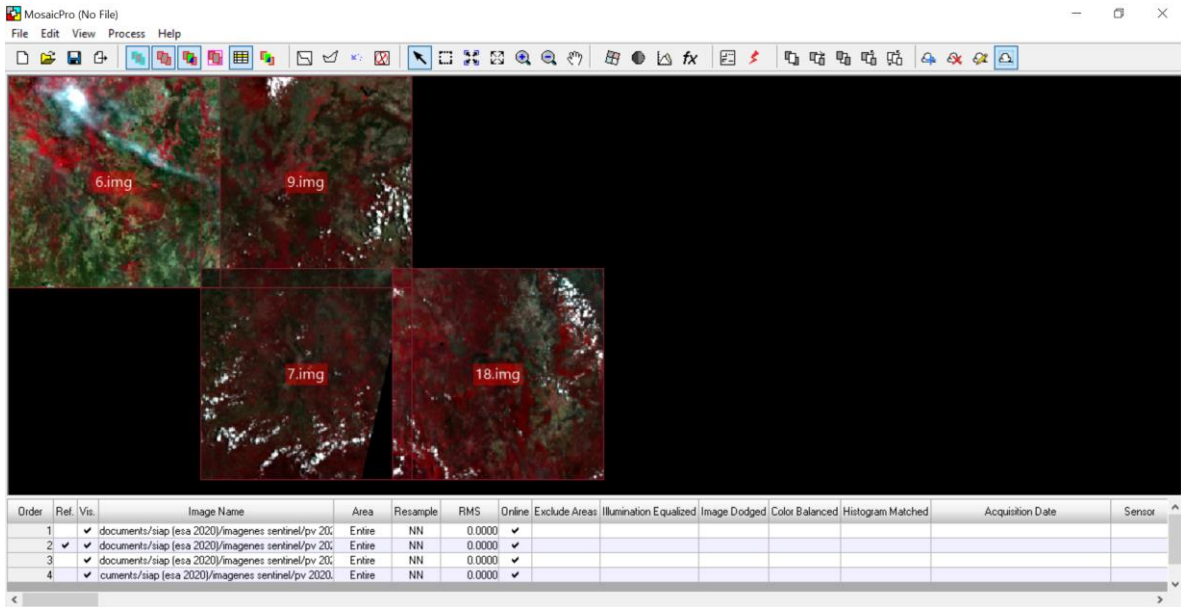


Imagen 64. Erdas. Elaboración Mosaico.

El fin de crear un mosaico es obtener un archivo que contenga la unión de varias imágenes y, como resultado, éste constituya un solo archivo Ráster que cubra una determinada área de trabajo.

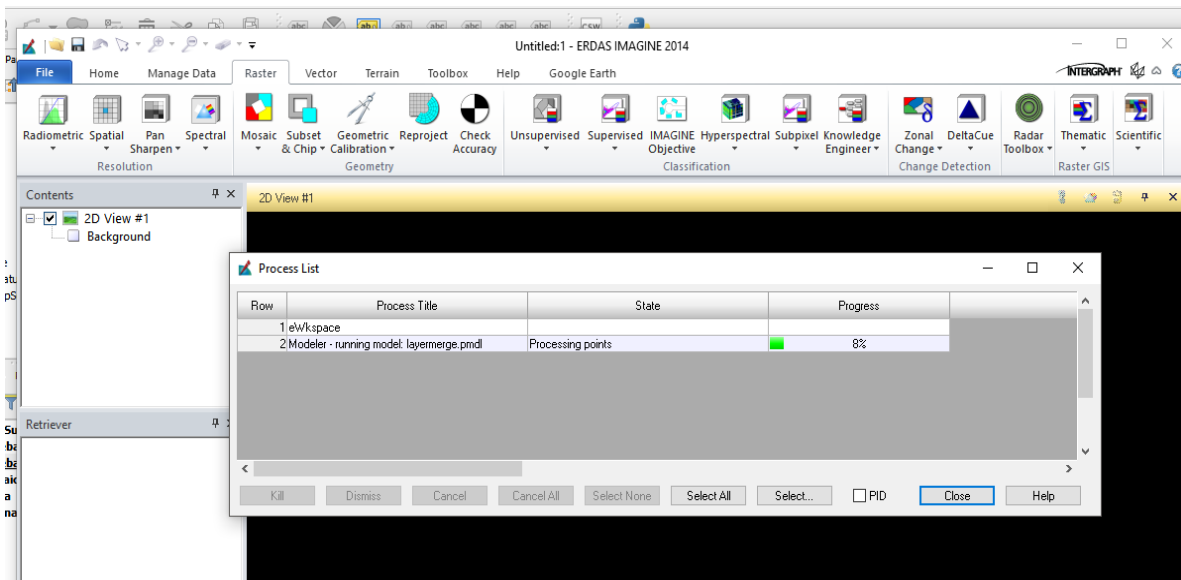


Imagen 65. Proceso Erdas Mosaico.

4.4.3. Recorte de imágenes a nivel CADeR

El área recortada debe ser representativa de la superficie de estudio. Las secciones a trabajar serán por CADeR, las cuales van de cinco hasta doce municipios; solo cuando existan problemas de nubosidad o retraso en siembras, el recorte se realizará municipio por municipio.

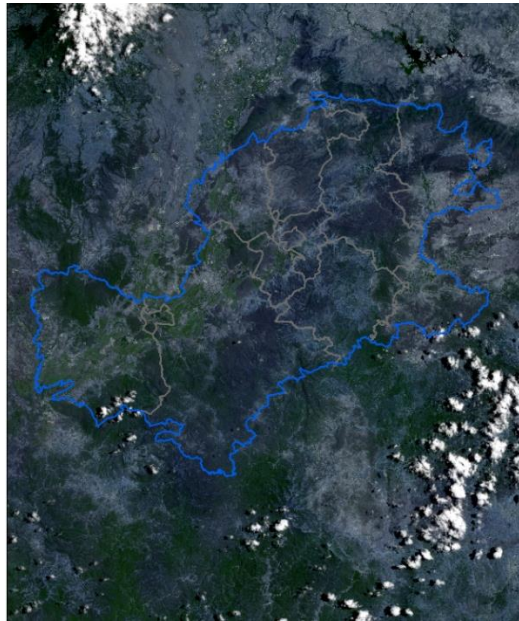


Imagen 66. Archivo Ráster y capa vectorial, vista previa al recorte.

Una manera de agilizar el proceso será utilizando el programa Qgis 2.18, Las Palmas (Herramienta Clipper).

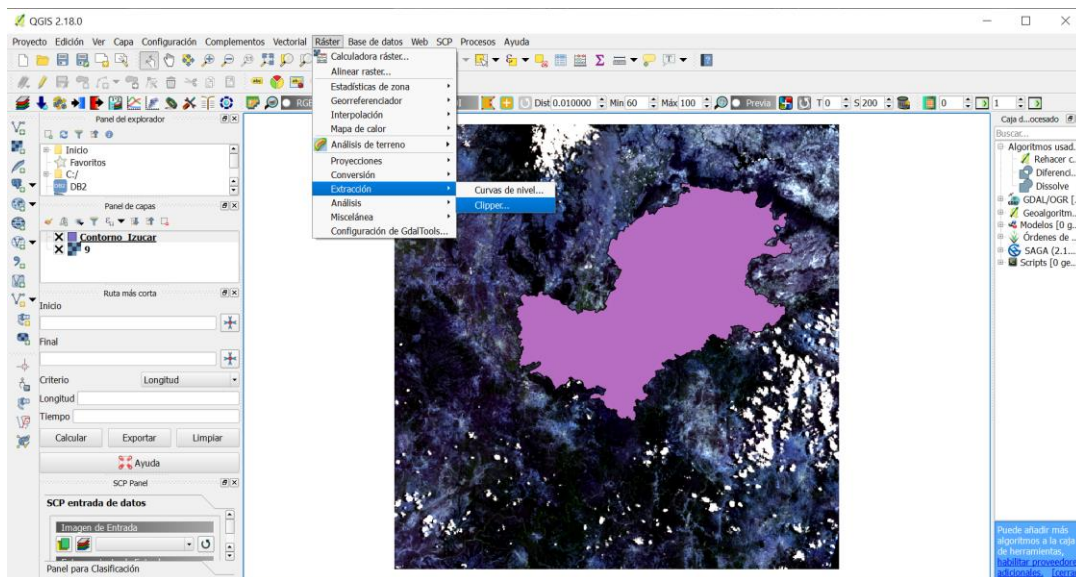


Imagen 67. Qgis Recorte a nivel CADeR (Archivo Ráster con capa vectorial).

En la imagen anterior se representa la capa Ráster (Mosaico) y la capa vectorial (Shapefile).

Resultado de recorte

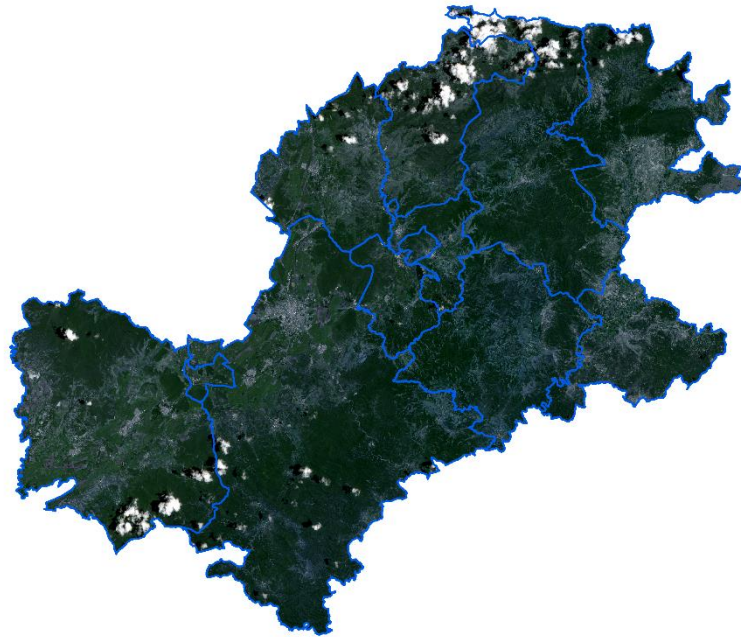


Imagen 68. Recorte final CAdEzR Izúcar de Matamoros

4.4.4. Recorte de áreas a nivel parcela (Frontera Agrícola serie VI)

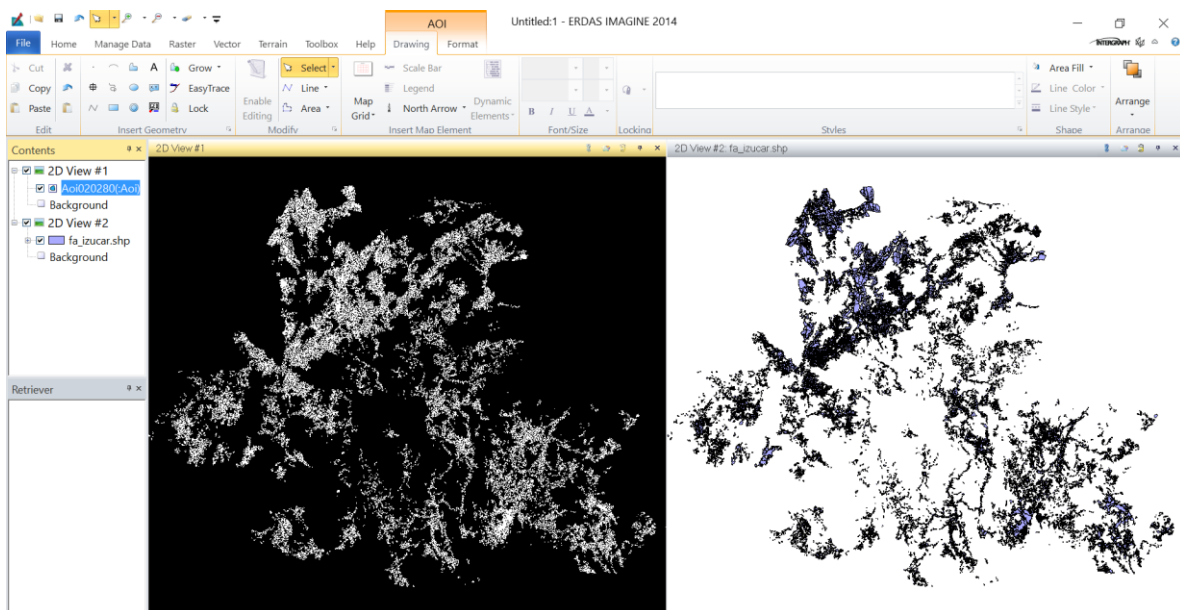
Con el proceso anterior todavía no se puede iniciar la estimación; al archivo Ráster se le deben extraer las áreas que no son de actividad agrícola, es decir, manchas urbanas, cerros o cuerpos de agua.

¿Qué pasaría si el recorte a nivel parcela (Frontera Agrícola) se hiciera con Qgis 2.18? El proceso que realiza el software no es tan preciso, es decir, habrá secciones que no cortará de la imagen, por ejemplo, los caminos saca cosechas. Este software deja esos pequeños polígonos, lo cual podría alterar el resultado final.

El proceso debe ser aún más fino, se requiere hacerlo con más detalle, para ello se cuenta con una capa vectorial llamada FA (Frontera Agrícola) que, como ya se mencionó, solo tendrá polígonos que representan superficies dedicadas a la agricultura de riego, temporal y pastos.

El procedimiento para ejecutar la acción es trabajar con ERDAS IMAGINE 2014.

La capa Shapefile se transformará al formato de origen de Erdas y es la única manera de poder hacer el proceso. Una vez en formato AOI se procede a ejecutar la acción; se debe tomar en cuenta que, como es un recorte a detalle, dependiendo de la superficie y del número de polígonos será el tiempo de tardanza.



Formato AOI

Formato Shapefile

Imagen 69. Erdas formato AOI.

Cuando finalice el proceso se podrá verificar con la capa shapefile que, efectivamente, el recorte se haya realizado de manera correcta. Éste es el último proceso que se le realiza a la imagen para iniciar a generar los campos de entrenamiento.

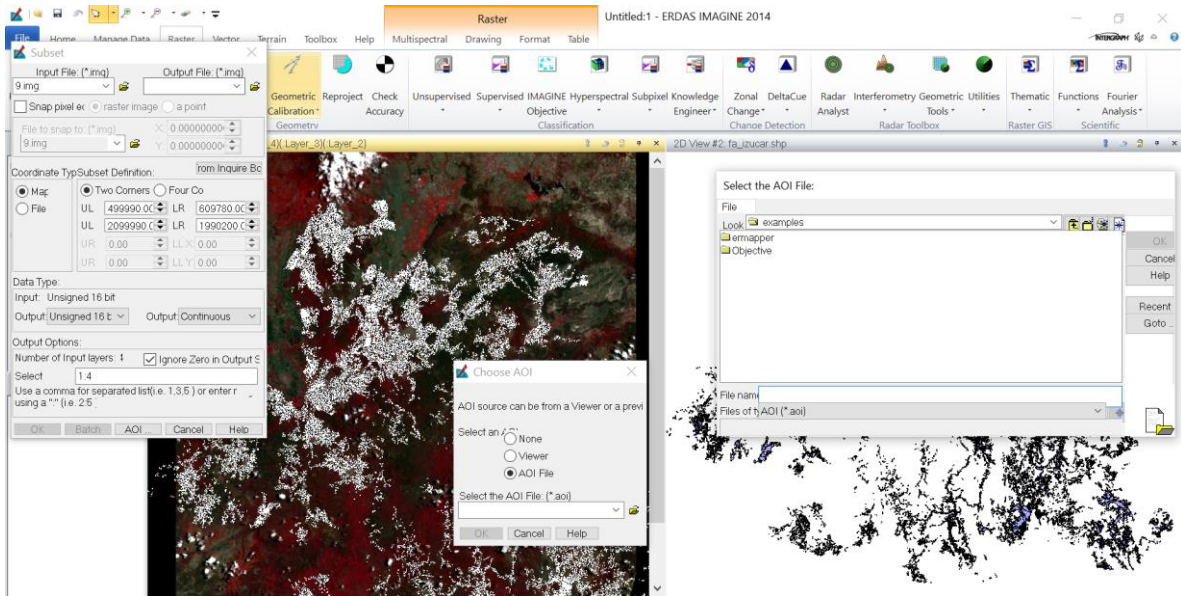


Imagen 70. Erdas, proceso “recorte a nivel parcela”.

Recorte a nivel CADeR (parcelas)

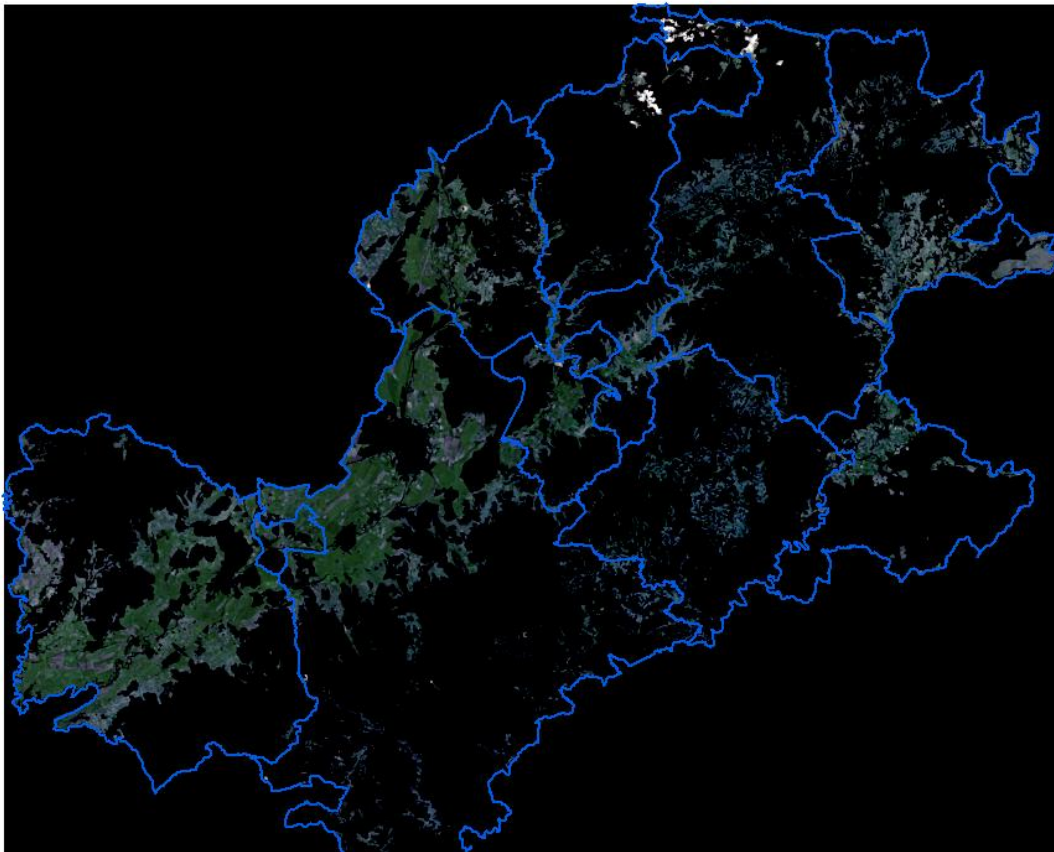


Imagen 71. Recorte nivel CADeR, Izúcar de Matamoros

La combinación de bandas, creación de mosaicos, recorte de éstos y recorte de áreas a nivel parcela es un procedimiento que se realizará con todos y cada uno de los CAdE o municipios para cubrir el 100% del territorio a nivel Estado.

Recorte a nivel municipio (parcelas)

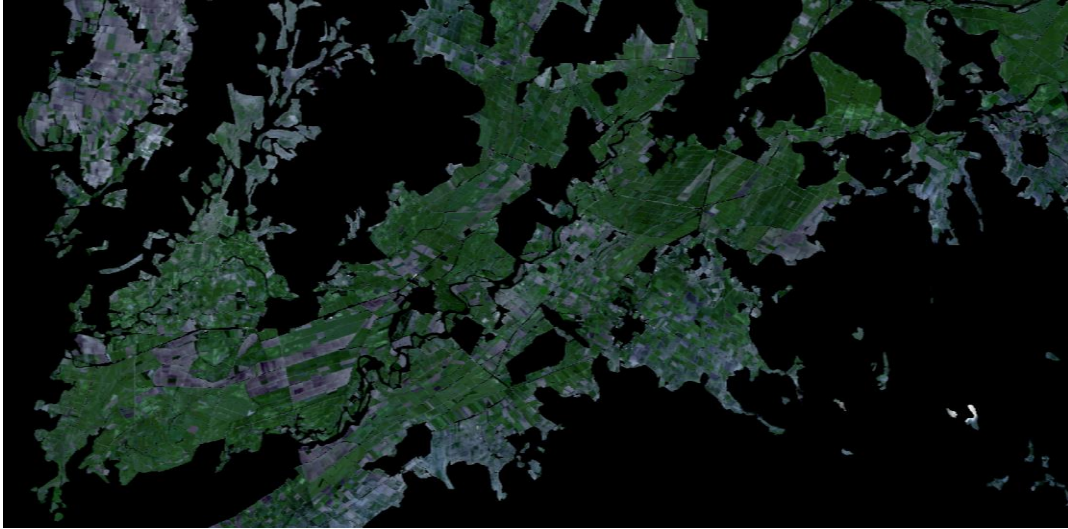


Imagen 72. Recorte nivel municipio.



Imagen 73. Sentinel sin ningún recorte

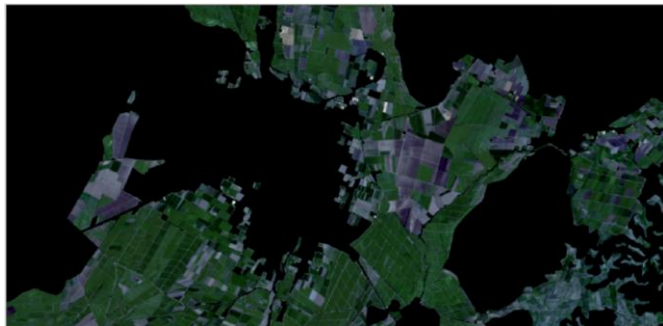


Imagen 74. Recorte de área no agrícola

La clasificación se divide en dos métodos: supervisado y no supervisado. Ello, de acuerdo con la forma en la cual son obtenidas las estadísticas de entrenamiento. Para realizar una clasificación digital es necesario caracterizar los patrones que definen en la imagen las distintas categorías objetivo, por ejemplo, es posible distinguir entre Cítricos y Caña de Azúcar. Debido a que se trata de una clasificación basada en los valores numéricos de los píxeles, la caracterización debe ser numérica también. El objetivo es obtener el ND o, de preferencia, el rango de ND, que identifica cada categoría, para cada una de las bandas que intervienen en la clasificación. Chuvieco (2002) indica lo siguiente:

Las distintas categorías no se definen por un solo ND, si no por el conjunto de ND, más o menos próximos entre sí, en la clasificación, esto supone que existe una cierta dispersión en torno al ND medio en cada categoría, más o menos significativa según las clases que se consideren y a la propia complejidad del paisaje. (Chuvieco, 2002, p. 396 o 377).

4.5. Clasificación Supervisada

La clasificación supervisada es más controlada; se tiene conocimiento previo del terreno y de los tipos de cobertura a través de una combinación de trabajo en campo. En este proceso se seleccionan píxeles que representan patrones que se reconocen o se pueden identificar con la ayuda de otras fuentes, como segmentos o puntos levantados en campo, con el apoyo de equipo GPS y cartografía temática.

Con base en dicho conocimiento pueden definirse y delimitarse las áreas de entrenamiento sobre la imagen las características espectrales de estas áreas son utilizadas para entrenar un algoritmo de clasificación. (Manual, ESA, SIAP 2019, p. 58). La clasificación digital mediante el método supervisado requiere definir un número de categorías y de campos de entrenamiento, así como el orden de importancia. (Manual, ESA, SIAP 2019, p. 58).

4.5.1. Campos de entrenamiento

Un campo de entrenamiento es un conjunto de celdillas de la imagen, utilizado por el sistema para el cálculo de los límites de decisión de la clasificación (Manual ESA, SIAP, 2019, p. 58). Es el aspecto más importante, se requiere un previo conocimiento de las características del área, así como de las categorías (Cultivos predominantes) con base en el trabajo de campo, uso de fotografías y otra información secundaria (padrón cañero, polígonos de cítricos, padrón cafetalero, capas de zonas de riego).

La fase de los campos de entrenamiento se vuelve compleja debido a que trata de definir de manera rigurosa cada categoría a discriminar considerando su propia variabilidad en la zona de estudio. Para ello es seleccionada una muestra de pixeles de la imagen, ésta debe representar las categorías de interés (Chuvieco, 2002).

CADeR de Izúcar de Matamoros está compuesto por 12 municipios, los cultivos predominantes son los siguientes: maíz grano, caña de azúcar, cacahuate y sorgo.

Así, 65 Puntos fueron tomados en cuenta para elaborar los campos de entrenamiento.

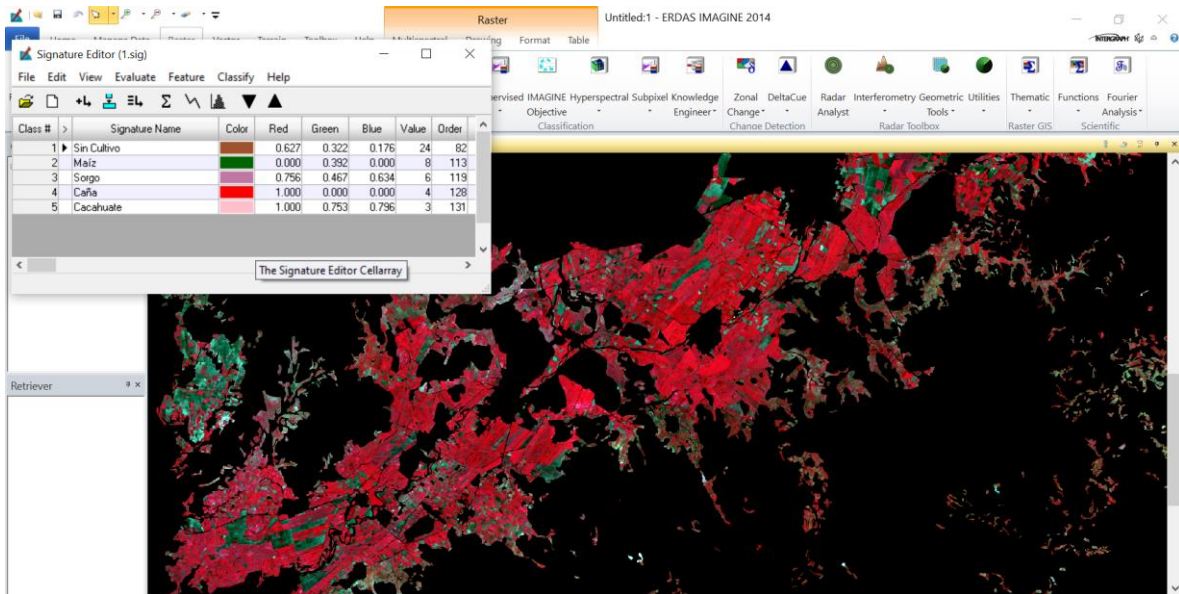


Imagen 75. Erdas, campos de entrenamiento.

Para seleccionar las áreas de entrenamiento, conviene que exista un control de campo suficiente (un conocimiento previo sobre qué cultivos predominan, áreas de riego, áreas temporales, siniestros), también que la fecha coincida con la adquisición de la imagen; para el caso de este CAdE Izúcar de Matamoros en específico, un factor de gran importancia es que se tiene un archivo vectorial (padrón cañero). Así, se tomará en cuenta exclusivamente este tipo de información (.shape). Cuando se tiene la certeza de que existe en el área ese producto agrícola, son éstos los únicos casos en los cuales los campos de entrenamiento pueden ser al libre albedrío, siempre y cuando coincidan con la capa shape.

Se sabe que es raro mas no imposible que los predios de caña desaparezcan; es más factible que se integren nuevos polígonos al padrón cañero y, en consecuencia, la superficie de caña aumente; por eso, la importancia del trabajo de campo en donde se tiene la certeza de que esos polígonos son de caña de azúcar.

4.5.2. Clasificación

Una vez definidos, se realiza la asignación. Consiste en definir los campos de entrenamiento para ser clasificados mediante el siguiente método:

- Máxima Probabilidad

En éste el píxel es asignado a la clase con la cual posee mayor probabilidad de pertenencia. El método de máxima probabilidad considera que los ND de cada clase se ajustan a una distribución normal, lo cual permite describir dicha categoría por una función de probabilidad a partir de su vector de medidas y matriz de varianza-covarianza, es decir, esa función asemeja la distribución real de los ND en esa categoría, por lo cual a partir de ella podemos calcular la probabilidad de que un píxel sea miembro. “El cálculo se realiza para todas las categorías que intervienen en la clasificación, asignando el píxel a aquella que maximice la función de probabilidad” (Chuvienco, 2002, p. 416).

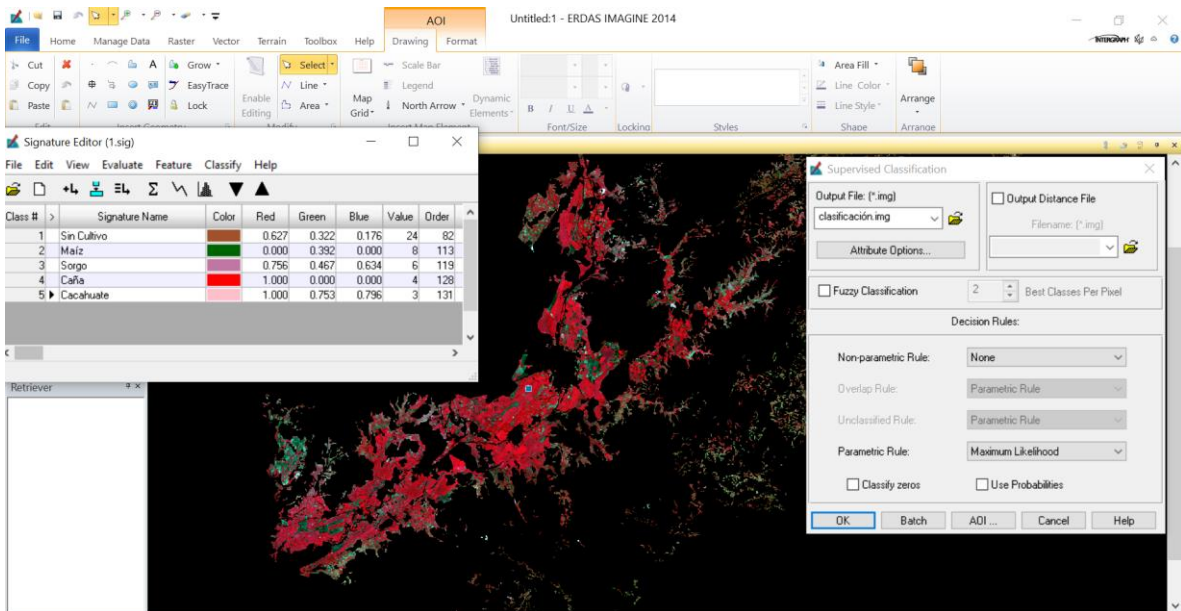


Imagen 76. Erdas, proceso de clasificación.

Se deben realizar varias pruebas de las áreas de interés para lograr la mejor máscara de clasificación, en este caso, para maíz grano, caña de azúcar, sorgo y cacahuate. Aproximadamente, se hicieron 12 pruebas y se seleccionó la que visualmente cumpliera con las zonas de algunos cultivos verificados en campo (se posee conocimiento previo de municipios y regiones en donde predominan algunos cultivos).

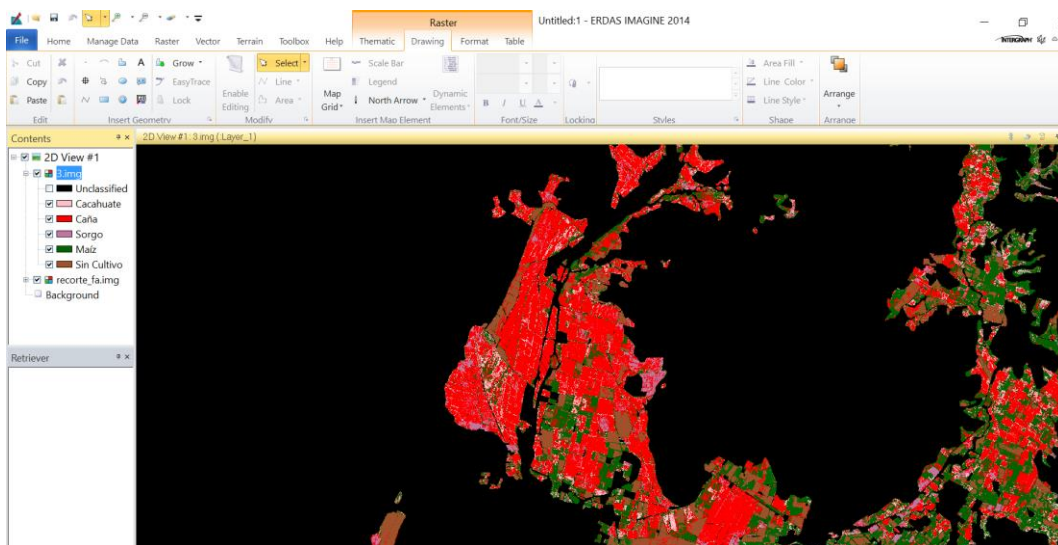


Imagen 77. Erdas, resultado clasificación.

4.6. Pos clasificación

Una vez obtenido el resultado de la clasificación, es de vital importancia continuar con los procesos de depuración (cuando los polígonos no estén bien definidos y que los puntos de campo no coincidan con la clasificación).

4.6.1. Recode

Eliminación de pixeles que se asignaron mal de manera general.

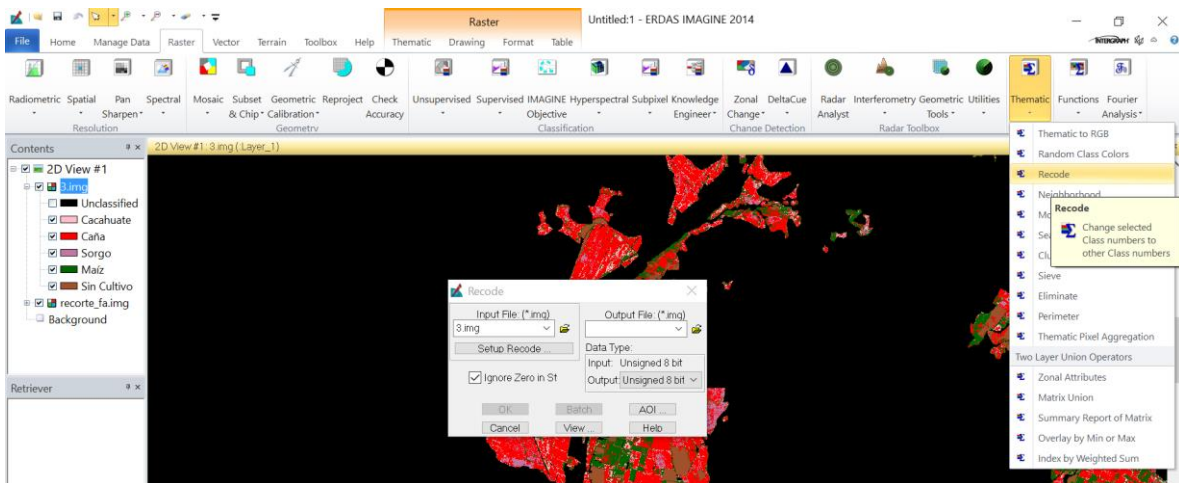


Imagen 78. Erdas Proceso de Recode

4.6.2. Generalización (Neighborhood)

Muchas veces en la clasificación se presentan una serie de pixeles aislados, este filtro es con la finalidad de que las clases absorban los pixeles que se encuentran aislados.

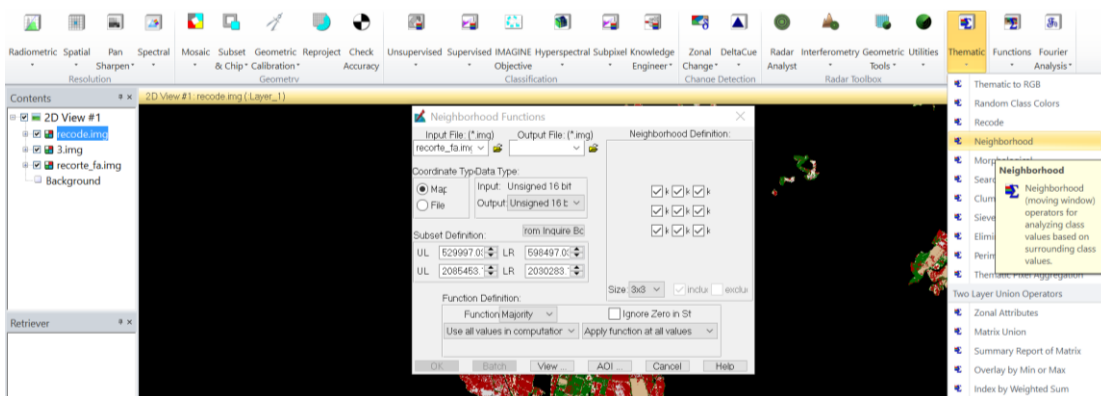
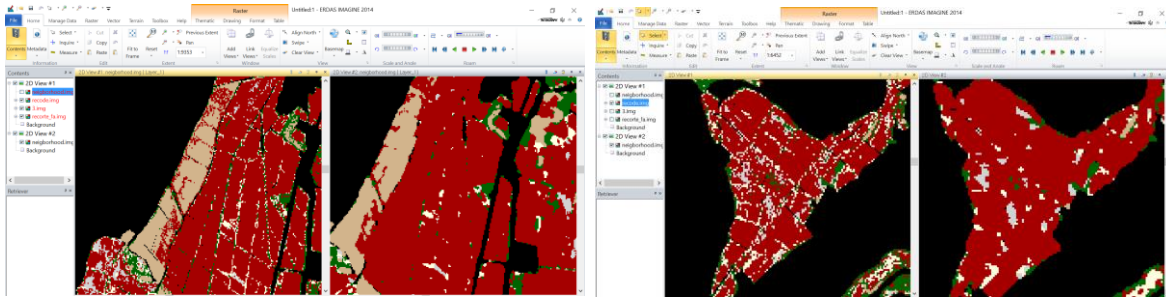


Imagen 79. Erdas proceso neighborhood.

En las siguientes imágenes se muestra la comparativa entre el proceso Recode y Generalización (Neighborhood).



Recode

Neighborhood

Recode

Neighborhood

Imagen 80. Erdas comparación de procesos

4.6.3. Recodificación local (Clump y Eliminate)

Proceso clump: agrupa pixeles vecinos con ND iguales, uniéndolos en una entidad.

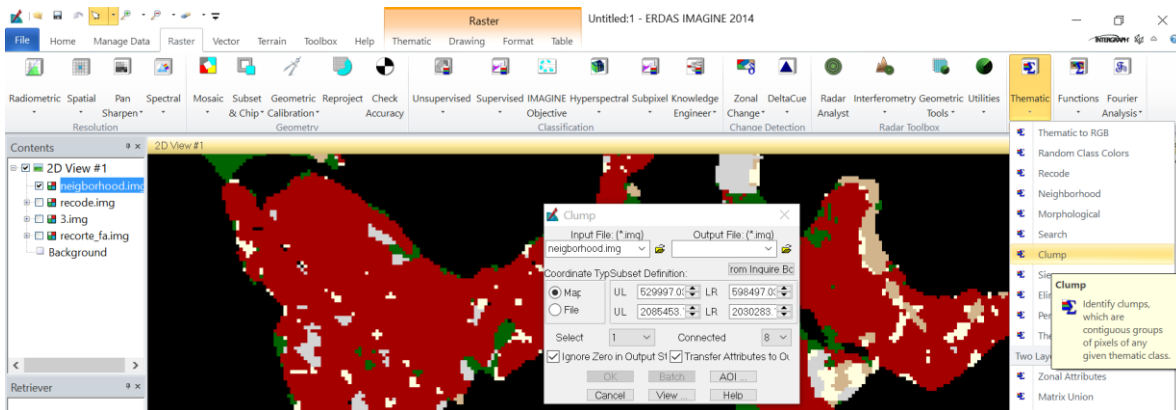


Imagen 81. Erdas proceso clump.

Eliminate: Elimina los polígonos pequeños, uniéndolos a los polígonos más grandes

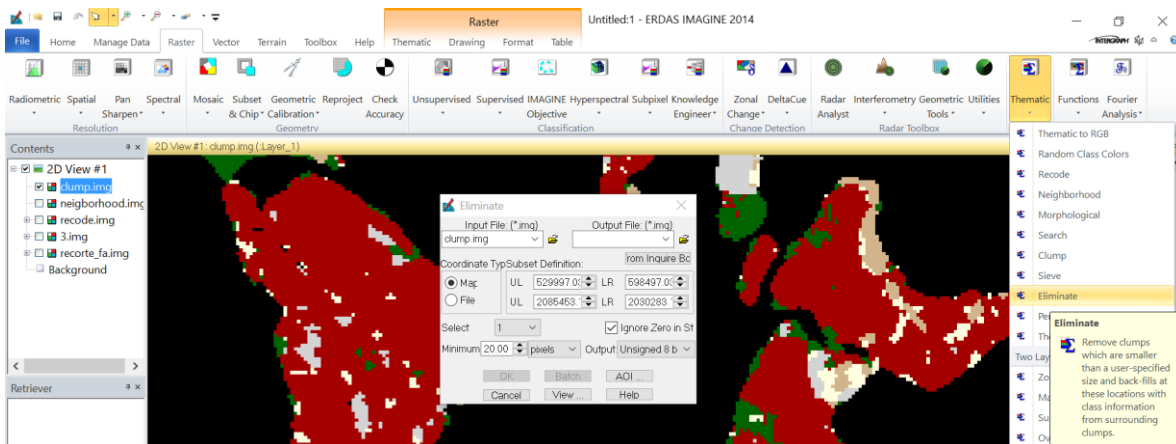
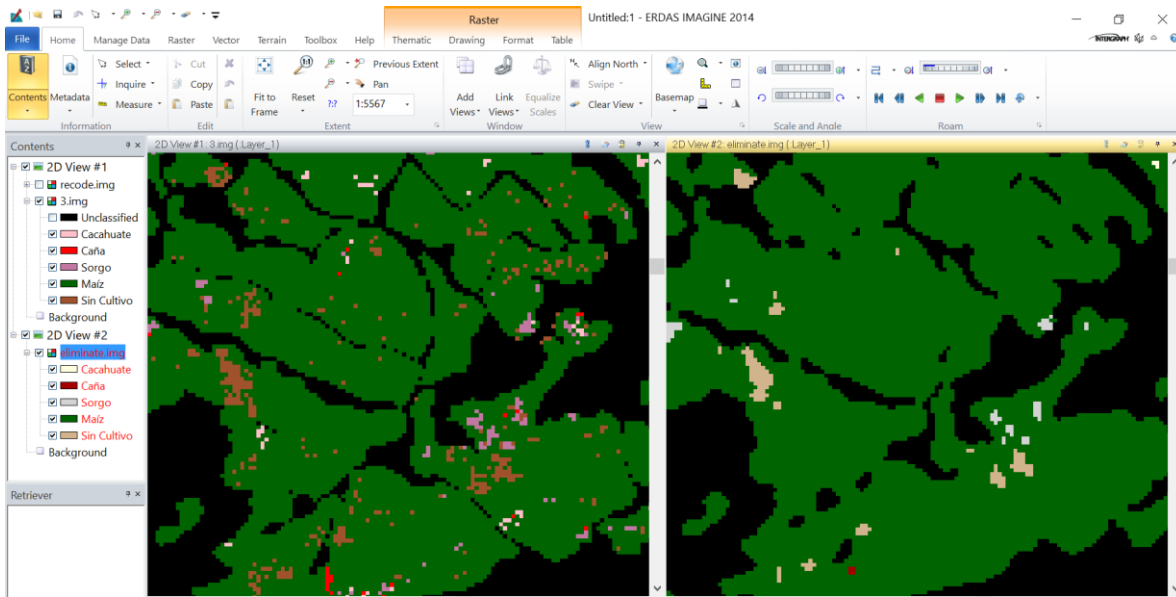


Imagen 82. Erdas, proceso Eliminate.

A continuación, se presenta una comparativa entre el resultado de la clasificación y el último proceso de las posclasificación (Eliminate):



Resultado Clasificación

Eliminate

Imagen 83. Erdas, proceso comparativo.

4.6.4. Cálculo de áreas y porcentaje de las áreas en la clasificación

Una vez terminada la edición, se podrá conocer el área y el porcentaje que corresponde a cada clase temática, así como el cálculo de porcentaje de áreas en una clasificación.

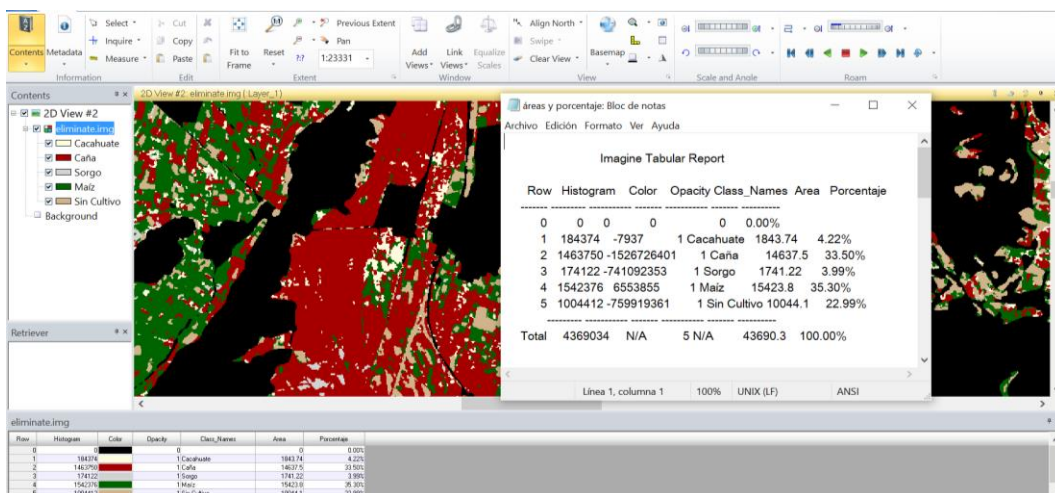


Imagen 84. Erdas, áreas y porcentajes.

4.6.5. Evaluación de la clasificación

El resultado de la clasificación es un mapa temático en donde se registra la ubicación y la distribución de unidades (clases) cartográficas, la cual requiere un nivel de confianza mayor al 90%, respectivamente. La pobre exactitud se relaciona con la complejidad del terreno, el nivel del detalle, así como con la adquisición no apropiada de las imágenes y el levantamiento de campo.

El nivel de confianza de la información se puede realizar mediante datos de campo, mapas existentes, fotografías aéreas y la comparación de firmas espectrales. La matriz de confusión consiste en una matriz en la cual se identifican los errores de omisión y comisión entre las clases de referencia y clases clasificadas. Esto se enlista a continuación y se representa en la Imagen 85, a continuación:

- Primera columna: clases clasificadas.
- Segunda columna: puntos Totales para la clasificación.
- Tercera columna: puntos adquiridos en total.
- Cuarta columna: puntos correctos para la clasificación.
- Quinta columna: porcentaje entre la 4ta y 2da columna.
- Sexta columna: porcentaje entre la 4ta y 3ra columna.

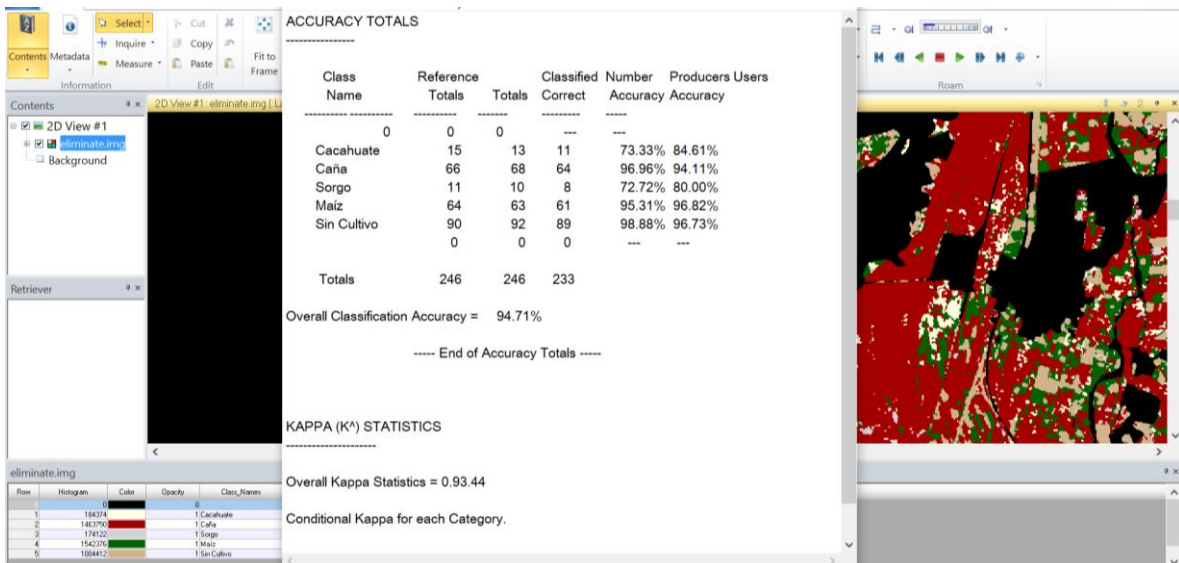


Imagen 85. Erdas Evaluación de clasificación

4.6.6. Archivo Ráster a Vector

Como último proceso con el software ERDAS IMAGINE 2014, el archivo Ráster se convertirá en archivo vectorial (.shapefile).

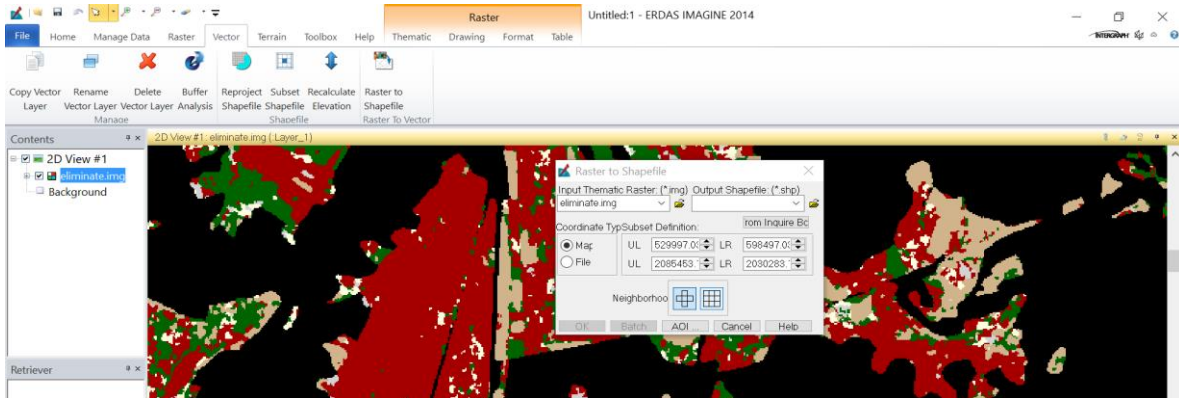


Imagen 86. Erdas de Ráster a shapefile.

El resultado es una nueva capa en donde cada polígono posee atributos. Los resultados obtenidos en la clasificación de cultivos PV-2020 aún deben de ser depurados, es decir, se tendrá que modificar y verificar la tabla de atributos (ortografía, observaciones, nivel de confianza, coincidencia entre nombre del municipio y su clave); después se eliminarán los polígonos más pequeños.

| FID | Shape | CVE_CONCA | CVE_EDO | CVE_MUN | NOM_EDO | NOM_MUN | CULTIVO | SUPESAPV19 | NCONFIANZA | DELEGACION | OBSERVA |
|------|----------|-----------|---------|---------|---------|----------------|-------------|------------|------------|------------|---------|
| 2082 | Poligono | 21064 | 21 | 064 | Puebla | Francisco Z. M | Maíz | 0.77 | 9.2 | Puebla | |
| 2083 | Poligono | 21064 | 21 | 064 | Puebla | Francisco Z. M | Sin Cultivo | 6.96 | 9.2 | Puebla | |
| 2084 | Poligono | 21064 | 21 | 064 | Puebla | Francisco Z. M | Ciltrico | 3.35 | 9.2 | Puebla | |
| 2085 | Poligono | 21064 | 21 | 064 | Puebla | Francisco Z. M | Sin Cultivo | 2.45 | 9.2 | Puebla | |
| 2086 | Poligono | 21064 | 21 | 064 | Puebla | Francisco Z. M | Café | 0.86 | 9.2 | Puebla | |
| 2087 | Poligono | 21064 | 21 | 064 | Puebla | Francisco Z. M | Sin Cultivo | 11.29 | 9.2 | Puebla | |
| 2088 | Poligono | 21064 | 21 | 064 | Puebla | Francisco Z. M | Maíz | 0.43 | 9.2 | Puebla | |
| 2089 | Poligono | 21064 | 21 | 064 | Puebla | Francisco Z. M | Café | 0.87 | 9.2 | Puebla | |
| 2090 | Poligono | 21064 | 21 | 064 | Puebla | Francisco Z. M | Sin Cultivo | 0.45 | 9.2 | Puebla | |

Imagen 87. Erdas de Ráster a shapefile.

La tabla de atributos quedará finalmente como se muestra en la imagen anterior.

CAPÍTULO V. PRODUCTO CARTOGRÁFICO OBTENIDO DE LA ESTIMACIÓN AGRÍCOLA

5.1. Mapa temático

5.1.1. CADER Izúcar de Matamoros

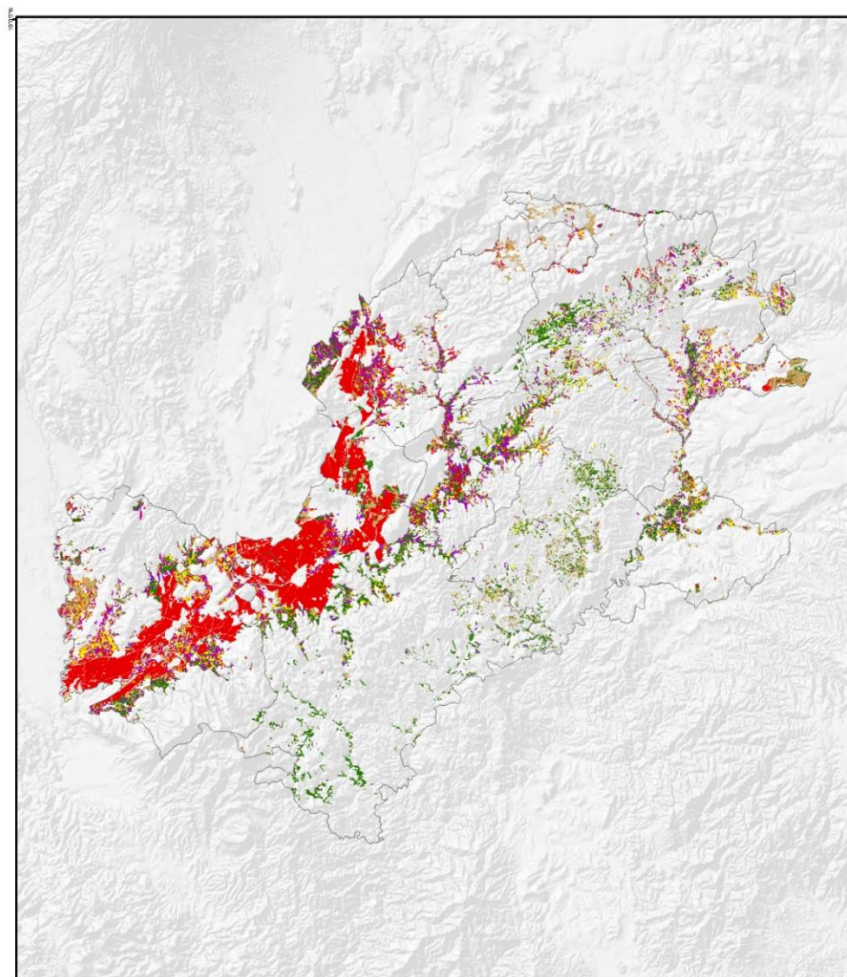


Imagen 88. Mapa Temático CADER Izúcar de Matamoros. Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019).

5.1.2. CAdER Libres

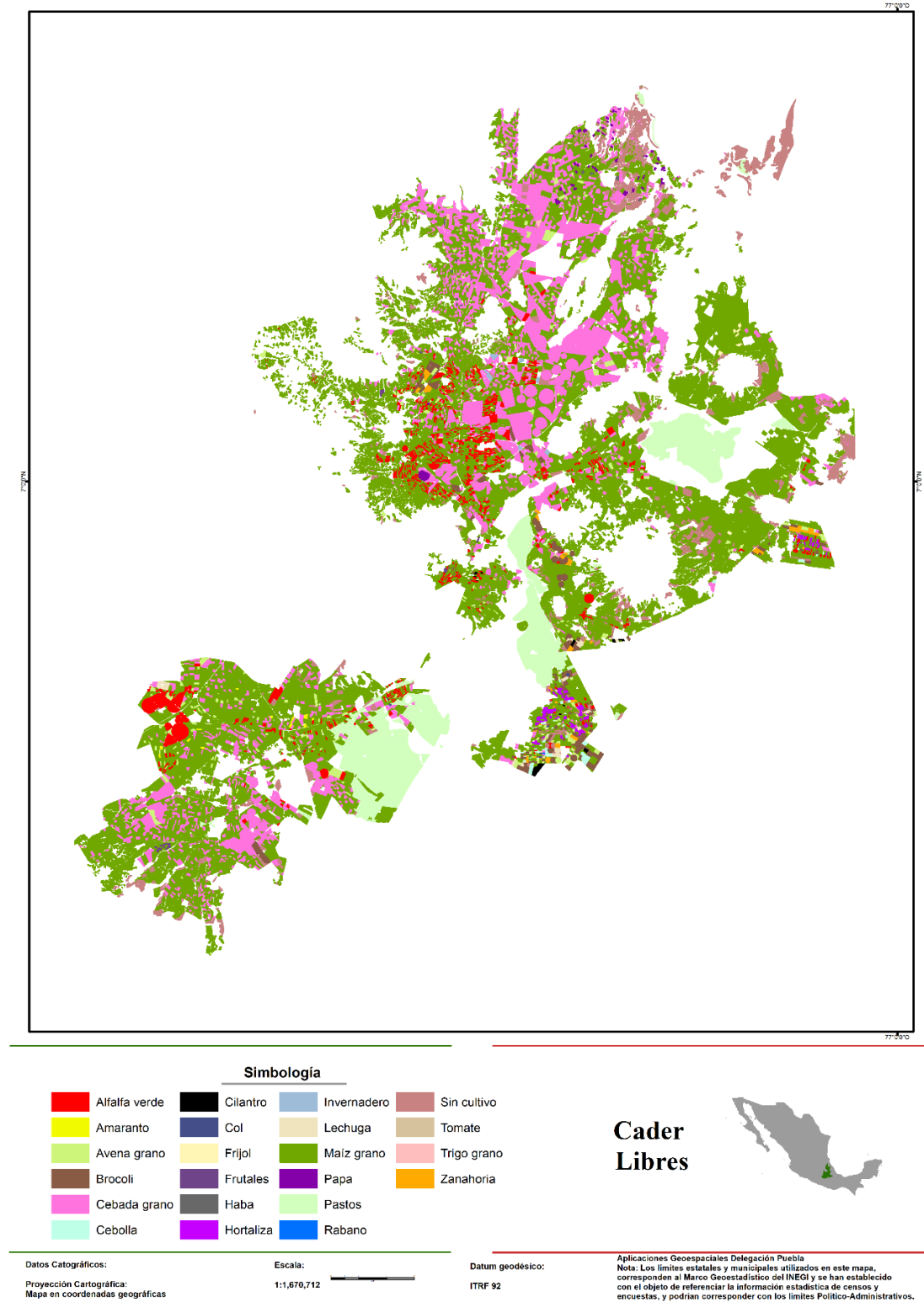


Imagen 89. Mapa Temático CAdER Libres. Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019).

5.2. Evaluación de las proyecciones de producción agrícola

5.2.1. Red Agropecuaria en Web (RAW)

La Red Agropecuaria en Web (RAW) es un sistema de registro y consulta de información agropecuaria y pesquera, el cual, al constituirse como una interfaz amigable que aprovecha las bondades tecnológicas de la red, impulsa las operaciones de captura desde los Centros de Apoyo al Desarrollo Rural (CADeR), a partir de la disponibilidad de la infraestructura tecnológica adecuada. Con ello, influye en la consolidación de la calidad y en la oportunidad de la información, así como en el fortalecimiento de sus procesos de validación.

La obtención de datos representada de manera secuencial y con los vínculos entre los diferentes actores, sería la siguiente: el técnico del CADeR identifica las fuentes locales de información, una vez satisfechos con la entrega de datos sobre las actividades, se registran en formatos. El segundo paso es la captura de la información recabada en la RAW; una vez revisados los datos por el CADeR proceden a realizar la liberación al DDR correspondiente.

El DDR lleva a cabo la integración en el ámbito geográfico que le corresponde; realiza la compulsa con los datos disponibles de otras fuentes locales generadoras de información, como las organizaciones de productores o los sistemas de producto estatales, el Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable para la Caña de Azúcar (CONADESUCA), el programa de incentivos para la producción de Maíz y Frijol, entre otras más.

Cumplida esta etapa, proceden a la revisión e inconsistencias y, una vez recibidas las aclaraciones pertinentes, se complementa el trabajo de consolidación de los datos.

Se producen bases de datos en materia agrícola:

- Tiempos estimados, seguimiento y control
 - Programas de producción
 - Avances mensuales

- Cierres anuales definitivos

El producto de información utilizado como base para la obtención de una Estimación de Superficies Agrícolas es el programa de cierres anuales definitivos.

El técnico de monitoreo proporcionará un archivo a convenir, de preferencia en Excel, para una mejor manipulación de la información. Éste contendrá un listado de los 217 municipios del Estado de Puebla, el cual se desglosa en las categorías: Municipio, Cultivo, superficie sembrada en Ha (Hectárea).

Esta información servirá como una base para saber qué cantidad de superficie se puede obtener en la estimación; cabe destacar que el resultado de ESA no debe de ser exactamente igual, por eso se debe contar con la técnica, experiencia y criterio del observador con texturas y referencias geográficas de la imagen de satélite.

5.2.1. Tabla comparativa entre datos proporcionados por la RAW y la ESA

| CADER | Cultivo | RAW | ESA |
|----------------------------|----------------------|------------|------------------|
| Izúcar de Matamoros | Cacahuate | 394.00 | 1,123.50 |
| | Caña | 12,912.42 | 16,504.75 |
| | Maíz | 17,235.50 | 13,891.54 |
| | Sorgo | 3,053.00 | 1,676.05 |
| | Sin Cultivo | | 9,412.56 |
| | Superficie Cultivada | | 33,195.84 |

La estimación de superficies agrícolas es una aproximación de la superficie en hectáreas sembradas.

| CADER | Cultivo | RAW | ESA |
|----------------------|----------------|------------|------------------|
| Libres | Alfalfa | 1,745.23 | 2,952.92 |
| | Amaranto | 26.00 | 22.15 |
| | Avena | 1,479.00 | 1,415.40 |
| | Brócoli | 258.00 | 985.00 |
| | Cebada | 16,685.00 | 16,890.91 |
| | Cebolla | 145.20 | 183.94 |
| | Cebollín | 20.00 | 17.43 |
| | Cilantro | 50.00 | 76.21 |
| | Col | 21.00 | 13.00 |
| | Frijol | 3,196.00 | 20.75 |
| | Frutales | 496.30 | 38.02 |
| | Hortaliza | 350.20 | 271.04 |
| | Lechuga | 80.00 | 191.58 |
| | Maíz | 49,620.00 | 56,495.42 |
| | Nopal | 2.50 | 6.42 |
| | Otra Cobertura | 250.00 | 188.78 |
| | Papa | 90.00 | 306.93 |
| | Pastos | 8,500.00 | 8,627.31 |
| | Sin Cultivo | | 4,690.90 |
| | Rábano | 5.00 | 2.05 |
| Tomate | 467.00 | 2.27 | |
| Zanahoria | 359.00 | 302.18 | |
| Superficie Cultivada | | | 89,009.71 |

Los datos proporcionados por la RAW solo serán una base, el criterio y el conocimiento empleado por el Ingeniero Topógrafo será fundamental para respaldar y defender los valores obtenidos en la ESA.

Los valores de la RAW y ESA podrían variar por las siguientes razones:

- La superficie agrícola cambia de uso de suelo.
- Fenómenos Hidrometeorológicos.
- Modificación en las fechas de siembra.
- Cambio de producto sembrado.
- Fecha de la obtención de la imagen satelital.
- El buen uso de la información y la habilidad en el software.

Conclusión

Se realizó la Estimación de Superficies Agrícolas ciclo P-V 2020 en cultivos como granos básicos y productos agrícolas sobresalientes por DDR; los resultados obtenidos son fidedignos y oportunos para la generación de información geográfica y estadística. Éstos se obtuvieron mediante la aplicación de los Sistemas de información Geográfica (SIG), Percepción Remota y Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).

Los valores obtenidos se realizaron a través de muestreos por área, utilizando técnicas, herramientas y procesos aplicados en las imágenes de satélite. Los resultados son cercanos a los que reportan en los avances de la RAW; otro parámetro importante para considerar que la información obtenida es confiable, es que se tomó en cuenta el resultado del Análisis Kappa con un 94.77% obtenido. Para obtener un mejor criterio en la evaluación se consideraron los recorridos de campo, esto, con el fin de entender los principales problemas que se presentan como sequía, heladas plagas, inundaciones (siniestros) y, con un mayor peso, el procesamiento de las imágenes.

Se obtendrán aún mejores resultados si día con día se sigue actualizando la Frontera Agrícola; esto permitiría que se tenga una superficie agrícola con mayor detalle y aumentará la confiabilidad de la Estimación.

Para el recorrido de campo y para que éste sea exitoso, se depende de la habilidad que se ha obtenido, es decir, del saber si las secciones de muestreo son útiles o no, ello estribará en gran medida en este ámbito para asignar correctamente la información solicitada en el formato F2, respectivamente.

El resultado de esta ESA se tomó en consideración para la realización del Atlas Agroalimentario emitido por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

Bibliografía

- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección Ambiental*. Barcelona: Ariel.
- Bosque, J. (2000). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Rialp
- Buzai, G. D. (2013). *Sistemas de Información Geográfica SIG: teoría y aplicación*. Luján: Universidad Nacional de Luján.
- Del Bosque, I., Fernández C., Martín, L., y Pérez E. (2012). *Los sistemas de Información Geográfica y la investigación en ciencias humanas y sociales*. Madrid: Confederación Española de Centros de Estudios Locales.
- Fallas, J. (2002). *Sistema de posicionamiento global*. Costa Rica: Universidad Nacional
- Herbert, J. (2002). *Observación de la Tierra y su Medio Ambiente: Estudio de misiones y sensores*. Berlín: Springer Verlag.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., y Collins, J. (2001). *GPS Theory and Practice*. Viena: Springer Verlag.
- Huerta, E., Mangiaterra, A., y Noguera, G. (2005). *GPS: Posicionamiento satelital*. Argentina: Universidad Nacional de Rosario.
- López, C. (2019). *Fundamentos Básicos para la Teledetección Ambiental*. Chile.
- Parkinson, B. W., y Spilker, J. J. (1996). *The Global Positioning System: Theory and Applications*. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Pérez, C., y Muñoz, Á. (2006). *Teledetección: Nociones y aplicaciones*. Madrid.
- Pérez, M. B., Serna, A. R., Delgado, J., Caballero, M. E., y Villa G. (2020). *El programa Copernicus para la monitorización del territorio y los Objetivos del Desarrollo Sostenible*. Madrid: Centro Nacional de Información Geográfica.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2019). Levantamiento de Información en Campo, Manual Técnico, Programa Estimación de Superficies Agrícolas. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Servicio de Información Agroalimentaria. (2018). Manual Metodológico de la Frontera Agrícola de México, Serie IV Etapa II. México: Servicio de Información Agroalimentaria.