



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

EVALUACIÓN USO Y MANEJO DE SISTEMA PARA SEGUIMIENTO PARCELARIO VÍA REMOTA

JUSTO REYNALDO MANRIQUEZ VARGAS

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

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **EVALUACIÓN USO Y MANEJO DE SISTEMA PARA SEGUIMIENTO PARCELARIO VÍA REMOTA**, realizada por el estudiante: **JUSTO REYNALDO MANRIQUEZ VARGAS**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


Dr. Enrique Palacios Vélez

ASESOR


Dra. Antonia Macedo Cruz

ASESOR


M.C. Eduardo Mejía Saénz

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, Junio de 2022

EVALUACIÓN USO Y MANEJO DE SISTEMA PARA SEGUIMIENTO PARCELARIO VÍA REMOTA

**Justo Reynaldo Manriquez Vargas, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022**

RESUMEN

Desde su transferencia, los distritos de riego a nivel nacional se han visto en escenarios que ponen a prueba su administración e infraestructura, cada vez en mayor frecuencia y magnitud. El Distrito de Riego 030 Valsequillo, se encuentra entre los casos citados, presenta en mayor o menor grado, reducción de áreas regadas y reducción en sus volúmenes de agua disponibles. Una de las actividades que tiene asignada el distrito de riego es la de cuantificar y reportar las áreas sembradas de manera anual (riego y temporal), este valor es obtenido mediante tabulaciones, registro de usuarios y registro de cobranzas por concepto de pago de aguas. Los resultados obtenidos no pueden ser comparados con otra metodología, se consideró de utilidad el tener un segundo valor obtenido teniendo como criterio el crecimiento de los cultivos y la superficie parcelaria del distrito.

Se realiza para el presente proyecto la evaluación de imágenes satelitales en un periodo de 5 años (2016-2020), con el objetivo de realizar la cuantificación de las áreas cultivadas en el Distrito de Riego 030 Valsequillo, conocer las diferencias existentes entre las áreas obtenidas y las áreas reportadas de manera oficial; finalmente explicar de manera detallada y paso a paso la metodología necesaria con el fin de que el personal encargado pueda generar sus propias cuantificaciones para los periodos subsecuentes.

Los materiales y métodos empleados para la estimación del área cultivada fueron imágenes satelitales gratuitas de tipo Landsat 8, aprovechando sus capas pancromáticas para obtener el índice de vegetación NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) uno de los indicadores más empleados como índice vegetativo y que permite estimar los cambios que existen en la cubierta vegetal a través del uso de imágenes satelitales. Teniendo en consideración este índice se calcularon las áreas que se sembraron en el distrito durante los años indicados.

Los resultados que se esperan obtener consisten en que las áreas obtenidas de manera satelital y las áreas reportadas por parte del distrito de riego coincidan o se aproximen, de ser así significaría que la cuantificación es correcta, en caso contrario reflejaría problemáticas en la zona del distrito de riego 030 Valsequillo.

Las actividades del presente proyecto forman parte de un monitoreo recomendado para las zonas cuya superficie abarque una cantidad importante de parcelas como lo es el Distrito de Riego 030 Valsequillo. Los resultados obtenidos arrojaron de manera cuantitativa el diferencial entre los volúmenes reportados y los calculados de manera remota.

Palabras clave: NDVI, Área cultivada, Landsat, Distrito de Riego 030 Valsequillo.

EVALUATION, USE AND MANAGEMENT SYSTEM FOR AGRICULTURAL PARCEL TRACKING USING REMOTE SENSING

**Justo Reynaldo Manriquez Vargas, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022**

ABSTRACT

The irrigation districts in Mexico have had problems with their administration and infrastructure, this problem increases over time and repeats with frequency and greater scale. Irrigation District 030 Valsequillo, has these issues, like reduction of irrigated areas and reduction in its volumes of available water. Once a year the irrigation district 030 Valsequillo needs to count and report the irrigated areas, this value is obtained through tabulations, user registration and registration for payment of water. The results obtained cannot be compared with another methodology, it is necessary to have a second point of view. This second opinion is obtained using remote sensing, crop development and geographic information of the district.

In this project, we use remote sensing, using satellite imagery and geospatial analysis techniques for 2016, 2017, 2018, 2019 and 2020, with the aim of quantifying the cultivated areas in the area corresponding to the Irrigation District 030 Valsequillo, knowing the differences between the areas obtained and the areas officially reported; In the final phase, we have explained in detail and step by step the necessary methodology, this methodology allows field staff, senior planners and director to repeat this project for future years.

The materials and methods used to estimate the cultivated area used free satellite imagery (Landsat 8), apply geospatial analysis techniques to obtain NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) vegetation index, it's important to remember that NDVI quantifies vegetation by measuring the difference between near-infrared and red light, near-infrared represents vegetation strongly reflects and red light represents vegetation absorbs.

The results that are expected to be obtained consist of the following points, All areas reported between 2016 – 2020 will be compared to areas obtained by satellite imagery at the same time. If the agricultural area is the same or similar means that the irrigation district counts correctly the irrigation volume user's otherwise means problems with the data, area or volume irrigation in irrigation district 030 Valsequillo.

The activities of this project there are part of a recommended monitoring for agricultural areas in Irrigation District 030 Valsequillo, because it has large working agricultural areas. The results, showed the difference between the areas reported and area calculated using satellite imagery.

Key words: NDVI, Cultivated area, Landsat, Irrigation District 030 Valsequillo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por participar en el financiamiento de mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados, secretarías, profesores y trabajadores que me asesoraron, respondieron mis dudas y dieron seguimiento a mis dudas de manera amable y profesional.

Al Campus montecillos que me permitió formarme en estos dos años de estudio.

Al Postgrado por la oportunidad que brinda a cada uno de los alumnos, oportunidad de la que he podido formar parte.

Al Dr. Enrique Palacios Vélez, es un honor recibir retroalimentación y consejos de una persona tan experimentada en el ámbito profesional y de un carácter tan motivador. Es mi deseo llegar a su edad con esa pasión por su trabajo.

A mi asesora del consejo particular Dra. Antonia Macedo Cruz por sus apreciaciones y consejos y al M.C. Eduardo Mejía Sáenz, por la disposición y tiempo invertido en este trabajo.

Al maestro Christian, Eduardo, Bernabé, Kenia, y tantas personas que respondieron mis dudas y ayudaron en el término de este trabajo.

Al personal del DR030 Valsequillo, al Ing. Bernardino; por facilitarme la información que estuviera en sus manos para la elaboración de esta tesis.

DEDICATORIA

A Dios, Mateo 16:26.

A mis padres, que no dejan de apoyar mi esfuerzo sin importar si gano o pierdo.

Aurora, Noemí, cuyas historias, sueños, aprendizajes y errores forman parte de mi vida.

A Melissa, a quien amo y admiro; gracias ser parte de ese detonante que me animó a preguntarme ¿por qué yo no?

A la memoria de Kevin Oswaldo Manriquez Vargas, Te extrañamos, un día, todos nos encontraremos.

A la memoria del Dr. Enrique Mejía Sáenz, la primera persona en decirme “Tienes que estudiar una maestría”.

A todas las personas que creyeron en este logro desde antes de haberlo visto.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
LISTAS DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	4
OBJETIVOS	4
Objetivos específicos	4
HIPÓTESIS	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA	5
Antecedentes	5
Imágenes satelitales	7
Antecedentes Landsat	8
Landsat 8	8
Plataformas para uso de imágenes satelitales	10
Glovis.usgs	10
Corrección atmosférica	10
Índices de vegetación	12
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	15
Materiales	15
Sitio de estudio	15
Recopilación y sistematización	16
Superficie física, regable y regada	16
Adscripción Hidrológico Administrativa	17
Problemáticas	17
Recursos Naturales	19
Clima	19

Fuentes de agua.....	25
Cuenca.....	25
Ríos y corrientes	25
Presas de almacenamiento.....	26
Red de conducción	27
Metodología.....	28
Descarga de las imágenes	28
Registro de usuario.....	28
Accede a la pagina.....	32
Corrección atmosférica.....	35
Corrección atmosférica DOS 1 “Método de chavez”	35
Método scp	36
Creación de capas NDVI	40
Corte de capas	43
Umbralización	46
Estadísticas de capas	48
Calculo de superficie de parcelas	52
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL.....	55
Soporte documental imágenes Landsat	55
Documentación obtenida del distrito de riego	58
Raster de selección NDVI.....	61
Recortes de imágenes.....	63
Shapes de NDVI	66
Evolución del NDVI para el periodo 2016	67
Evolución del NDVI para el periodo 2017	68
Evolución del NDVI para el periodo 2018	69
Evolución del NDVI para el periodo 2019	70
Evolución del NDVI para el periodo 2020	71
Raster binarios.....	72
Áreas cultivadas	74
Áreas Reportadas.....	76

VI.	CONCLUSIÓN	79
VII.	LITERATURA CITADA	82

LISTAS DE CUADROS

Cuadro 1	Rango de clasificación para la cobertura de la tierra en relación al valor del NDVI (Ríos & Zurita, 2014).....	13
Cuadro 2.	Estaciones climatológicas.....	20
Cuadro 3.	Mínimas medias y máximas de estaciones meteorológicas	21
Cuadro 4.	Temperaturas promedio históricas en estaciones meteorológicas	21
Cuadro 5.	Evaporaciones mensuales promedio	21
Cuadro 6.	Temperatura máxima mensual en el periodo de 1981-2010 (SMN, 2022)	22
Cuadro 7.	Temperatura mínima mensual en el periodo de 1981-2010 (SMN, 2022)(CONAGUA, 2017).....	22
Cuadro 8.	Tabla de precipitaciones y evaporaciones promedio	24
Cuadro 9.	Volumen superficie presa Manuel Ávila Camacho.....	26
Cuadro 10	Superficies DR 030 Valsequillo Periodos 2015 – 2016 (CONAGUA & SEMARNAT, 2017)	77
Cuadro 11	Superficies DR 030 Valsequillo Periodos 2016 – 2017 (CONAGUA & SEMARNAT, 2018)	77
Cuadro 12	Superficies DR 030 Valsequillo Periodos 2017 – 2018 (CONAGUA & SEMARNAT, 2019)	77
Cuadro 13	Superficies DR 030 Valsequillo Periodos 2018 – 2019.....	77
Cuadro 14	Superficies DR 030 Valsequillo Periodos 2019 – 2020.....	77
Cuadro 15	Superficies DR 030 Valsequillo Periodos 2019 – 2020.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distritos de riego a nivel nacional. Fuente:(CONAGUA, 2019)	5
Figura 2. Comparación de las bandas espectrales OLI con las bandas ETM+ de Landsat 7. Fuente: (LANDSAT, 2021).....	9
Figura 3. Ubicación Distrito de Riego 030.	15
Figura 4. Evolución de la superficie regada del DR030, fuente Dirección Local de Puebla, DR 030 Valsequillo, Pue. Sociedad SRL Red Mayor. Fuente: (CONAGUA, 2017).....	16
Figura 5. Adscripción Hidrológico Administrativa del distrito de riego 030 Balsas(Rosa) Golfo Centro (Verde).....	17
Figura 6. Estaciones Climáticas aledañas al DR030. Fuente: (SMN, 2022).....	20
Figura 7. Gráfica <i>Temperatura mensuales promedio</i>	22
Figura 8. Gráfico de la temperatura mínima promedio. (SMN, 2022).....	23
Figura 9. Gráfico de la precipitación de las cinco estaciones aledañas a DR030 y el promedio del periodo 1981-2010. Fuente: (SMN, 2022)	23
Figura 10. Precipitaciones y evaporaciones promedio. Fuente: (SMN, 2022).....	24
Figura 11. Cuenca del río Alto Atoyac (Verde), Cuenca río Bajo Atoyac(Azul), cuenca del río Salado (Naranja) (CNA, 2001).....	25
Figura 12. Río Atoyac y recorrido cerca del distrito Fuente: Documentación del Distrito 030	25
Figura 13. Presa de almacenamiento Fuente: Documentación del distrito de riego 030	26
Figura 14. Curva relación Volumen-Área de la presa Fuente: Documentación del distrito de riego 030	27
Figura 15. Red de conducción.....	27
Figura 16. Pantalla principal de sistema GLOVIS	29
Figura 17. Ventana Login	29
Figura 18. Cuestionario para registro en GLOVIS.....	30
Figura 19. Colocación de nuevo usuario y contraseña.....	30
Figura 20. Información personal para registro GLOVIS.....	31
Figura 21. Comprobación de información.....	31

Figura 22.	Validación de información.	32
Figura 23.	Ventana de inicio con Login realizado	32
Figura 24.	Ventana de inicio con datos de usuario.....	32
Figura 25.	Panel de descargas, ventana principal. Fuente: GLOVIS	33
Figura 26.	Línea de tiempo para descarga de imágenes satelitales	34
Figura 27.	Ventana que indica la descarga de imágenes.....	34
Figura 28.	Selección de descarga Geo TIFF.....	34
Figura 29.	Menú de pre procesamiento.....	36
Figura 30.	Selección de capas	36
Figura 31.	Selección de archivo MTL	37
Figura 32.	Selección e inicio de complemento para corrección.....	37
Figura 33.	Creación de carpeta nueva	38
Figura 34.	Unión de Bandas.....	38
Figura 35.	Guardado de imagen.....	39
Figura 36.	Imagen satelital unida	39
Figura 37.	Calculadora Raster.....	40
Figura 38.	Guardado de imagen NDVI	40
Figura 39.	Fórmula para generar capa NDVI	41
Figura 40.	Ventana de carga al crear imagen	41
Figura 41.	Imagen NDVI cargada en proyecto	42
Figura 42.	Propiedades de la imagen.....	42
Figura 43.	Clasificación de imagen NDVI	43
Figura 44.	Imagen con clasificación NDVI.....	43
Figura 45.	Capa con delimitación para zona de estudio.....	43
Figura 46.	Corte Raster con mascara de capa.....	44
Figura 47.	Ventana de corte Raster.....	44
Figura 48.	Selección de ruta para Raster	45
Figura 49.	Nombre asignado para imagen recortada	45
Figura 50.	Recorte Finalizado	46
Figura 51.	Calculadora Raster.....	46
Figura 52.	Fórmula para selección por criterio de NDVI.....	47

Figura 53. Imagen con clasificación 0 - 1	47
Figura 54. Imagen clasificada en criterios 0 – 1 cargada en QGIS	48
Figura 55. Shape de DR 030 sobre imagen Clasificada.....	48
Figura 56. Panel de estadísticas de Zona	49
Figura 57. Ventana de selección para estadísticas de zona.	49
Figura 58. Selección de Raster en estadísticas de zona.....	50
Figura 59. Selección de campos requeridos para estadísticas de zona.....	50
Figura 60. Asignación de ruta para guardado de Archivo.....	51
Figura 61. Tabla de atributos que se genera en shape con estadísticas.....	51
Figura 62. Calculadora de campos.....	52
Figura 63. Fórmula para cálculo de áreas	52
Figura 64. Fórmula para superficies calculadas por pixeles	53
Figura 65. Fórmula para criterio de selección de áreas.....	53
Figura 66. Tabla con criterios de selección de áreas	54
Figura 67. Listado de imágenes descargadas para periodo 2016 (Izquierda) y periodo 2017 (Derecha) Fuente: Propia	55
Figura 68. Listado de imágenes descargadas para periodo 2018 Fuente: Propia	56
Figura 69. Listado de imágenes descargadas para periodo 2019 Fuente: Propia	56
Figura 70. Listado de imágenes descargadas para periodo 2020 Fuente: Propia	57
Figura 71. Documentos contenidos en archivos comprimidos, imagen fecha 2016- Abr-2019, Fuente: Propia	57
Figura 72. Portada digital “Actualización Plan Director 2017” Fuente: CONAGUA	58
Figura 73. Parcelas delimitadoras Distrito de Riego 030 Sobre imagen NDVI Fuente: Propia.....	59
Figura 74. Shape de parcelas del distrito de riego 030, Valsequillo y marco delimitador de área, Fuente: Propia	59
Figura 75. Campos en el shape con cultivo asignado y excepciones Fuente: Propia	60
Figura 76. Campos en el shape con cultivo asignado y excepciones, clasificado por Modulo Fuente: Propia.....	60

Figura 77. Imágenes para 2016 generadas en NDVI usando Banda 5 y Banda 4. Fuente: Propia.....	61
Figura 78. Imágenes para 2017 generadas en NDVI usando Banda 5 y Banda 4. Fuente: Propia.....	61
Figura 79. Imágenes para 2018 generadas en NDVI usando Banda 5 y Banda 4. Fuente: Propia.....	62
Figura 80. Imágenes para 2019 generadas en NDVI usando Banda 5 y Banda 4. Fuente: Propia.....	62
Figura 81. Imágenes para 2020 generadas en NDVI usando Banda 5 y Banda 4. Fuente: Propia.....	63
Figura 82. Imágenes recortadas para 2016 usando marco delimitador. Fuente: Propia.....	63
Figura 83. Imágenes recortadas para 2017 usando marco delimitador. Fuente: Propia.....	64
Figura 84. Imágenes recortadas para 2018 usando marco delimitador. Fuente: Propia.....	64
Figura 85. Imágenes recortadas para 2019 usando marco delimitador. Fuente: Propia.....	65
Figura 86. Imágenes recortadas para 2020 usando marco delimitador. Fuente: Propia.....	65
Figura 87. Shapes generados para almacenar los resultados de estadísticas Raster 2016 Fuente: Propia.	66
Figura 88. Shape clasificado por valores de NDVI 2016-diciembre-21. Fuente: Propia.....	66
Figura 89. Evolución temporal del NDVI en el distrito de riego 030 Valsequillo para el año 2016. Fuente: Propia.	67
Figura 90. Evolución temporal del NDVI en el distrito de riego 030 Valsequillo para el año 2017. Fuente: Propia.	68
Figura 91. Evolución temporal del NDVI en el distrito de riego 030 Valsequillo para el año 2018. Fuente: Propia.	69

Figura 92. Evolución temporal del NDVI en el distrito de riego 030 Valsequillo para el año 2019. Fuente: Propia.	70
Figura 93. Evolución temporal del NDVI en el distrito de riego 030 Valsequillo para el año 2020. Fuente: Propia.	71
Figura 94. Imágenes binarias periodo 2016 (1= NDVI $\geq$ 0.25; 0= NDVI<0.25) Fuente: Propia.	72
Figura 95. Imágenes binarias periodo 2017 (1= NDVI $\geq$ 0.25; 0= NDVI<0.25) Fuente: Propia.	72
Figura 96. Imágenes binarias periodo 2018 (1= NDVI $\geq$ 0.25; 0= NDVI<0.25) Fuente: Propia.	73
Figura 97. Imágenes binarias periodo 2019 (1= NDVI $\geq$ 0.25; 0= NDVI<0.25) Fuente: Propia.	73
Figura 98. Imágenes binarias periodo 2020 (1= NDVI $\geq$ 0.25; 0= NDVI<0.25) Fuente: Propia.	73
Figura 99. Superficies Calculadas para 2016 de imágenes satelitales. Fuente: Propia.	74
Figura 100. Superficies Calculadas para 2017 de imágenes satelitales. Fuente: Propia.	74
Figura 101. Superficies Calculadas para 2018 de imágenes satelitales. Fuente: Propia.	75
Figura 102. Superficies Calculadas para 2019 de imágenes satelitales. Fuente: Propia.	75
Figura 103. Superficies Calculadas para 2020 de imágenes satelitales. Fuente: Propia.	75
Figura 104. Comportamiento de áreas cultivadas en Distrito de Riego 030, Valsequillo. Fuente: Propia.	76
Figura 105. Comparación de áreas identificadas y áreas reportadas. Fuente: Propia.	78

I. INTRODUCCIÓN

En México, el área con infraestructura de riego que permite el riego es de aproximadamente 6.5 millones de hectáreas (CONAGUA, 2019), su distribución porcentual por lo tanto es de 50.77% para los distritos de riego y 49.23% para unidades de riego.

Conocer la disponibilidad de agua, su demanda y su uso en agricultura, es lo que permitirá una mejor planeación para alcanzar un uso eficiente de este bien natural, y en ese proceso la sociedad requiere tener acceso a la información para tener una participación y que esta misma se base en decisiones correctamente fundamentadas y alimentadas por la estadística correcta. El presente trabajo pretende aportar una perspectiva de utilidad al uso de la cuantificación de las áreas, esto en la forma de la estimación de áreas cultivadas en el Distrito de Riego 030 Valsequillo.

Durante los años que se ha llevado a cabo la transferencia de operación y mantenimiento de los distritos de riego, los usuarios se han enfrentado a diferentes problemáticas para llevar acabo la administración del mismo en las áreas económicas y técnicas que son requeridas, una de estas problemáticas radica en la necesidad de dar un seguimiento secundario a las áreas sembradas por los usuarios de los distritos de riego.

El distrito se encuentra rodeada por cordilleras y está dividido en 6 módulos, Módulos 1 "Luciano M. Sánchez", Módulo 2 "Lázaro Cárdenas", Módulo 3 "Manuel Ávila Camacho", Módulo 4 "Tlacotepec de Benito Juárez", Módulo 5 "Gral. Emiliano Zapata" y Módulo 6 "Tepanco de López".

Dentro de las problemáticas técnicas que existen con frecuencia, se puede considerar la necesidad de la cuantificación de área sembrada como una de las de mayor relevancia. Su importancia radica en que es un dato utilizado para la evaluación de puntos como volúmenes, laminas, cobros de usuarios, etc. Esta puede ser solventada mediante el uso de imágenes satelitales de acceso gratuito. Para el presente proyecto se utilizaron las imágenes disponibles en USGS Global Visualization Viewer (Glovis). Específicamente las imágenes satelitales Landsat 8.

A pesar de que el registro a nivel usuario es la metodología que más se recomendaría para un registro más preciso, no se encuentran libre de complicaciones que dificultan su aplicación, problemas tales como, falta de mano de obra para llevar el registro, usuarios que se niegan a registrarse y dificultad para mantener el registro actualizado, por mencionar algunos. Por ello se considera de utilidad generar seguimientos a través de diferentes herramientas que permitan complementar los datos obtenidos. Uno de estas herramientas consiste en el seguimiento del cultivo presente usando imágenes satelitales. Actualmente se disponen de imágenes satelitales de paga (SPOT) o de uso libre (Sentinel y Landsat).

LANDSAT (LAND=tierra y SAT=satélite) fue el primer satélite enviado por los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. Inicialmente se le llamó ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) y posteriormente los restantes recibieron el nombre de LANDSAT (INEGI, 2022).

Landsat 8 se lanzó en un cohete Atlas-V desde la Base de la Fuerza Aérea de Vandenberg, California, el 11 de febrero de 2013. El satélite cuenta con el Operational Land Imager (OLI) y un sensor infrarrojo térmico (TIRS) instrumentos. El OLI mide los rangos de luz visible, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta (VNIR, NIR y SWIR) del espectro. El TIRS mide la temperatura de la superficie terrestre en dos bandas térmicas con una nueva tecnología que aplica la física cuántica para detectar el calor. Las imágenes de Landsat 8 tienen resoluciones espaciales pancromáticas de 15 metros y multiespectrales de 30 metros a lo largo de una franja de 185 km. (USGS, 2017).

Mientras que las imágenes satelitales Landsat constituyen una de las herramientas para hacer estimaciones de áreas cultivadas la parte técnica se ve respalda mediante el uso de un indicador de vegetación, el índice de mayor uso dada su practicidad y aplicación es el indicador NDVI por sus siglas en inglés Normalized Difference Vegetation Index.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), es uno de los más conocidos y utilizados en la teledetección; se basa en la reflectancia, la cual es la relación de energía que es reflejada por un objeto y la que incide directamente en el objeto. Los valores del NDVI están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en

diversas partes del espectro electromagnético. La respuesta espectral que tiene la vegetación sana, muestra un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja, y el Infrarrojo Cercano (NIR) (Govaerts; & Verhulst;, 2010) .

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

OBJETIVOS

El objetivo de esta investigación es generar para el aprovechamiento en el Distrito de riego 030 información estadística, geográfica y satelital con el fin de comparar las superficies de riego reportadas y a su vez proponer una metodología que permita al personal aplicar la misma mecánica de manera anualizada.

Objetivos específicos.

- Realizar la cuantificación de las áreas cultivadas en la zona correspondiente al Distrito de riego 030 Valsequillo Puebla para los periodos 2016 - 2020
- Obtener un valor diferencial entre las áreas cultivadas y reportadas para realizar un análisis de esos valores

Proponer una metodología detallada que permita a cualquier consultante llevar a cabo la cuantificación

HIPÓTESIS

Actualmente en el Distrito de Riego 030, Valsequillo se ha visto sujeto a una reducción en su área de riego, esta reducción se ha visto causada debido a diversos factores, climáticos y administrativos que afectan la disponibilidad de los volúmenes para el riego, viéndose reflejado en la superficie reportada de cultivos, sin embargo, es de considerarse que la superficie reportada de manera administrativa muy probablemente no coincida con la que realmente se esté sembrando. Por lo tanto, es posible hacer una comparativa entre las áreas reportadas por el distrito de riego 030 y las áreas que se pueden calcular utilizando imágenes satelitales.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes

Los DR son proyectos de irrigación desarrollados por el Gobierno Federal desde 1926, año de creación de la Comisión Nacional de Irrigación, e incluyen diversas obras, tales como vasos de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos, entre otros. (CONAGUA, 2019)

De acuerdo con (CONAGUA, 2019) A la fecha existen 86 DR, que se muestran en la **Figura 1**. El DR 113 Alto Río Conchos, inaugurado el 17 de enero de 2012, es el último constituido.



Figura 1. Distritos de riego a nivel nacional. Fuente: (CONAGUA, 2019)

El mismo autor señala que hasta la fecha en la que se reportan los resultados, la superficie dominada es de 3,275,675 de hectáreas repartida entre 570,510 usuarios, De estas la superficie física regada es de 2,614,582 de hectáreas.

Como lo señala (Pedroza & Hinojosa, 2014) El manejo y distribución del agua en los DR tiene tres grandes componentes:

- Un objetivo.
- Actividades para lograr tal objetivo.
- Infraestructura sobre la que se realizan las actividades.

El objetivo de la distribución del agua radica principalmente en la importancia de garantizar su entrega a los regantes/usuarios. Esta entrega se encontrará limitada por diversos factores, uno de los cuales consiste en una adecuada contabilización del volumen distribuido y la superficie abarcada.

Llevar a cabo esta contabilización para un distrito con una superficie tan amplia se verá limitado por factores de persona, de tiempo, económicos etc.

El Programa Nacional Hídrico 2020-2024 (DOF, 2020), señala que en la agricultura de riego persisten pérdidas de agua del orden del 50 por ciento, además de problemas como el uso de volúmenes excesivos para riego de los cultivos e ingresos insuficientes para operación y mantenimiento.

Esta distribución de agua se logra teniendo como referencia las concesiones asignadas a cada uno de los distritos, mismas que deben ser distribuidas y cobradas.

Estos ingresos dependen del pago que las personas físicas y morales realicen al distrito de riego, estos pagos son válidos y se encuentran fundamentados en la ley federal de derechos que en su artículo 222 cita “Están obligadas al pago del derecho sobre agua, las personas físicas y las morales que usen, exploten o aprovechen aguas nacionales, bien sea de hecho o al amparo de títulos de asignación, concesión, autorización o permiso, otorgados por el Gobierno Federal, de acuerdo con la zona de disponibilidad de agua en que se efectúe su extracción de conformidad a la división territorial contenida en el artículo 231 de esta Ley” (DOF, 2020)

Sin embargo, la recaudación junto con la gestión presenta fallas y debilidades, es un objetivo constante el conocer (mediante padrones u otros medios) cuales son los usuarios y las superficies atendidas por el distrito de riego. A nivel nacional existen

problemáticas importantes que surgieron en diferentes puntos del país a través de los años, fruto de las decisiones de transferencia de operación y mantenimiento del gobierno a manos de los usuarios.

(CEDRSSA, 2021) Señala que algunas de las asociaciones de usuarios de los Distritos de Riego, han conformado grupos de poder económico y político en sus regiones, que los especialistas clasifican como una “hidrocracia”, ya que individuos, familias y empresas controlan las mesas directivas de las entidades titulares de las concesiones y, en consecuencia, controlan la distribución del agua, el manejo de recursos federales y las cuotas de los usuarios.

Otra de las deficiencias claras y que deben ser mejoradas mencionadas por (CEDRSSA, 2021) consiste en que “no existen datos certeros sobre el volumen de agua que usan los privados con títulos de concesión pues, aunque la Ley de Aguas Nacionales los obliga a contar con un medidor, no lo cumplen”, las direcciones de los distritos de riego al verse en esta problemática se ven obligados a generar sus cuantificaciones y reportes utilizando información incompleta, métodos de terceros y aproximaciones que deben apoyarse sobre la experiencia y conocimiento del personal.

Uno de los valores que los distritos de riego reportan de manera anual corresponde a la superficie sembrada-cosechada. Este valor no tiene una manera de evaluación directa, es decir, su cuantificación no se realiza en campo midiendo las áreas; en su lugar los distritos de riego utilizan diversa cantidad de índices para estimar la superficie con vegetación en desarrollo, NDVI, SAVI, TSAVI, NSII, LAI (Rodríguez & Bullock, 2013).

Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son el resultado de la extracción y obtención de información y datos (Aguilar-Arias, 2014) a través de satélites que operan mediante los principios de teledetección.

Existen muchos satélites actualmente, se ha desarrollado de acuerdo a las necesidades y especificaciones que han sido requeridas. Algunos presentan radares especiales y

otros manejan alta resolución, se pueden hallar en sus versiones gratuitas y otras como servicio de pago, los dos tipos más populares son Sentinel y Landsat.

Siendo las imágenes Landsat aquellas que contienen información de carácter completo y continuo (García Martín et al., 2006), del cual se usó en el presente proyecto.

Antecedentes Landsat

Los satélites LANDSAT que obtienen su nombre de la palabra compuesta LAND=tierra y SAT=satélite (INEGI, 2022) se encargan del monitoreo de los recursos terrestres. Aunque en sus inicios fue conocido como ERTS-1, haciendo referencia a los recursos terrestres. (Earth Resources Technology Satellite). En la actualidad se encuentra conformados por 7 satélites para fines meteorológicos, el objetivo general radica en captar mayor información terrestre, buscando lograr en ello mayor precisión y mayor detalle, a través de las mejoras continuas en radiometría, geometría y espaciales.

Un aspecto importante a considerar de los satélites Landsat es la liberación gratuita de sus imágenes en el año 2008, de acuerdo con lo que menciona (Rodríguez Valero & Alonso Sarria, 2019) La liberación de las imágenes del satélite Landsat en 2008 permite clasificar (sin excesivo coste) imágenes históricas para obtener series de mapas de cobertura y usos del suelo.

Landsat 8

Landsat 8 (anteriormente Landsat Data Continuity Mission, o LDCM) se lanzó en un cohete Atlas-V desde la Base de la Fuerza Aérea de Vandenberg, California, el 11 de febrero de 2013. El satélite transporta Operational Land Imager (OLI) y el sensor infrarrojo térmico (TIRS) instrumentos.(USGS, 2017)

Datos de la órbita del satélite Landsat 8

- Gira alrededor de la Tierra en una órbita casi polar sincronizada con el sol (inclinación de 98,2 grados)
- Alcanzó una altitud de 705 km (438 mi)
- Completa una órbita terrestre cada 99 minutos

- Tiene un ciclo de repetición de 16 días con un tiempo de cruce ecuatorial de 10:00 am +/- 15 minutos
- Adquiere alrededor de 740 escenas por día en el sistema de ruta/fila del Sistema de referencia mundial-2 (WRS-2), con una superposición de franjas (o superposición lateral) que varía desde el 7 % en el ecuador hasta un máximo de aproximadamente el 85 % en latitudes extremas

Fuente: (USGS, 2017)

Avances evolutivos

Los instrumentos Landsat 8 representan un avance evolutivo en tecnología. OLI mejora los sensores Landsat anteriores utilizando un enfoque técnico demostrado por un sensor volado en el satélite experimental EO-1 de la NASA. OLI es un sensor de barrido con un telescopio de cuatro espejos y cuantificación de 12 bits. OLI recopila datos para bandas espectrales visibles, casi infrarrojas e infrarrojas de onda corta, así como una banda pancromática. Tiene una vida de diseño de cinco años. La **Figura 2** compara las bandas espectrales OLI con las bandas ETM+ de Landsat 7. OLI proporciona dos nuevas bandas espectrales, una diseñada especialmente para detectar cirros y la otra para observaciones de zonas costeras. (LANDSAT, 2021)

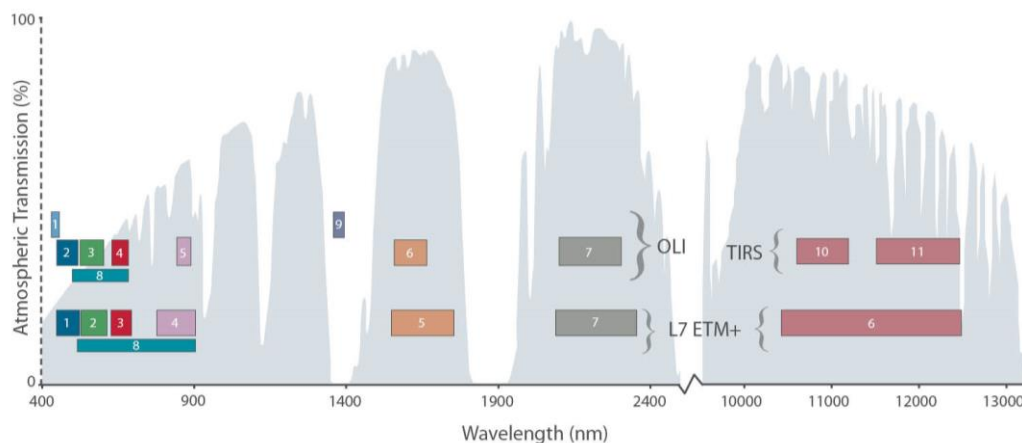


Figura 2. Comparación de las bandas espectrales OLI con las bandas ETM+ de Landsat 7. Fuente: (LANDSAT, 2021)

Plataformas para uso de imágenes satelitales.

Glovis.usgs

Desde 2001, el Visor de visualización global de USGS (GloVis) ha estado disponible para los usuarios para acceder a datos de detección remota. En 2017, se rediseñó para abordar las tecnologías cambiantes de Internet. Con herramientas de navegación fáciles de usar, los usuarios pueden ver y descargar escenas al instante.

Este visor le permite:

- Utilice las credenciales existentes del Sistema de registro de EROS (ERS) para iniciar sesión
- Reduzca los resultados limitando sus parámetros en el control de interfaz
- Vea varias escenas a la vez y avance en el tiempo usando los controles en la esquina inferior derecha
- Ver metadatos y descargar las imágenes de origen de banda completa
- Ajuste la configuración para personalizar la experiencia del usuario

Fuente: (GLOVIS, 2021)

Corrección atmosférica

La corrección atmosférica es un proceso que se aplica a las imágenes digitales, con el propósito de eliminar el efecto de los aerosoles y la radiancia intrínseca que se introduce en el sensor y se ve reflejado en la imagen, como producto de la interacción del sensor con la atmósfera. Con el proceso de corrección atmosférica se logra mejorar la calidad visual de la imagen; así como, eliminar el componente intrusivo de la atmósfera (Aguilar-Arias, 2014).

La reflexión es la forma más importante de teledetección, debido a que el sol ilumina la superficie terrestre la cual refleja esa energía en función del tipo de cobertura presente sobre ella; ese flujo de energía reflejado es recogido por el sensor, que lo transmite posteriormente a un almacenamiento digital. Entre la superficie y el sensor se interpone la atmósfera, que dispersa y absorbe parte de la señal original. De igual forma, la observación remota puede basarse en la energía emitida por las propias superficies, o

bien se podría enviar desde un sensor que fuera capaz, de generar su propio flujo energético. En cualquiera de estos casos, el flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética (CHUVIECO, 2008)

En el primer caso, la absorción por las moléculas de la atmósfera es un proceso selectivo que convierte la radiación incidente en calor (Rejas, 2008). En el segundo caso, la dispersión, es el mecanismo dominante y se presenta bajo dos formas distintas: la dispersión de Rayleigh, producida por las moléculas de los mismos gases y la dispersión de Mie o dispersión por los aerosoles, que se produce sobre partículas más grandes (Rejas, 2008)

Los procedimientos habituales de corrección atmosférica se pueden agrupar en modelos físicos de transferencia radiativa a partir de información obtenida de la propia imagen y métodos de ajuste empírico. En el caso de los modelos físicos de transferencia radiativa, se basan en una simulación de las condiciones de la atmósfera en función de las características físico-químicas de la misma, y el día y la hora de adquisición de la imagen. Si no se dispone de los parámetros físico-químicos, pueden utilizarse modelos estándar (Hedley, 2013)

Uno de los modelos más conocidos es MODTRAN (MODerate resolution atmospheric TRANsmission), el cual busca eliminar los efectos de la absorción y dispersión, causados por las moléculas y partículas atmosféricas en suspensión, de la radiancia recibida por el sensor y convertir esa radiancia a valores de reflectividad de superficie (Berk et al., 2000)

El complemento de clasificación semiautomática (SCP) es un complemento gratuito de código abierto para QGIS que permite la clasificación supervisada de imágenes de detección remota, proporcionando herramientas para la descarga, el pre procesamiento y el pos procesamiento de imágenes. El objetivo general de SCP es proporcionar un conjunto de herramientas entrelazadas para el procesamiento de Raster con el fin de realizar un flujo de trabajo automático y facilitar la clasificación de la cobertura terrestre, que también podría ser realizada por personas cuyo campo principal no sea la teledetección. (Congedo, 2021)

Índices de vegetación

Se puede entender a los índices de vegetación como una aplicación que emplea las capas pancromáticas existentes en las imágenes satelitales, su aplicación es factible para diferentes tipos de imágenes satelitales, MODIS, Sentinel, Landsat Etc.

La aplicación de estas capas se puede explicar cómo la combinación de las capas (diferentes canales del espectro electromagnético), al aplicar estos índices como seguimiento a las zonas de cultivo se logra estudiar la variación temporal de acuerdo a la resolución temporal de los satélites y actividad fotosintética de la planta.

La Base de Datos de índice (IDB, por su sigla en inglés), de (Henrich et al., 2012). brinda una visión de conjunto completa sobre qué índices coinciden con qué sensores, hasta la fecha en que se publica esta tesis en este índice se consideran 67 índices diferentes.

Los índices de vegetación, combinaciones o ratios de las bandas de la imagen, permiten aumentar las diferencias de reflectancia entre usos del suelo. Los más usados en estudios de teledetección para clasificar vegetación son, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, RVI (Ratio Vegetation Index)(Gitelson et al., 2002).

En un ensayo sobre índices de vegetación y variables biofísicas (Clevers, 2014), el autor expone que “Varios estudios han comparado muchos índices. El desempeño de los varios índices siempre es diferente, ya que depende de los conjuntos de datos específicos usados para el estudio, y cada vez el resultado indica que un índice diferente es el mejor. [...] Siempre se debe tener en cuenta el contexto teórico de un índice, su rango de validez y su propósito, y luego usar un índice tanto como sea posible interpretando resultados que sean mutuamente comparables espacial y temporalmente.”

NDVI

El índice NDVI (Rouse et al., 1973) ha demostrado su utilidad para el estudio de características de la vegetación (CHUVIECO et al., 2002) y como Índice cuantitativo del funcionamiento de los ecosistemas (Rodríguez & Bullock, 2013).

Resulta del cociente normalizado entre bandas espectrales que al mostrar un claro contraste entre las bandas visibles (0,6 a 0,7 μm) y el infrarrojo cercano (0,7 a 1,1 μm) permiten identificarla vegetación de otras superficies (CHUVIECO et al., 2002)

El NDVI varían entre -1 y +1, mientras mas se acerque el valor a +1 se revela una mayor actividad fotosintética y una estrecha relación con la evapotranspiración. En palabras mas simples, un NDVI elevado se correlaciona con zonas de vegetación (Ríos & Zurita, 2014). La clasificación propuesta para los rangos de NDVI se muestran en el **Cuadro 1**

Cuadro 1 Rango de clasificación para la cobertura de la tierra en relación al valor del NDVI (Ríos & Zurita, 2014)

Clase	Valores de NDVI	Cobertura	Descripción
1	-1 – -0.1	Clases no vegetales	Ríos, quebradas, lagunas, nubes
2	-0.1 – 0.15	Tierra Desnuda	Tierras degradadas, asentamientos, vías, suelos sin cobertura vegetal
3	0.15 – 0.25	Vegetación Dispersa	Tierras cultivadas, herbazales, arbustos, pastizales, terreno arado para cultivo
4	0.25 – 0.4	Vegetación Abierta	Vegetación leñosa, plantación arbustiva, bosques seco
5	0.4 – 1	Vegetación cerrada	Plantas densas en crecimiento, bosque húmedo

Es de igual importancia mencionar que para el presente proyecto se manejará un valor de 0.25, considerando que los valores de vegetación abierta comienzan a reflejar valores en un rango de 0.25 como valor límite.

Las imágenes satelitales poseen una resolución determinada de acuerdo del tamaño del pixel, que resulta ser el mínimo elemento fotografiable (picture element), la resolución del NDVI entregada por las Imágenes Landsat 8 son de 30 metros.

Aplicaciones del NDVI

EL Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada posee numerosas aplicaciones, desde enfermedades en la vegetación pasando por el uso del suelo, porcentaje de cobertura de vegetación, planificación de áreas verdes, medición del stress hídrico hasta la productividad de los cultivos.

Ejemplos

- Influencia en agricultura de precisión (Gavilanes, 2020)
- Reconocimiento de cultivos y densidades (Giraldo, 2021)
- Calidad y salinización del recurso hídrico
- Tipo de riego y sus efectos en la producción y vigorosidad de la vegetación
- Deforestación (Cima Ruiz, 2021)
- Erosión y evolución de coberturas (Campos et al., 2018)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

La aplicación satelital permite el estudio en el mapeo de zonas forestales, política agrícola, heladas, incendios, silvicultura y rendimientos de cultivos.

Materiales

Se emplearon para la realización de las actividades la siguiente información y materiales:

1. Información disponible por parte del distrito de riego 030 Valsequillo, Puebla
 - a. Planos generales del distrito de riego 030
 - b. Planos de infraestructura existente
 - c. Información general del distrito de riego
 - d. Archivo shape correspondiente al parcelamiento general del distrito de riego 030.
2. Imágenes satelitales Landsat para el periodo de estudio
3. Software de licencia libre QGIS

Sitio de estudio.

El Distrito de Riego 030 (DR030), Valsequillo se ubica en el centro-sureste del estado de Puebla. Entre los paralelos 18°28'37" y 18°53'49" latitud norte y 97°27'19" y 97°55'57" longitud oeste. Cubre una superficie total de 32,865.6 hectáreas. Según los shapes facilitados por los documentos facilitados por el personal del distrito de riego 030, Tal como se muestra en la **Figura 3**

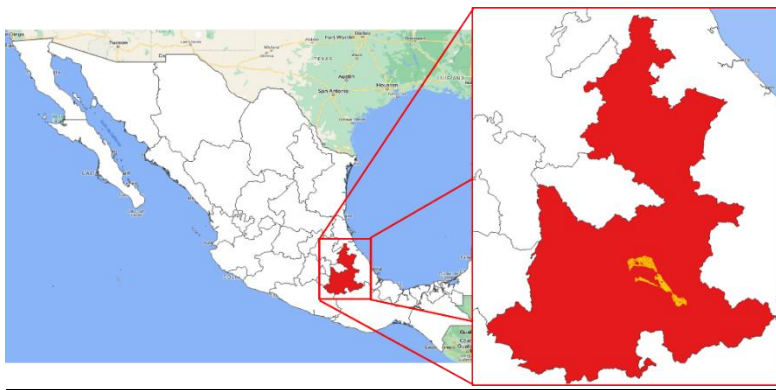


Figura 3. Ubicación Distrito de Riego 030.

Recopilación y sistematización

Superficie física, regable y regada

Con base al Padrón de usuarios el DR030 cuenta con una superficie física de 33,153.1 hectáreas, que atiende a un total de 17,325 usuarios, de dicha superficie 32,806.2 hectáreas son de riego y de acuerdo a las estadísticas agrícolas la superficie regada es de 21,252.15 hectáreas **Figura 4**.

Con base al modelo de información de sistema de información geográfica realizado en el 2009, la superficie calculada es de 33,604.1 hectáreas. La superficie regada reportada en el ciclo 2005-2006 de 19,553 ha, se ha mantenido por encima de este teniendo los mayores incrementos de riego para el periodo del 2007-2008 y el 2011- 2012, siendo en este último cuando mayor cantidad de superficie se rego con 21,937 ha. Desde el año 2012 la superficie se mantuvo por arriba de las 20,500 ha, salvo que para el 2014-2015 bajo la superficie, pero ya para el ciclo 2015- 2016 la superficie de riego se incrementó a 21,252 ha. (CONAGUA, 2017)

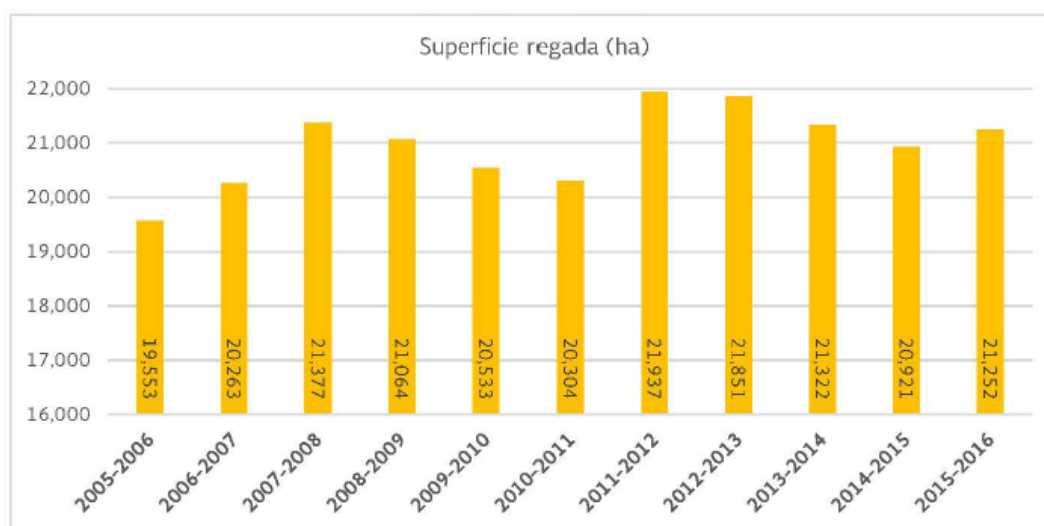


Figura 4. Evolución de la superficie regada del DR030, fuente Dirección Local de Puebla, DR 030 Valsequillo, Pue. Sociedad SRL Red Mayor. Fuente: (CONAGUA, 2017)

Adscripción Hidrológico Administrativa

El distrito de riego 030 se encuentra ubicado entre dos regiones hidroagrícolas **Figura 5**, Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas al oeste y Región hidrológico Administrativa Golfo Centro al este (CNA, 2001)

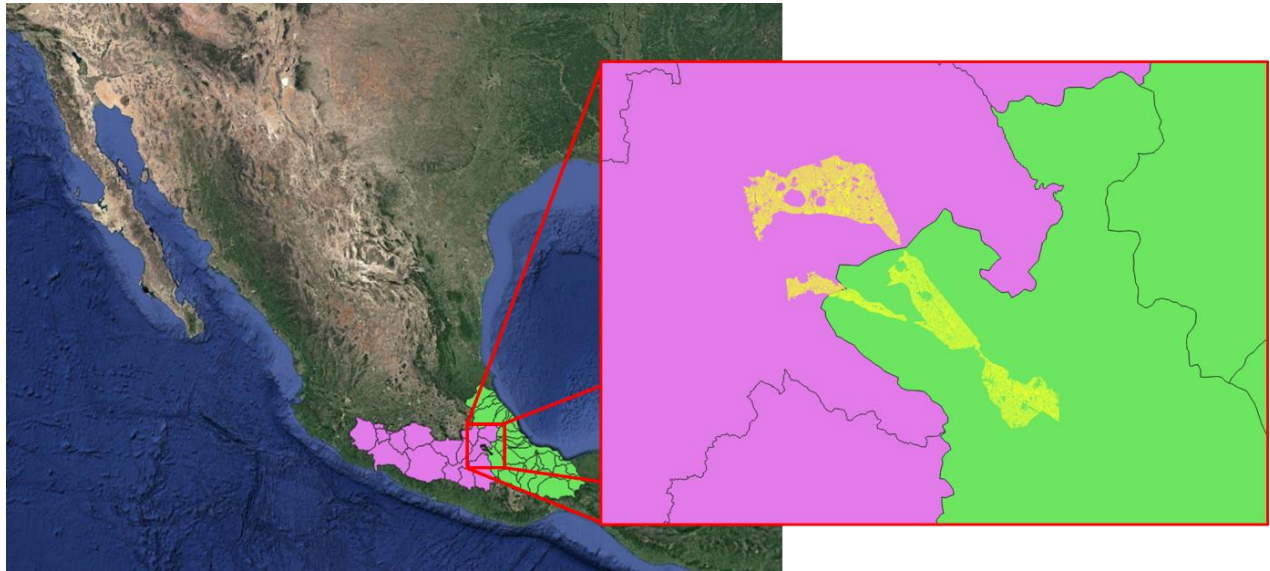


Figura 5. Adscripción Hidrologico Administrativa del distrito de riego 030 Balsas(Rosa) Golfo Centro (Verde)

Problemáticas

Es habitual encontrar problemáticas en las zonas de riego y el distrito de riego 030 no es la excepción. El personal del distrito de riego compartió principales problemas a los que el distrito de riego se enfrenta.

Estructurales:

1. Baja eficiencia de conducción debido a la insuficiencia en rehabilitación y modernización de canales, así como la necesidad de rehabilitación de los caminos de operación y acceso y de la infraestructura en general debido a la edad que tiene el distrito de riego, mismo que fue transferido en 1944.
2. Disminución de los volúmenes conducidos en drenes, debido a la insuficiencia de trabajos de desazolve en la red de drenaje del distrito.

De gestión:

1. Deficiencias en el conocimiento de las obligaciones y derechos de los usuarios del Distrito de Riego.
2. Se carece de información actualizada del Padrón de Usuarios, referente a las condiciones en que se encuentran los usuarios.
3. Ausencia de un programa de capacitación permanente en beneficio de los usuarios, técnicos y directivos del Distrito.
4. Se necesita la actualización del inventario de infraestructura debido a los cambios que ha tenido desde su creación.
5. Mínima vinculación entre usuarios del Distrito de Riego e instituciones crediticias.
6. Desconocimiento de los Usuarios del Distrito de Riego de todos los programas y componentes que opera la SAGARPA en los cuales son población objetivo.
7. Baja capacidad financiera de los pequeños productores, siendo esto una limitante para el acceso a programas de apoyo del gobierno.

Inseguridad

La superficie del distrito cae dentro de la zona conocida como el triangulo rojo. Geográficamente Puebla ha sido afectada por diversos grupos delictivos, el problema histórico del robo de combustible junto con el incremento en la delincuencia de robo a vehículos, transeúntes, etc.

El tema de inseguridad y violencia afecta de manera importante a la operación y funcionamiento del Distrito de Riego 030 Valsequillo debido a que reduce las horas laborables, aumenta la incertidumbre de los trabajadores y reduce la participación de los usuarios debido a que se genera un ambiente de desánimo.

Durante la realización de este proyecto se recomendó tener cuidado en el movimiento y reconocimiento de la zona ya que se vive un clima de inseguridad por luchas entre grupos delictivos, “levantones” y horas que se consideran peligrosas para hacer recorridos.

En los últimos años Tecamachalco a tenido un incremento considerable en desapariciones con respecto al promedio en los municipios de Puebla. (El sol de Puebla, 2022)

El clima de inseguridad afecta de manera directa a los productores ya que son de los mismos afectados, también se ve involucrado el distrito y su infraestructura. En 2021, se encontraron en el dren principal los cuerpos de nueve personas y hasta mayo del 2022 la cifra de cuerpos hallados era ya de cuatro según periódicos locales (municipios Puebla, 2022)

Contaminación

Es importante mencionar que la presa Manuel Ávila Camacho se encuentra tanto en latitud como altitud por debajo de la ciudad de Puebla y varios municipios conurbanos, por lo que desde hace ya varios años se reportan problemas de contaminación que se han ido incrementando. Se han presentado casos de espuma en los canales que reflejan un problema importante de contaminación y baja calidad del agua.

Actualmente existen dos factores principales que generan la espuma: empresas lavadoras de mezclilla "que usan jabones muy duros" en sus procesos, así como fertilizantes de fosfato diamónico, monoamónico, de sustato triple y de sustato simple, los cuales son empleados por agricultores de municipios conurbados a Puebla capital. (MILENIO, 2021)

Recursos Naturales

Clima

Se usaron para la climatología la información de las estaciones meteorológicas que se encuentran en los alrededores de la zona. Considerando los parámetros de temperatura precipitación, evaporación; con datos del periodo de 1981-2010 (SMN, 2022), las estaciones meteorológicas contempladas se muestran en la **Figura 6**

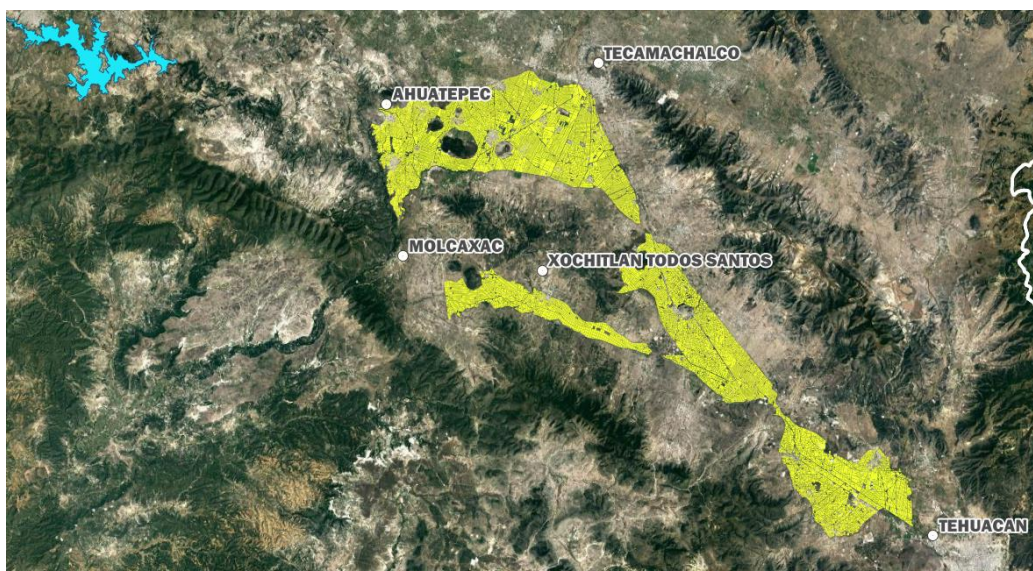


Figura 6. Estaciones Climáticas aledañas al DR030. Fuente: (SMN, 2022)

Se obtuvo la información de las normales climatológicas (SMN, 2022) de las 5 estaciones meteorológicas distribuidas en los alrededores del distrito de riego 030.

- 00021007 AHUATEPEC
- 00021082 TECAMACHALCO
- 00021083 TEHUACAN
- 00021102 XOCHITLAN TODOS SANTOS
- 00021203 MOLCAXAC

En el **Cuadro 2** se muestra la información general de las estaciones mencionadas. Los valores se obtienen abarcando un periodo de datos desde 1981 hasta 2010. Un periodo de lluvia de mayo a septiembre con precipitación anual promedio de 535.6 mm

Cuadro 2. Estaciones climatológicas

Estación	Altura	Latitud	Longitud	Temp. Media C°	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
AHUATEPEC	2,026.00	18°52'10" N	097°55'11" W	18.30	534.30	1,765.40
TECAMACHALCO	2,229.00	18°53'54" N	097°43'41" W	15.70	560.00	1,890.00
TEHUACAN	2,416.00	18°27'50" N	097°23'35" W	18.10	485.10	1,718.20
XOCHITLAN TODOS SANTOS	1,950.00	18°43'16" N	097°47'06" W	18.20	536.40	2,133.90
MOLCAXAC	1,727.00	18°44'18" N	097°54'40" W	18.70	562.00	2,156.70

Con los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas se obtuvo que las temperaturas varían entre los rangos mostrados en el **Cuadro 3**. La estación con mayor variación fue la de Xochitlan todos santos, y la estación con menor variación es Tehuacan. Se obtuvo que la temperatura media mensual es de 17.77° y oscila entre 8.73° a 26.82°.

Cuadro 3. Mínimas medias y máximas de estaciones meteorológicas

	Estación	MINIMA	MEDIA	MAXIMA
1	AHUATEPEC	9.40	18.25	27.10
2	TECAMACHALCO	6.53	15.66	24.79
3	TEHUACAN	9.98	18.09	26.23
4	XOCHITLAN TODOS SANTOS	8.03	18.18	28.34
5	MOLCAXAC	9.68	18.66	27.63

Considerando los registros históricos para temperaturas promedio, el mes más caluroso del año es mayo y el más frío enero **Cuadro 4**. La estación con la temperatura promedio más alta es Molcaxac y la estación con la menor temperatura es Tecamachalco.

Cuadro 4. Temperaturas promedio históricas en estaciones meteorológicas

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AHUATEPEC	15.3	16.7	18.1	19.8	20.5	20.0	19.2	19.5	18.7	18.5	16.9	15.8
TECAMACHALCO	12.3	13.2	15.3	17.3	18.4	18.1	17.0	16.9	16.6	15.8	14.1	12.9
TEHUACAN	14.4	15.9	18.2	20.6	21.2	20.5	18.9	19.4	19.2	17.7	16.0	15.1
XOCHITLAN TODOS SANTOS	16.6	17.2	18.2	19.0	19.3	19.4	18.7	18.9	18.8	18.4	17.1	16.6
MOLCAXAC	15.4	16.7	18.5	20.6	21.4	20.6	19.6	20.0	19.4	18.5	17.2	16.0

La evaporación es mayor para los meses de abril y mayo con una evaporación anual promedio de 1932.84 mm **Cuadro 5**, se pueden apreciar los valores en la **Figura 7**. (SMN, 2022)

Cuadro 5. Evaporaciones mensuales promedio

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AHUATEPEC	132.5	128.8	145.5	166.7	166.6	152.0	161.3	151.8	137.4	146.4	138.4	138.0
TECAMACHALCO	137.0	155.0	193.4	195.6	199.4	164.5	159.3	160.9	133.8	135.2	131.6	124.3
TEHUACAN	104.4	120.1	170.6	200.7	182.5	162.5	150.6	154.5	130.4	126.8	109.5	105.6
XOCHITLAN TODOS SANTOS	162.1	155.1	193.2	190.0	200.7	171.5	187.7	193.6	171.2	177.6	169.7	161.5
MOLCAXAC	146.8	169.7	211.3	226.7	224.6	191.9	195.1	181.3	157.3	164.9	149.5	137.6

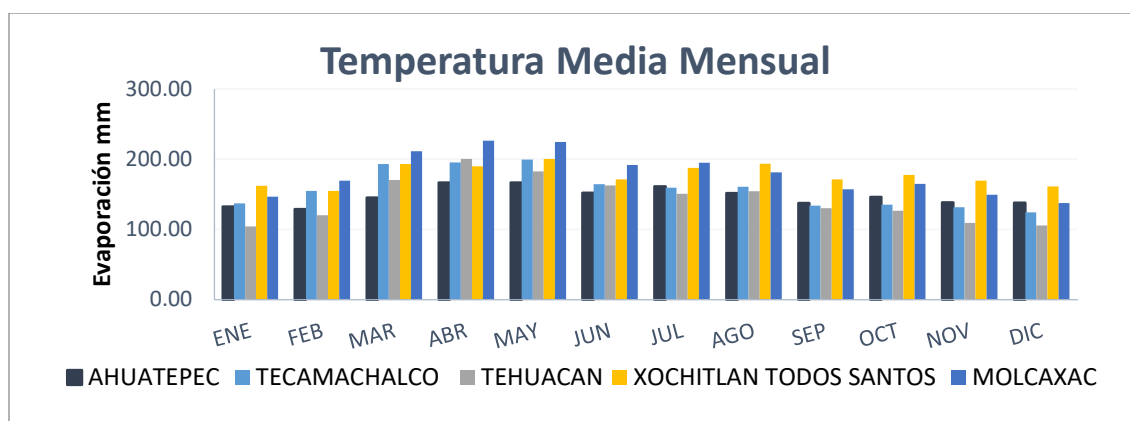


Figura 7. Grafica *Temperatura mensuales promedio*

La temperatura máxima promedio mensual se presenta en los meses de abril y mayo con valores promedios de 29.6° y 29.7°, es importante mencionar que la estación molcaxac es la que presentó las temperaturas máximas más intensas. **Cuadro 6**

Cuadro 6. Temperatura máxima mensual en el periodo de 1981-2010 (SMN, 2022)

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AHUATEPEC	24.7	26.5	27.9	29.5	29.8	28.1	27.4	27.5	26.2	26.5	26.1	25.3
TECAMACHALCO	22.6	23.2	25.8	27.6	27.6	26.2	24.9	24.8	24.2	24.1	23.4	23.1
TEHUACAN	23.1	25.1	27.8	30.2	30.0	27.9	25.8	26.6	25.9	24.9	24.1	23.3
XOCHITLAN TODOS SANTOS	26.7	27.4	29.2	30.0	30.2	29.4	28.5	28.6	28.3	28.0	27.3	26.5
MOLCAXAC	25.0	26.6	28.9	30.7	30.8	28.5	27.3	28.2	26.7	26.9	26.5	25.4

La temperatura mínima promedio más baja se presenta en los meses de diciembre y enero con 5.28° y 5.2°; siendo la estación de Tecamachalco donde se han registrado las menores de ellas. **Cuadro 7** los valores se pueden apreciar en la **Figura 8**

Cuadro 7. Temperatura mínima mensual en el periodo de 1981-2010 (SMN, 2022)(CONAGUA, 2017)

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AHUATEPEC	5.9	6.9	8.2	10.1	11.2	11.9	11.0	11.4	11.3	10.4	7.7	6.4
TECAMACHALCO	2.1	3.1	4.8	7.0	9.1	10.1	9.1	9.0	9.0	7.4	4.8	2.8
TEHUACAN	5.7	6.8	8.6	11.0	12.4	13.2	12.1	12.2	12.5	10.6	7.9	6.8
XOCHITLAN TODOS SANTOS	6.5	6.9	7.3	8.1	8.3	9.5	8.9	9.3	9.3	8.8	6.9	6.6
MOLCAXAC	5.8	6.7	8.2	10.5	12.0	12.6	11.8	11.9	12.0	10.1	8.0	6.6

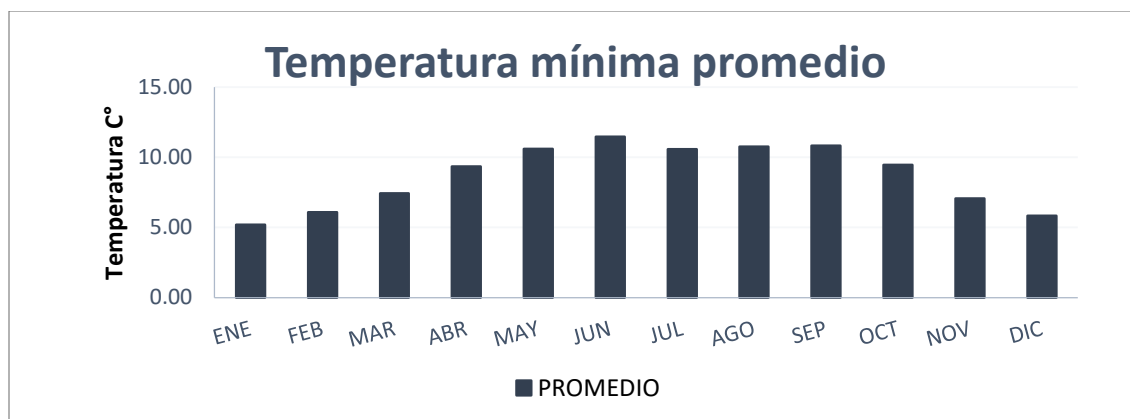


Figura 8. Gráfico de la temperatura mínima promedio. (SMN, 2022)

De acuerdo a los datos de precipitación y evaporación obtenidos por promedio en las cinco estaciones; la evaporación se mantiene siempre superior a la precipitación. Esta situación genera la necesidad de realizar riegos para las áreas de cultivos. Se puede observar que las lluvias comienzan de manera activa en el mes de mayo con precipitaciones máximas en junio de 115.36 mm, se puede considerar que la zona cuenta con periodo de lluvias de mayo a septiembre. **Figura 9**

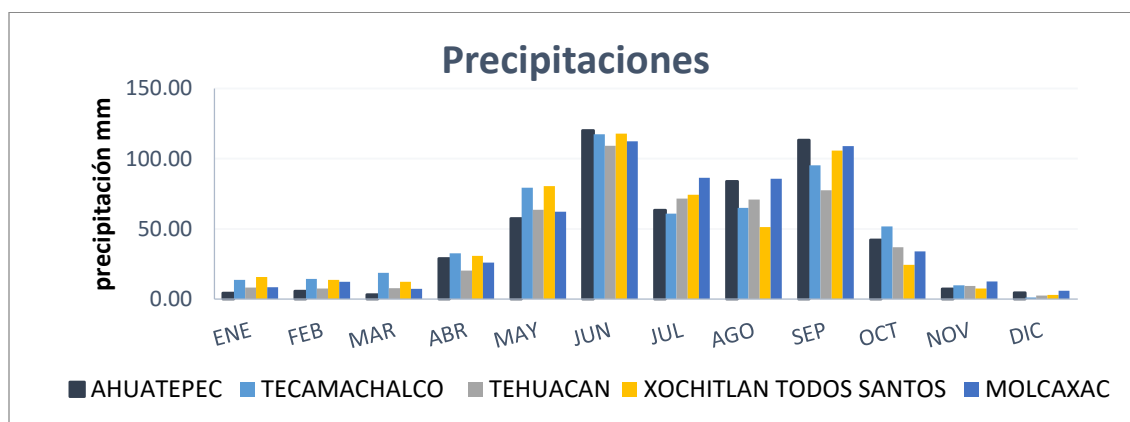


Figura 9. Gráfico de la precipitación de las cinco estaciones aledañas a DR030 y el promedio del periodo 1981-2010. Fuente: (SMN, 2022)

Se obtiene por lo tanto, teniendo en cuenta las precipitaciones promedio y las evaporaciones promedio de la zona, el **Cuadro 8** y la **Figura 9** donde se observa la variación que existe entre estas dos variables y que demuestra un déficit con respecto a la evaporación aplicable a todo el año, haciendo del riego un elemento fundamental para los agricultores.

Se puede observar que el mayor déficit corresponde al mes de marzo con una diferencia de 172 mm, siendo este el mes que presenta mayor escasez de agua.

Cuadro 8. Tabla de precipitaciones y evaporaciones promedio

	PRECIPITACIÓN PROMEDIO	EVAPORACIÓN PROMEDIO
ENE	10.04	136.56
FEB	10.66	145.74
MAR	9.84	182.8
ABR	27.66	195.94
MAY	68.64	194.76
JUN	115.36	168.48
JUL	71.26	170.8
AGO	71.32	168.42
SEP	100.18	146.02
OCT	37.84	150.18
NOV	9.32	139.74
DIC	3.44	133.4

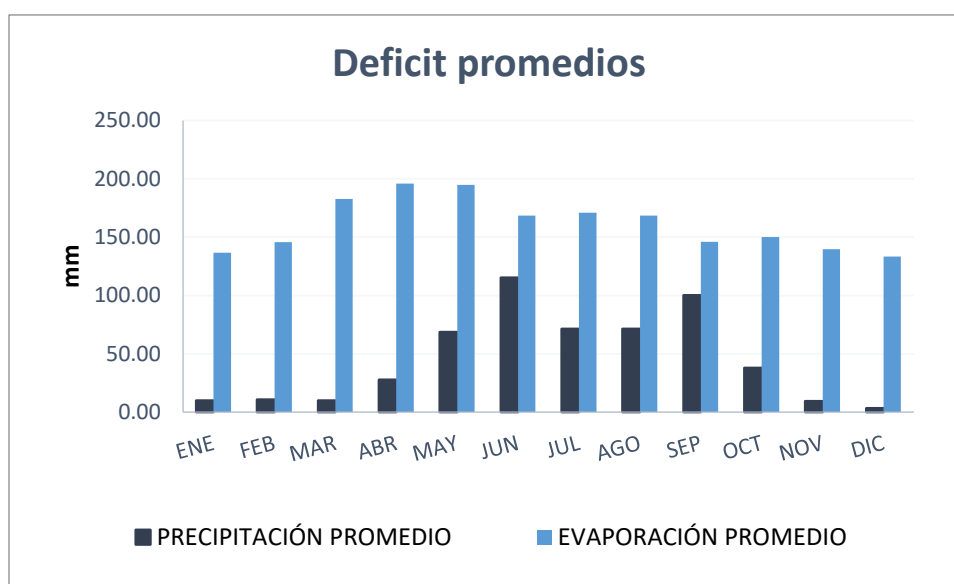


Figura 10. Precipitaciones y evaporaciones promedio. Fuente: (SMN, 2022)

Fuentes de agua

Cuenca

El vaso de almacenamiento del DR030 se encuentra en la cuenca del río Alto Atoyac mientras que parte de la superficie del distrito se encuentra en la cuenca del río Bajo Atoyac, de manera específica los módulos de riego 1, 2, 3 y parte del 5; el resto de los módulos de riego se encuentran en la cuenca del río Salado **Figura 11**.



Figura 11. Cuenca del río Alto Atoyac (Verde), Cuenca río Bajo Atoyac (Azul), cuenca del río Salado (Naranja) (CNA, 2001)

Ríos y corrientes

El río de mayor importancia que se influye en la zona del distrito de riego 030 es el río Atoyac, proveniente del estado de Tlaxcala, mismo que riega el extenso valle de Puebla y Tlaxcala. Su cauce embalsa en la presa Manuel Ávila Camacho y de ahí sigue su recorrido hacia el suroeste como se puede apreciar en la **Figura 12**

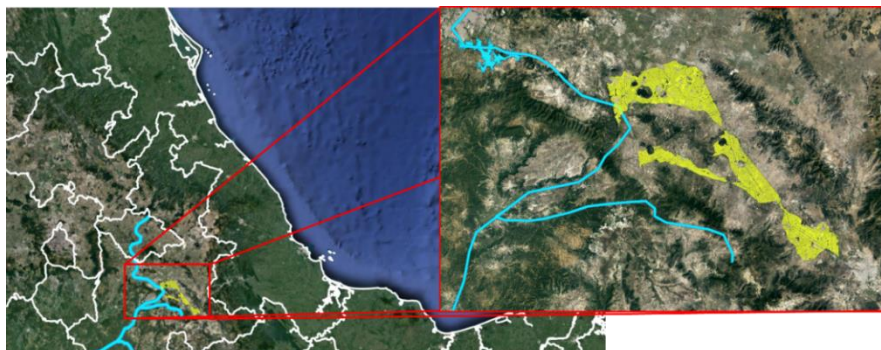


Figura 12. Río Atoyac y recorrido cerca del distrito Fuente: Documentación del Distrito 030

Presas de almacenamiento

La Presa de almacenamiento Manuel Ávila Camacho; está situada en las coordenadas 18° 54' 45.23" Latitud Norte y -98° 06' 30.08" Longitud Oeste, sobre el río Atoyac; se localiza en el municipio de Puebla, Puebla. **Figura 13**

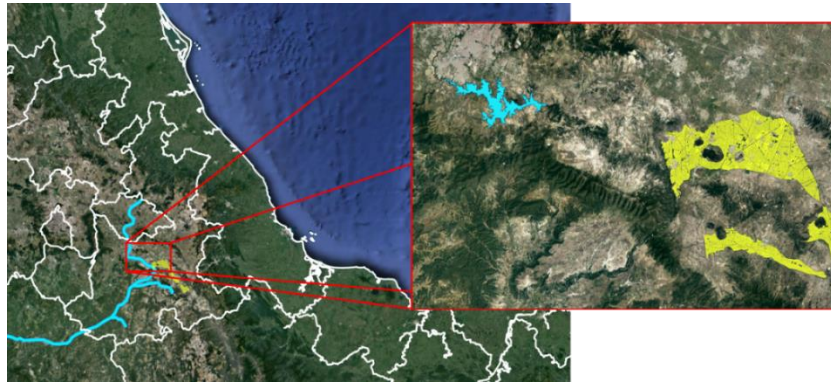


Figura 13. Presa de almacenamiento Fuente: Documentación del distrito de riego 030

La presa de almacenamiento cubre una superficie de 3,501 ha sobre su cota 2062, y aunque su volumen estimado sería de 410 Hm³ **Cuadro 9**, esta cifra actualmente es menor debido a los problemas de azolve que se tienen en la presa.

Cuadro 9. Volumen superficie presa Manuel Ávila Camacho

Altura	Volumen Hm3	Área ha
2027	4	49
2028	5	63
2030	8	103
2032	12	158
2034	15	198
2036	20	265
2038	25	331
2040	34	448
2042	45	589
2044	53	689
2046	75	957
2048	90	1132
2050	115	1412
2052	140	1675
2054	180	2064
2056	225	2451
2058	275	2821
2060	330	3155
2062	410	3501

Los resultados de la ecuación se pueden observar en la **Figura 12** que se observa a continuación.

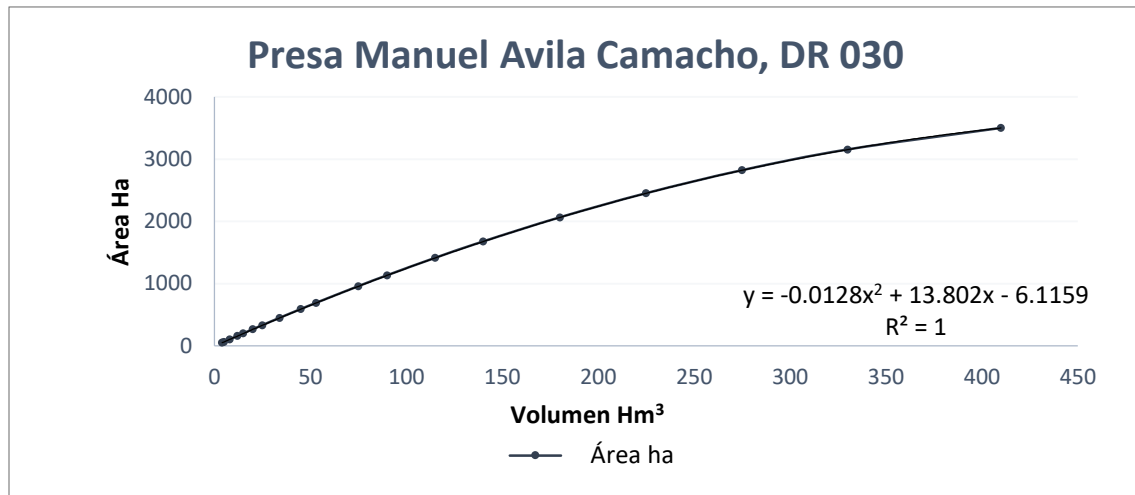


Figura 14. Curva relación Volumen-Área de la presa Fuente: Documentación del distrito de riego 030

Red de conducción

En la red de conducción transferida al distrito de riego se pueden encontrar secciones trapeziales y de herradura, la distribución de la red de conducción del distrito de riego 030 se puede apreciar en la **Figura 15**, donde podemos apreciar en líneas de color naranja la infraestructura en canales de la cual dispone el distrito.

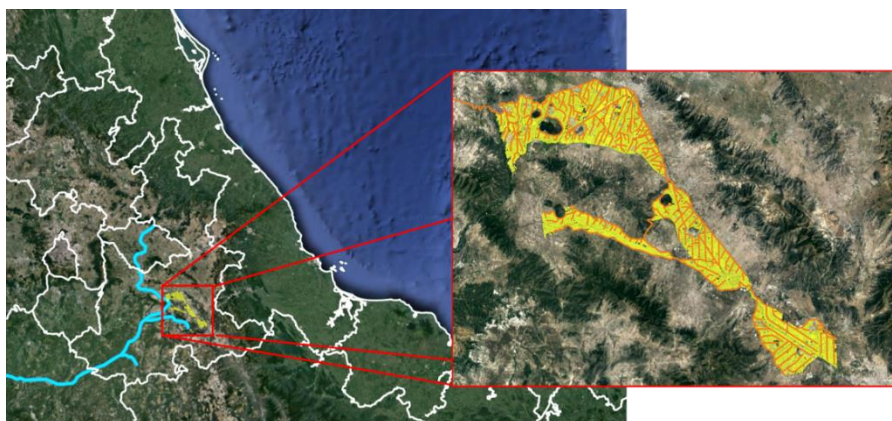


Figura 15. Red de conducción

Metodología

Las realizaciones de las actividades se llevarán a cabo mediante la siguiente metodología:

1. Obtención, acceso y descarga de las imágenes satelitales Landsat mediante la plataforma seleccionada.
2. Corrección atmosférica de las imágenes satelitales, utilizando la herramienta SCP de la plataforma QGIS
3. Creación de capas con valores NDVI, para llevar a cabo el primer reconocimiento de las áreas abarcadas por el distrito de riego
4. Manejo, edición y corte de las imágenes satelitales
5. Umbralización de las imágenes satelitales, para obtener con valores 0 y 1 aquellos pixeles que cumplan con los requisitos.
6. Obtención de suma y estadísticas para poder obtener los valores de superficies con presencia de cultivos.
7. Calculo y comparación de áreas parcelarias con los pasos empleados y aplicados.

Descarga de las imágenes

El proceso de descarga se realizó mediante la plataforma glovis, existen diferentes plataformas cuyo fin tiene la misma utilidad, esta opción fue la elegida debido a que contenía imágenes para los periodos solicitados.

Registro de usuario

La opción empleada para llevar a cabo la descarga de las imágenes LANDSAT se encuentra accediendo a la página <https://glovis.usgs.gov> a través de cualquier navegador de internet, el más popular es Chrome pero esta página se soporta para casi todos los navegadores **Figura 16**

La creación del usuario es de suma importancia ya que si no se accede con las credenciales no es posible la descarga de las imágenes, solamente se permite su visualización.

Una vez que accedemos a la página es muy importante ingresar con el nombre usuario y contraseña, esto se realiza dando clic en la opción de Login marcada con el recuadro rojo en la **Figura 16**

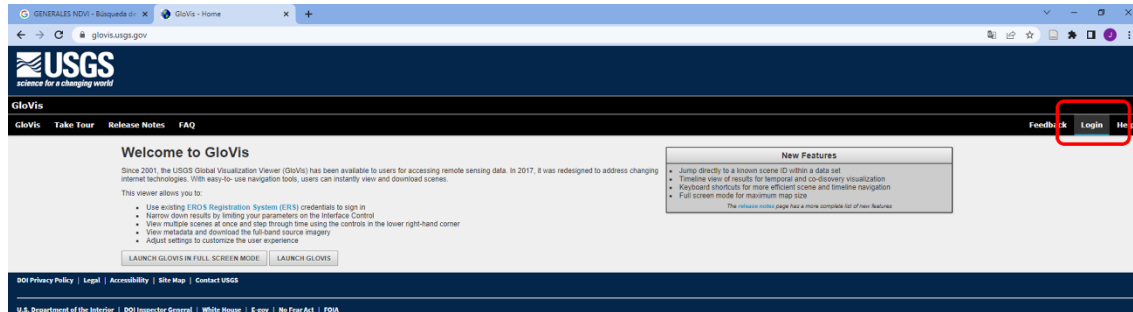


Figura 16. Pantalla principal de sistema GLOVIS

La plataforma nos enviará a una página donde ingresamos usuario y contraseña (en caso de tenerla) o bien en la parte inferior veremos la opción de crear un nuevo usuario. Como se muestra en la **Figura 17**.

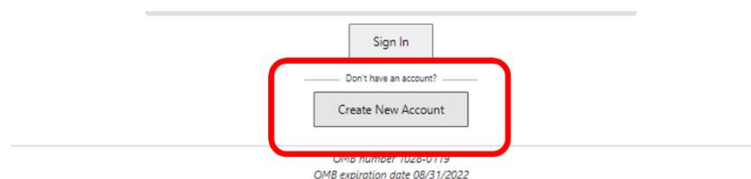


Figura 17. Ventana Login

Para llevar a cabo el registro, el sistema realizará un cuestionario que solicita en primera instancia, razones de uso que se dará la imagen y encuestas respecto al servicio usuario, se deben de llenar los campos como se muestra en la **Figura 18**

USGS
science for a changing world

EROS Registration System Change Password

The USGS EROS Center serves remote sensing data to many different types of users. It is important for us to know what data is being utilized by users and also how the data is being utilized. This information helps us continue to grow our services and interfaces based on the needs of the remote sensing community. General statistics are also valuable in showing the need of free and open data. Any Personally Identifiable Information (PII) is protected and is never shared with outside companies. Further detail regarding the USGS Privacy Policies can be found at <https://www.usgs.gov/learn/privacy.html>

All fields on this page are required.

In what sector do you work?

Select a sector

Which of the following characterizes you as a user of remotely sensed data from USGS?

Please check all that apply:

- ☐ Obtain/analyze remote data for corporate data use
- ☐ Find user ready data or products derived from the data to accomplish my work, including scientific research and education
- ☐ Obtain/analyze remote products derived from satellite imagery such as land cover maps
- ☐ Change business model and/or ways for the data services based on data which use the data
- ☐ Technical user work on technical issue specifically related to the imagery, the collection and validation

Other (please specify):

Does your work use remotely sensed data from the USGS?

No

What is the primary application for which you have used remotely sensed data from USGS in the past year?

Select a Primary Usage

In addition to the primary application, in what other areas have you used remotely sensed data from USGS in the past year?

Please check all that apply:

- ☐ Research in other areas
- ☐ Agricultural management/production/conervation
- ☐ Environmental monitoring
- ☐ Assessments and studies
- ☐ Alternative energy exploration/development
- ☐ Climate science/change
- ☐ Disaster recovery

Figura 18. Cuestionario para registro en GLOVIS

La siguiente página nos pedirá que asignemos un nombre de usuario y una contraseña, estas serán nuestras credenciales y es de importancia no extraviarlas y poder hallarlas con facilidad en caso de requerirlas. Posteriormente continuamos el registro dando clic en el botón del recuadro mostrado en la **Figura 19**

USGS
science for a changing world

EROS Registration System Change Password

Registration and login credentials are required to access all system features and download data from USGS EROS web services. To ensure privacy and security, ERS uses Hypertext Transfer Protocol with Secure Sockets Layer (HTTPS) to

To register, please create a username and password. The information gathered from the registration process is not distributed to other organizations and is only used to determine trends in data usage. Review USGS PII

The Cancel button can be used to exit the registration process at any time and information entered will be lost.

Username

username

New Password

password

Confirm New Password

password

☒ No say I'm a robot

Username Requirements

- Must be between 4 and 30 characters
- May contain alphanumeric characters
- May only contain the following special characters:
 - period "."
 - at sign "@"
 - underscore "_"
 - dash "-"

Password Requirements

- Must be between 12 and 34 characters
- Must contain at least one alphabetic character
- Must contain at least one numeric character
- May only contain the following special characters:
 - comma ","
 - hyphen "-"
 - period "."
 - pipe "|"
 - pound "#"
 - underscore "_"

GHF number: 1026-0119
GHF expiration date: 06/31/2022

Figura 19. Colocación de nuevo usuario y contraseña

En la siguiente ventana, tal y como se muestra en la **Figura 20** se debe de colocar toda la información personal solicitada. Y continuamos con el registro.

USGS
United States Geological Survey
EROS Registration System Change Password

Enter the address where we can contact you. We are privacy policy, we do not share any information that you provide.
Contact User Services if you are a business partner or if you qualify for special ordering options.

First Name
Last Name
Company/Organization
Address 1
Address 2
Select a Country
City
State/Province
Zip/Postal Code
E-mail
Refuge E-mail
Alternative E-mail

Figura 20. Información personal para registro GLOVIS

Una vez que se han llenados los campos, confirmamos la información que hemos vertido en la ventana que se nos muestra (**Figura 21**)

USGS
United States Geological Survey
EROS Registration System Change Password

Please review the information before completing the registration process. Return to the User Credentials, Contact Demographic, or

User Information
Username: usuariodemo

Contact Information
Name: first name last name
Email: toje+5532@usgs.com
Telephone: 595 95 11 26 45
Address: company, address1, address2, mexico, mexico 56210, MEXICO

Demographic Information
Operational Work Percentage: 50%
Non-Operational Work Percentage: 50%
Free and Open Access Importance: Somewhat Important
Distribution Amount: A little of the data
Primary Usage: Education: K-12
Secondary Usage: Agriculture forecasting
Usage Characteristics: Product developer (create products derived from Landsat imagery, such as land cover maps)
Affiliation: General Public

Submit Registration

OMB number 3208-0119
OMB expiration date 06/31/2022

Figura 21. Comprobación de información

Recibiremos un correo electrónico donde validaremos que nuestra información está correcta y se nos permitirá acceder con las credenciales que creamos **Figura 22**, es muy importante acceder con un perfil de usuario ya que en caso contrario no podremos descargar las imágenes.

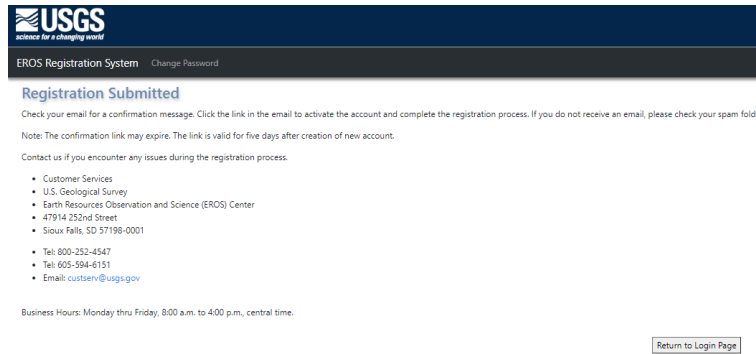


Figura 22. Validación de información.

Accede a la pagina

Para acceder a la página ingresamos al link de la plataforma glovis y seleccionamos la opción de Login **Figura 23.**

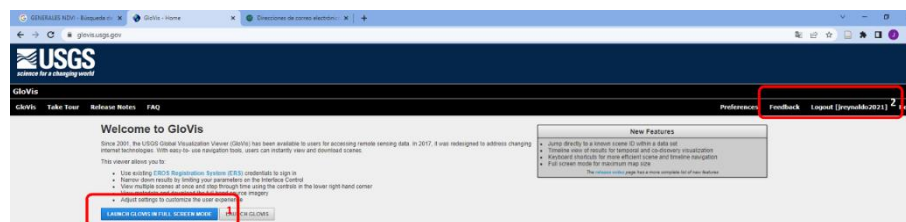


Figura 23. Ventana de inicio con Login realizado

Con nuestro perfil de usuario creado procedemos a ingresar al sistema. Colocamos nuestro usuario y contraseña y presionamos el botón “Sign In” **Figura 24.**

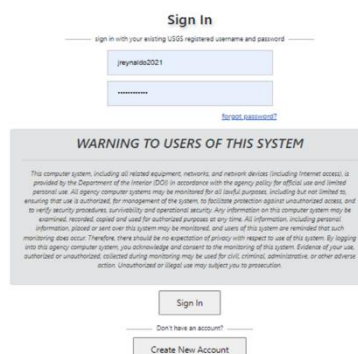


Figura 24. Ventana de inicio con datos de usuario

En la **Figura 25** se muestra el panel de navegación del sistema. Cada una de las secciones nos permitirán realizar la descarga de las imágenes buscadas.

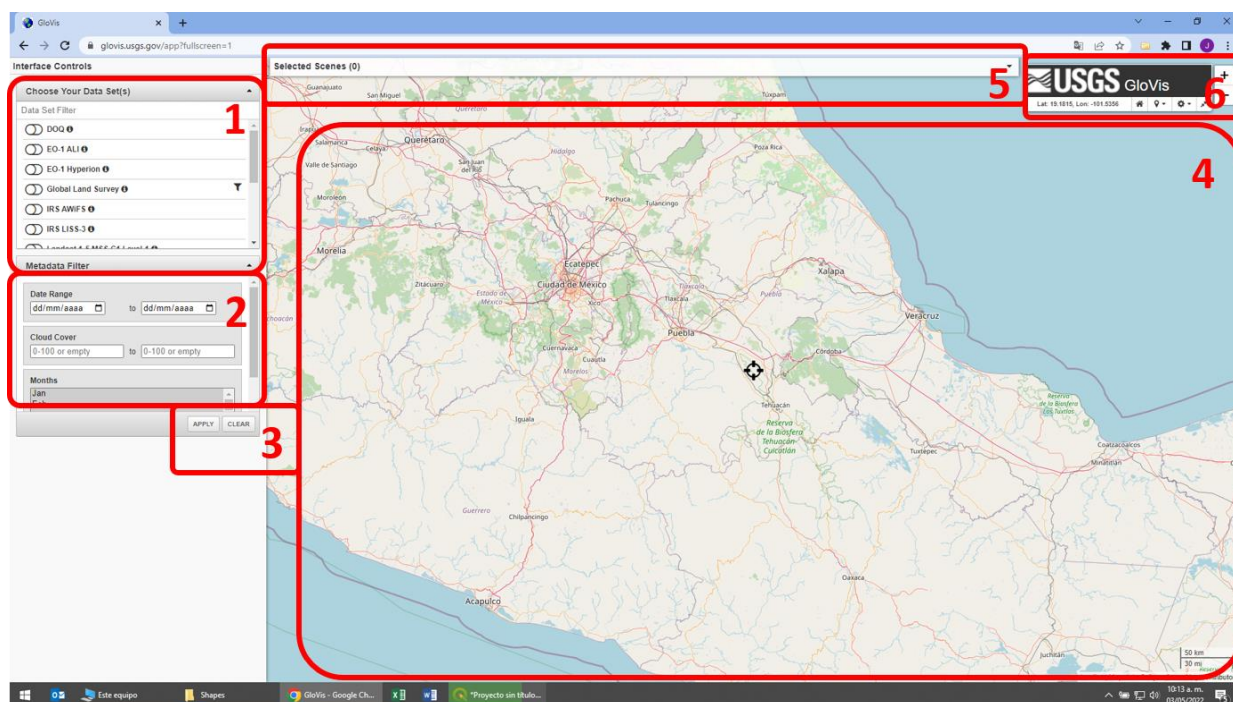


Figura 25. Panel de descargas, ventana principal. Fuente: GLOVIS

1. Selección de tipo de imágenes satelitales
2. Selección avanzada para indicar fechas, porcentaje de nubes y otros
3. Botón para búsqueda y aplicar cambios
4. Área con el cual se indica la búsqueda de las imágenes
5. Listado de imágenes seleccionadas
6. Panel de ubicación geográfica

Una vez que se realiza la búsqueda de las imágenes se mostrará una línea de tiempo y los botones de descarga tal y como se muestra en la **Figura 26**, donde se puede ver que el recuadro 1 corresponde a la línea de tiempo de las imágenes encontradas, y el recuadro 2 corresponde a las opciones de descargas, entre las que destaca el botón de descarga.

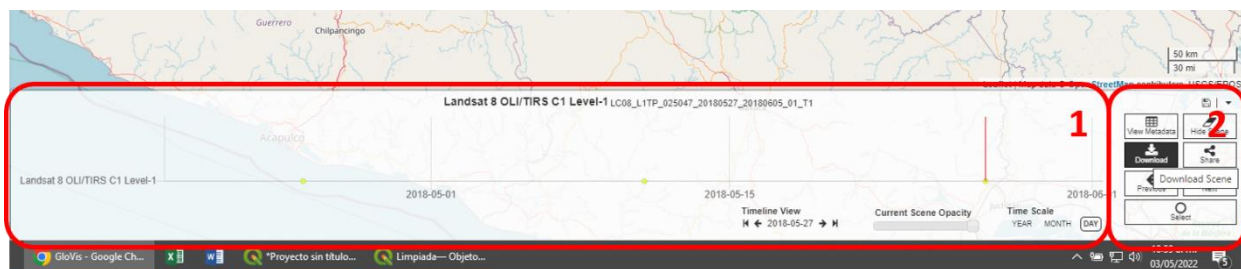


Figura 26. Línea de tiempo para descarga de imágenes satelitales

Una vez que hemos seleccionado la imagen que se desea descargar se mostrará una ventana de descarga antes de comenzar el almacenamiento en el equipo. **Figura 27**

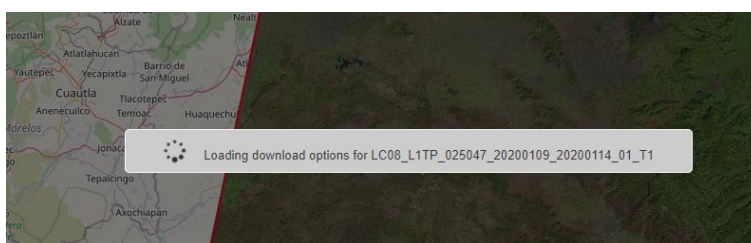


Figura 27. Ventana que indica la descarga de imágenes

De las opciones mostradas en **Figura 28** procederemos a descargar la imagen Geo TIFF ya que este archivo contiene todas las bandas e información que generan los satélites, en caso de que solamente se quiera mostrar la imagen o uno de los juegos de bandas habituales, se puede seleccionar las otras opciones. .

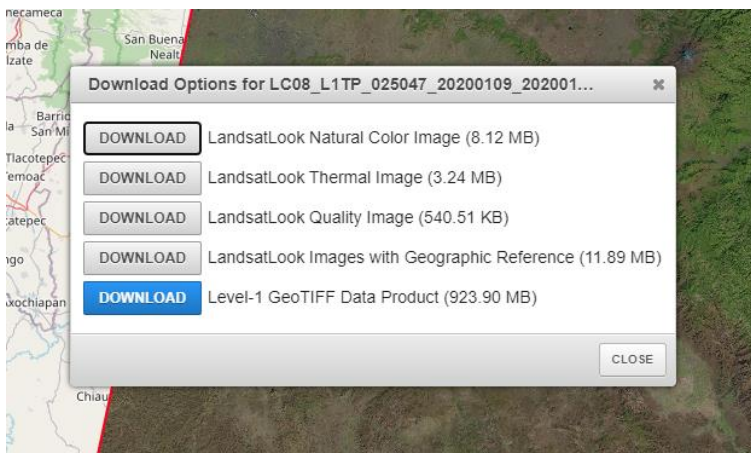


Figura 28. Selección de descarga Geo TIFF

Corrección atmosférica

El sistema de software código abierto QGIS emplea una herramienta que permite llevar a cabo la corrección atmosférica entre diversos tipos de complementos adicionales. Este complemento se conoce como SCP y se emplea utilizando el método DOS1/CHAVEZ o conocido también como el método de objeto oscuro.

Corrección atmosférica DOS 1 “Método de chavez”

El método DOS1 (Dark Object Straction) es un método que considera como corrección los pixeles oscuros.

La lógica propuesta para la realización de esta corrección considera que para los objetos oscuros como sobras u objetos de agua se debe de tener una radiancia uniforme y a su vez esta radiancia debe ser igual a 0.

Esta metodología propuesta fue desarrollada por (Chavez, 1996) y considera que en los objetos oscuros cualquier medida diferente a 0 de radiancia se interpretaría como una lectura consecuencia del efecto de dispersión. Por lo tanto para mejorar la corrección se considera este criterio para todas las capas. La formula empleada por el software es la siguiente.

$$\rho_k = \frac{D * \pi(L_{sen,k} - L_{a,k})}{E_{sun,k} * \cos\theta_i \tau_{k,i}}$$

Donde:

ρ_k = Reflectividad de la superficie o reflectividad real;

$L_{sen,k}$ = Radiancia espectral recibida por el sensor en la banda k ($Wsr^{-1} m^{-2} \mu m^{-1}$);

$L_{a,k}$ = La radiancia aportada por la dispersión atmosférica

D = Es el factor corrector de la distancia Tierra-Sol en unidades astronómicas;

$\tau_{k,i}$ =Valores promedio de transmisividad atmosférica que afecta al rayo incidente.

El procedimiento para realizar la corrección en Qgis se muestra a continuación.

Método scp

Para llevar a cabo la corrección atmosférica utilizando el complemento SCP del software libre QGIS se accede entrando al menú SCP/ Pre procesamiento/ Landsat como se muestra en la **Figura 29**. Es importante hacer notar que el complemento considera el pre procesamiento para otro tipo de imágenes satelitales.

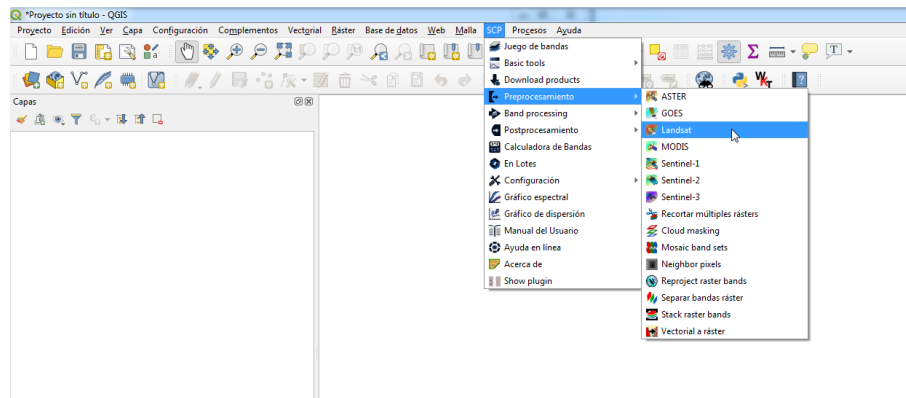


Figura 29. Menú de pre procesamiento

En la ventana que se abre se debe de indicar la carpeta origen donde se encuentran las capas satelitales que hemos descomprimido, presionarnos el icono que aparece marcado como inciso 1 en la **Figura 30** y seleccionar la carpeta donde se encuentran los archivos.

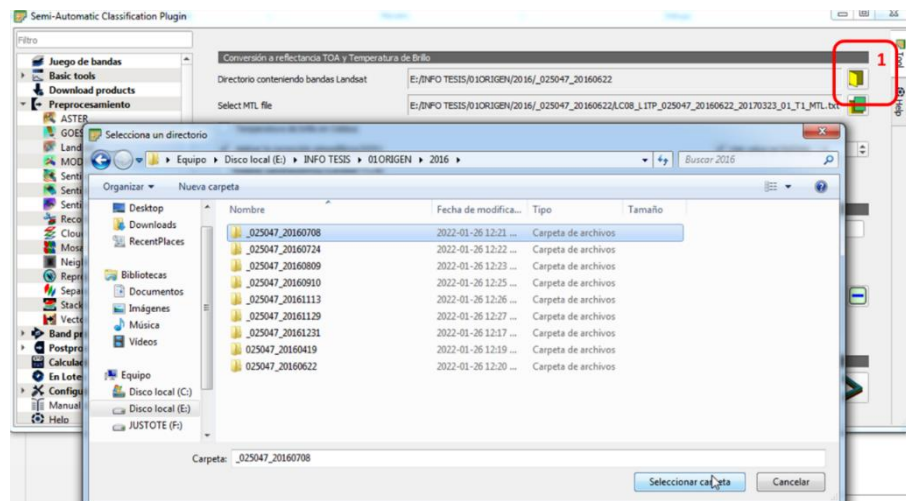


Figura 30. Selección de capas

Una vez que se ha seleccionado los archivos se debe de indicar el archivo formato *.MTL que normalmente se encuentra en la misma carpeta, en caso de que el archivo se encuentre en una carpeta diferente se debe indicar su ubicación como se muestra en **Figura 31**.

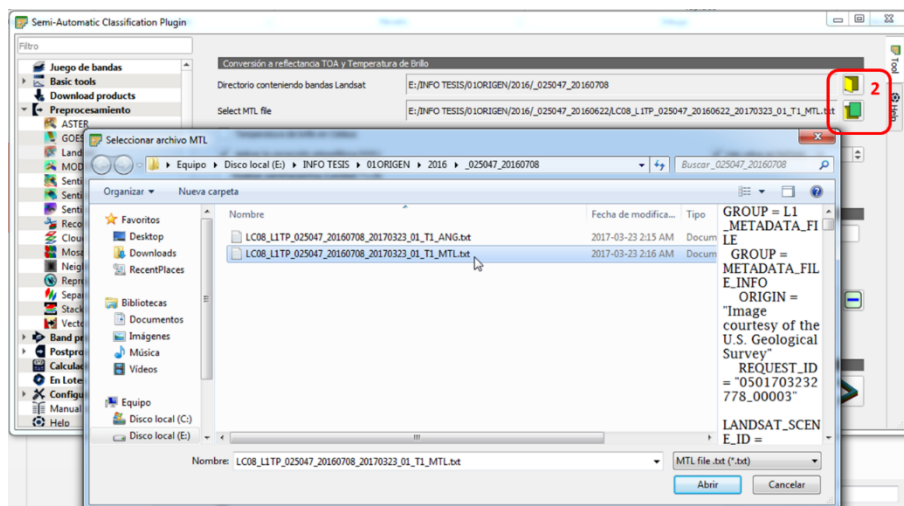


Figura 31. Selección de archivo MTL

Para llevar a cabo la corrección atmosférica se debe asegurar que los campos identificados con el número 3, 4 y 5 en la **Figura 32** se encuentren habilitados antes de correr el complemento. Una vez que se han verificado esos campos se debe ejecutar el comando presionando en el botón identificado con el número 6 de la figura antes mencionada.

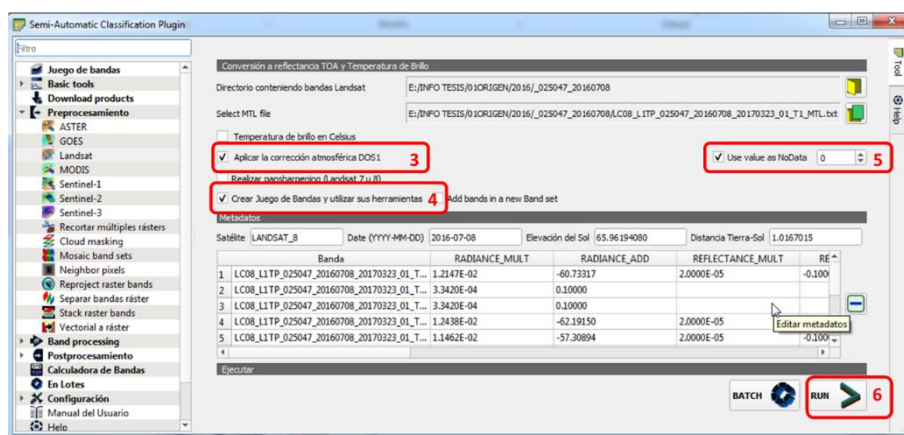


Figura 32. Selección e inicio de complemento para corrección

Cuando el comando se ejecuta se nos pide que indiquemos una carpeta donde se guardarán las capas resultados, procedemos a indicar la capa de destino y clic en aceptar

Figura 33

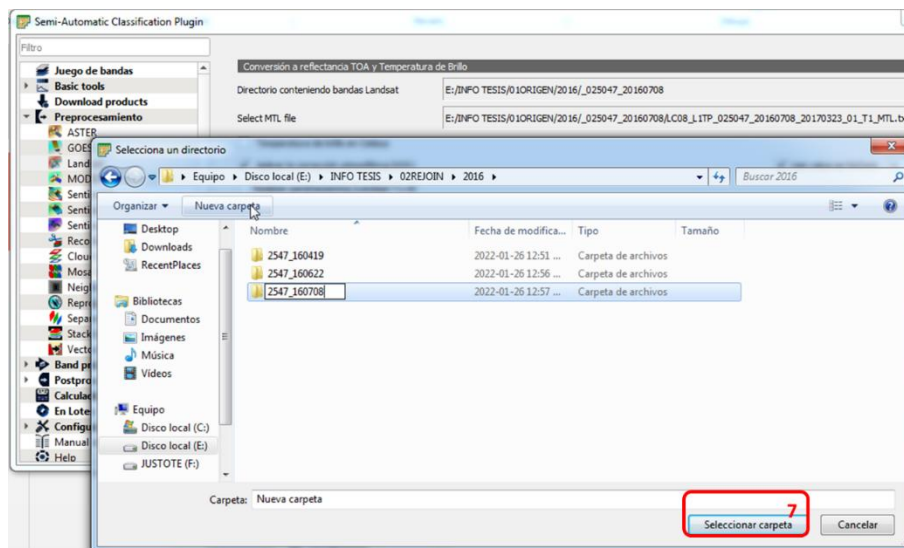


Figura 33. Creación de carpeta nueva

Una vez que se tienen los archivos generados y sin cerrar el módulo de SCP podemos generar una capa unida que contenga a todas las bandas que se emplean. Para llevar a cabo esta unión de capas seleccionaremos la opción de “Stack Bands” identificada con el número 8 en la **Figura 34**. Y posteriormente ejecutamos el comando dando clic en el botón identificado con el número 9.

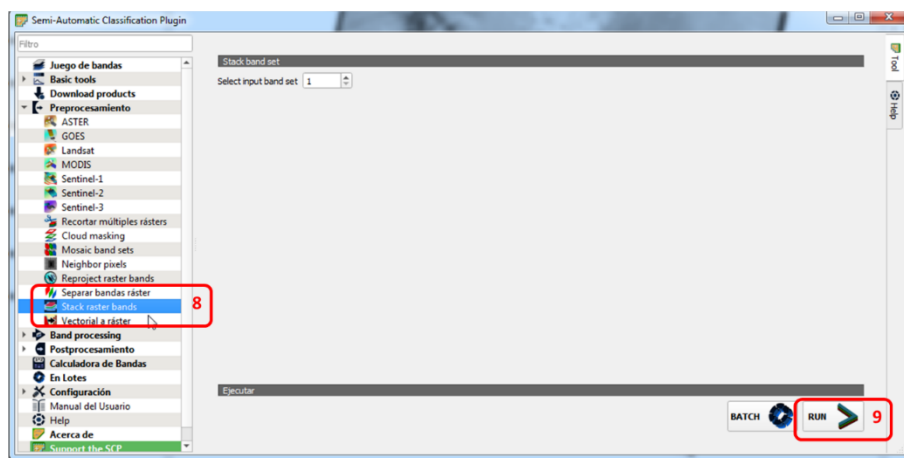


Figura 34. Unión de Bandas

El comando nos pedirá el nombre que se va asignar a nuestra imagen en lotes e indicamos el nombre y el lugar donde se guardarán, confirmamos en el botón guardado identificado por el número 10 de la **Figura 35**

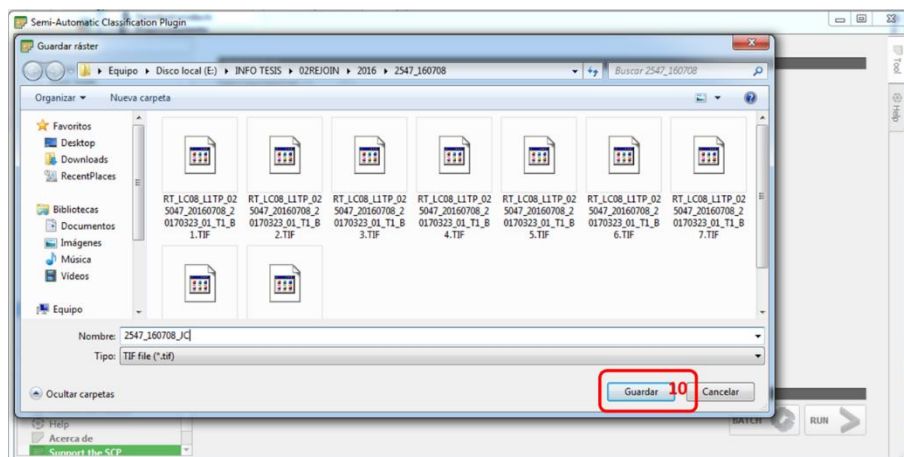


Figura 35. Guardado de imagen

En la **Figura 36** se puede apreciar las imágenes resultado, la imagen satelital mostrada debe de asignarse en las bandas adecuadas para que los resultados visibles correspondan a un valor verdadero. Como el resultado contiene todas las bandas entonces es posible calcular los diferentes tipos de proyección de imágenes tales como color verdadero, infrarrojo cercano. Etc.

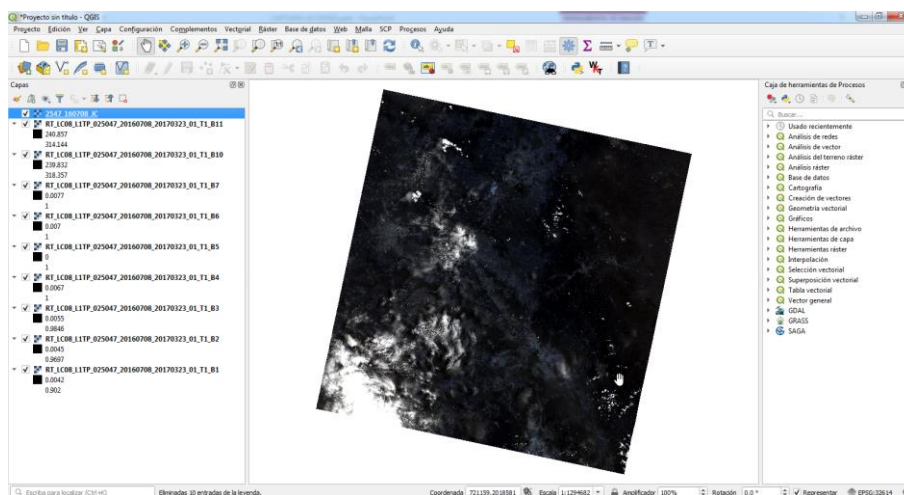


Figura 36. Imagen satelital unida

Creación de capas NDVI

Las capas NDVI emplean 2 capas pancromáticas de Landsat, mismas que corresponden a la banda 5 y banda 4. Mediante el uso de estas dos capas se puede generar una capa NDVI la cual nos permitirá diferenciar por pixel aquella refracción de cultivos a diferencia de otros elementos.

Para llevar a cabo esta capa se utilizará la calculadora Raster tal y como se muestra en **Figura 37**.

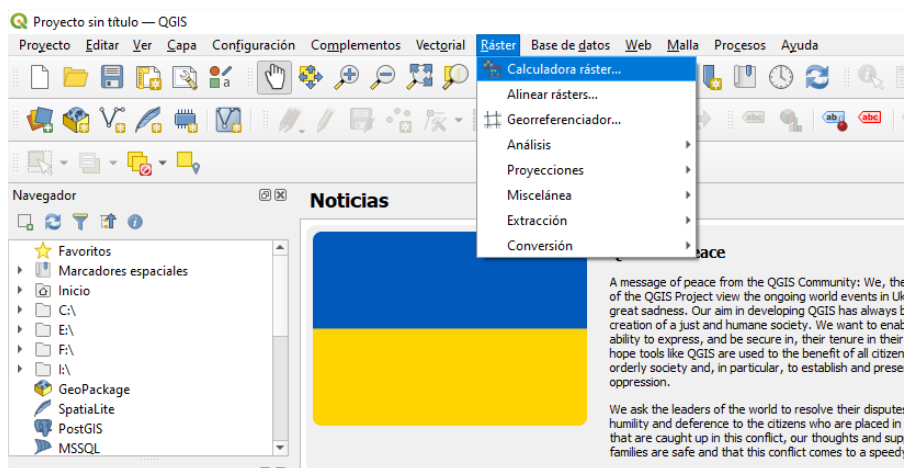


Figura 37. Calculadora Raster

En la ventana que nos muestra el sistema **Figura 38** se debe de colocar el nombre de salida que recibirá la imagen.

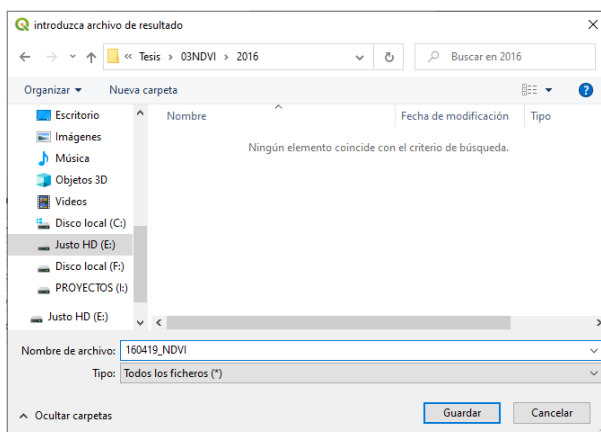


Figura 38. Guardado de imagen NDVI

La fórmula a ingresar considera la interacción entre la banda 5 y la banda 4 y su aplicación corresponde a:

$$\frac{\text{Banda5} - \text{Banda4}}{\text{Banda5} + \text{Banda4}}$$

Se observa de manera práctica su realización en la **Figura 39**

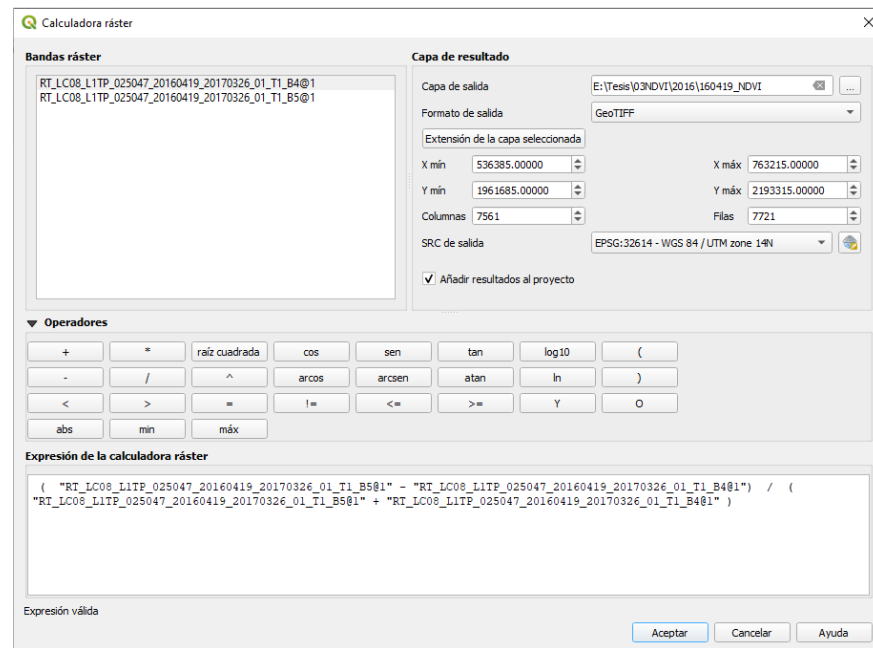


Figura 39. Fórmula para generar capa NDVI

Al hacer clic en aceptar podemos observar la manera en la que QGIS realiza el procedimiento. **Figura 40**

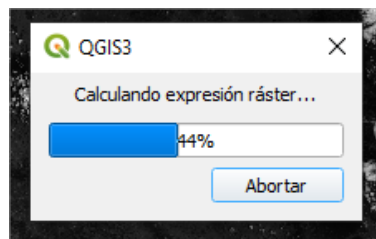


Figura 40. Ventana de carga al crear imagen

En la **Figura 41** se puede observar la imagen resultado, para este ejemplo se observa que los valores deben de permanecer entre -1 y 1, en caso contrario debe de revisarse

el procedimiento ya que pudo existir algún problema con la formula o las capas asignadas.

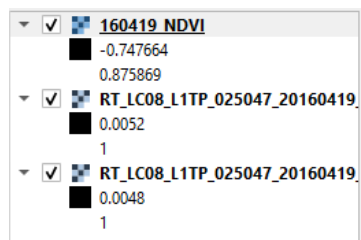


Figura 41. Imagen NDVI cargada en proyecto

Se puede acceder a las propiedades de la imagen dando un clic derecho sobre la misma, esto permitiría hacer una clasificación del Raster para una mejor apreciación **Figura 42**

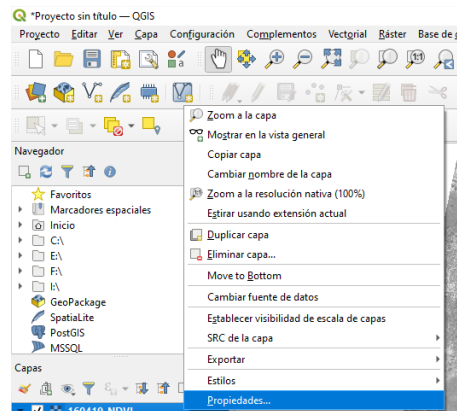


Figura 42. Propiedades de la imagen

Se puede realizar una clasificación de los rangos para observar en la imagen las zonas, una de las clasificaciones que son posibles se observan en la **Figura 43**

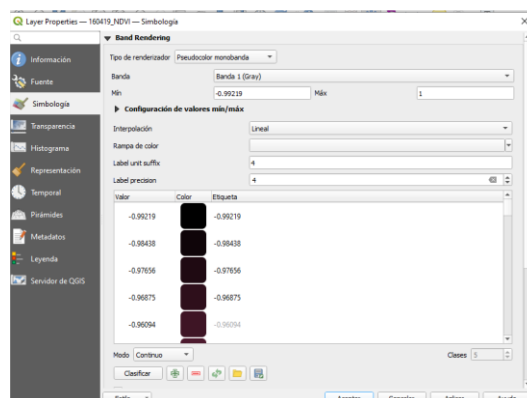


Figura 43. Clasificación de imagen NDVI

En la **Figura 44** se observa la imagen generada con clasificación para distinguir los NDVI, se puede observar que los colores verdes más intensos corresponde a un valor más alto de NDVI

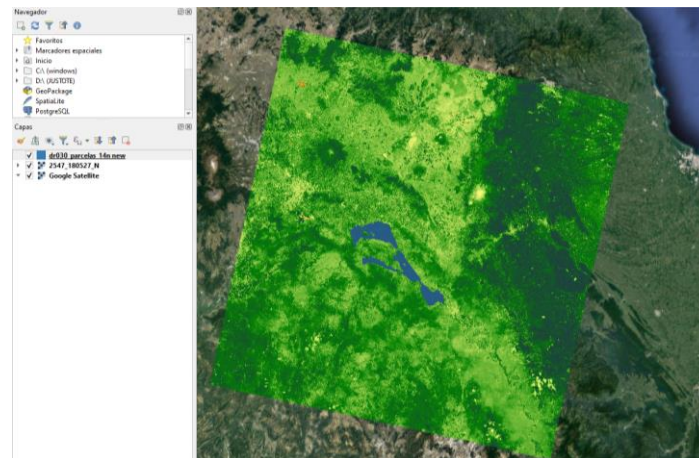


Figura 44. Imagen con clasificación NDVI

Corte de capas

Utilizando la capa NDVI obtenida en el punto anterior se procede a realizar el corte que corresponde al área de interés, para ello utilizamos un shape en formato polígono que contenga la delimitación de la zona **Figura 45**.

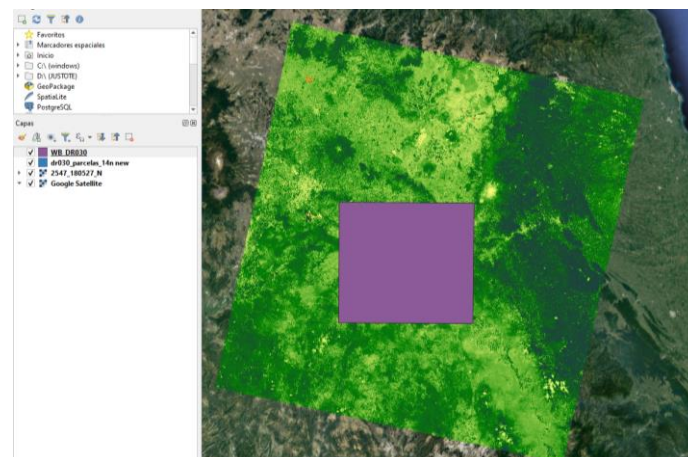


Figura 45. Capa con delimitación para zona de estudio

Para realizar el corte accedemos al menú Raster/Cortar Raster por Capa de Mascara como se observa en la **Figura 46**

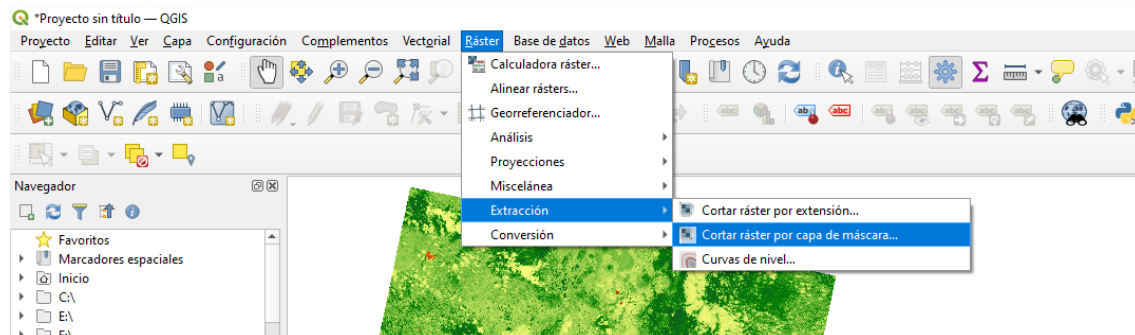


Figura 46. Corte Raster con máscara de capa

En la ventana emergente debemos de seleccionar la capa de entrada a recortar y el shape que nos servirá para hacer el recorte **Figura 47**

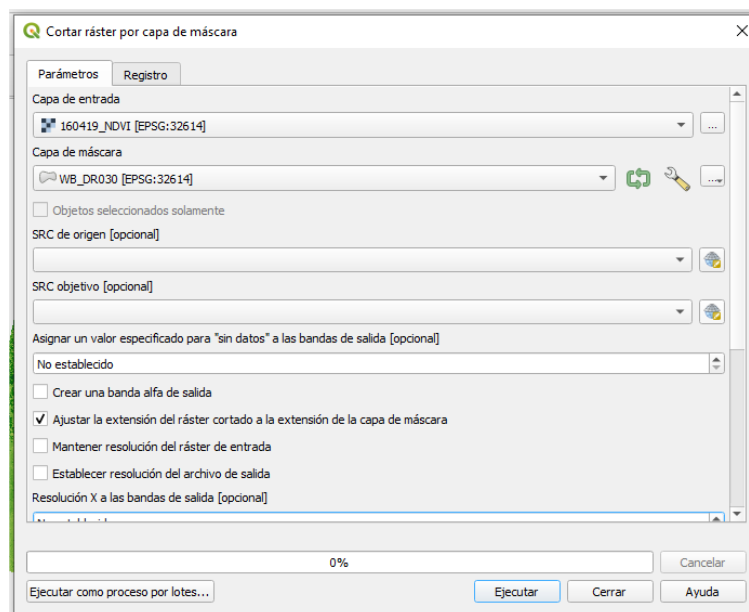


Figura 47. Ventana de corte Raster

También se debe de asignar el nombre que recibirá la imagen y su ubicación **Figura 48**, de igual manera es posible generar una capa vectorial en caso de que no se desee almacenar pero no es recomendable

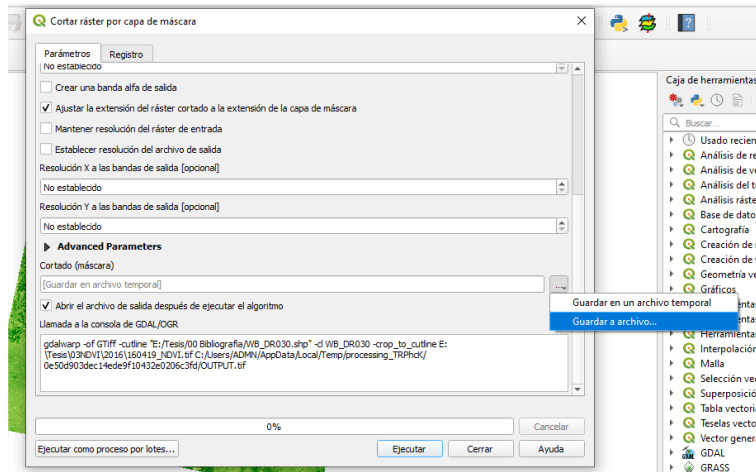


Figura 48. Selección de ruta para Raster

Se muestra en la **Figura 49** la ventana que se muestra para guardar la imagen recortada.

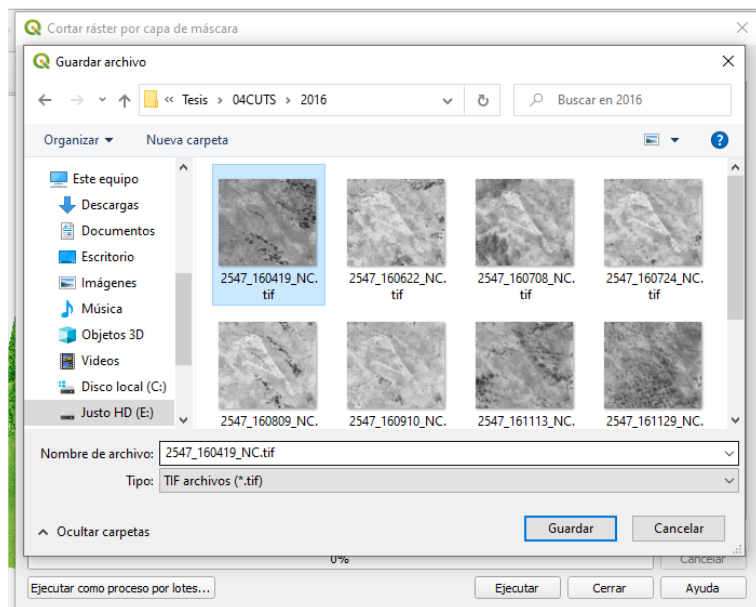


Figura 49. Nombre asignado para imagen recortada

Se observa en la **Figura 50** la capa resultado, esta misma se visualiza en escala de grises para una mejor apreciación, pero s clasificación en colores de verde igual es posible para realizar.

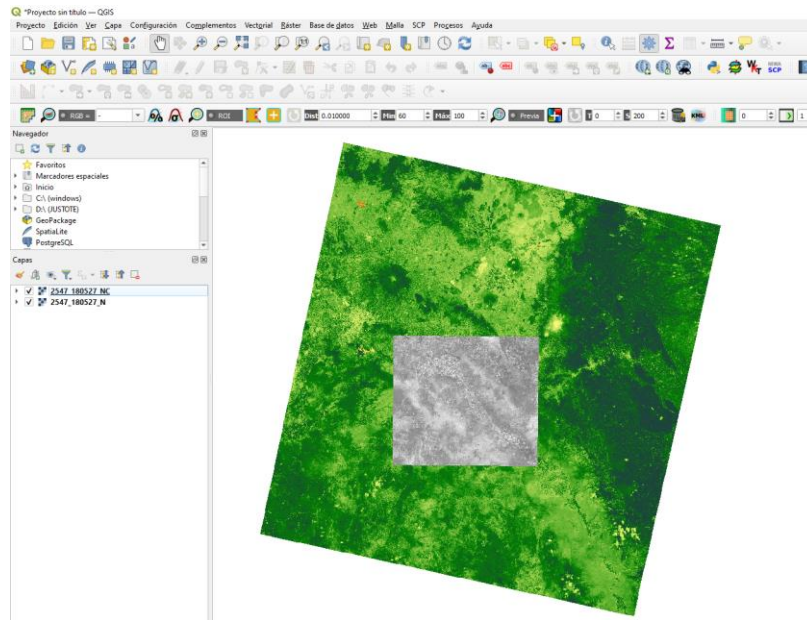


Figura 50. Recorte Finalizado

Umbralización

Con la capa resultado obtenida en el punto anterior se procede a realizar una imagen binaria en valores de 0 y 1 para poder diferenciar los pixeles que pueden ser considerados como pixeles con presencia de cultivos y cuales se descartarían en el conteo.

Como se muestra en la **Figura 51** Para realizar esta clasificación accedemos a menú Raster/Calculadora Raster y observamos la ventana mostrada en la **Figura 52**

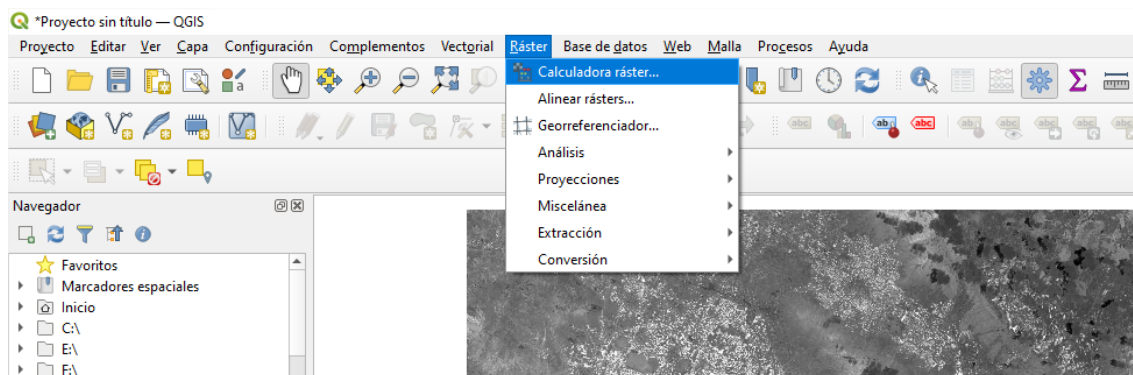


Figura 51. Calculadora Raster

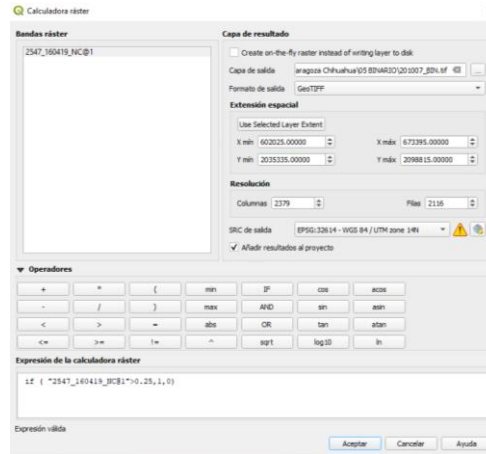


Figura 52. Fórmula para selección por criterio de NDVI

Seleccionamos Asignamos un nombre para la imagen a generar tal y como se muestra en la **Figura 53**

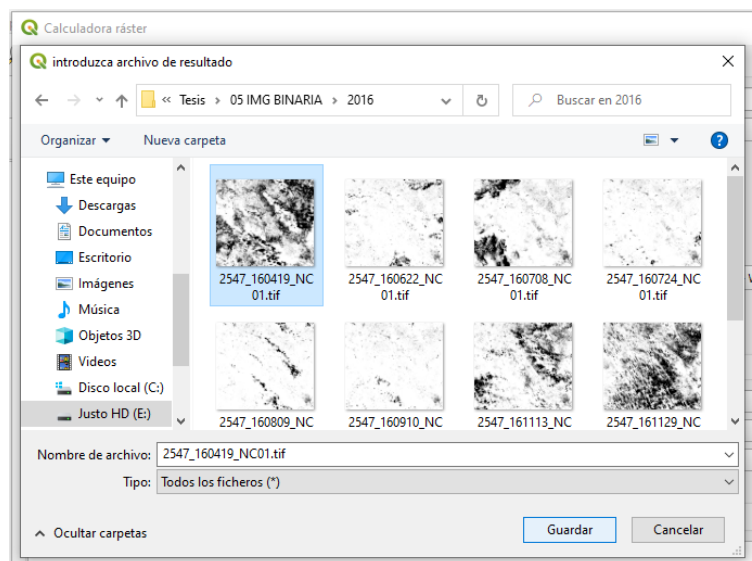


Figura 53. Imagen con clasificación 0 - 1

En la **Figura 54** se puede observar el resultado de los valores, la imagen nos muestra para el área de trabajo cuales son los pixeles que presentan un NDVI mayor a 0.25, valor que se considera para la presencia de vegetación abierta (Ríos & Zurita, 2014) y por lo tanto valido para su consideración.

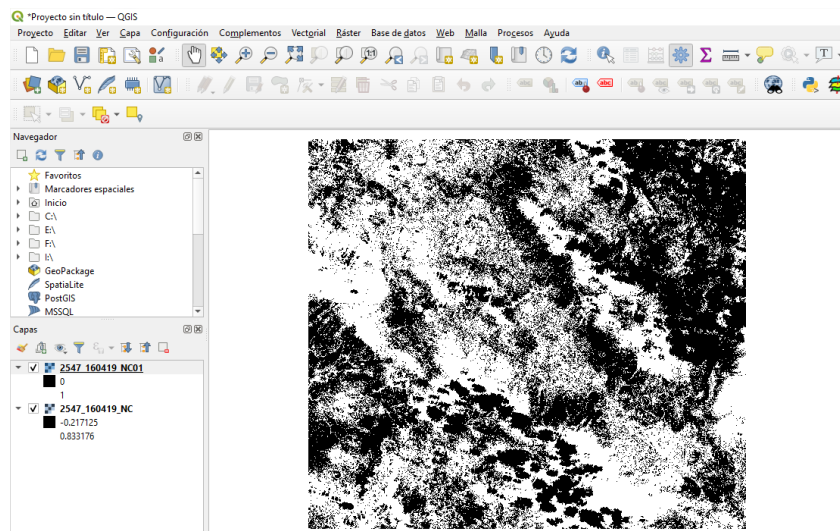


Figura 54. Imagen clasificada en criterios 0 – 1 cargada en QGIS

Estadísticas de capas

Para llevar a cabo las estadísticas de capa se utilizar un shape donde se guardarán los conteos de pixeles con valor a 1 que se encuentren abarcados por cada parcela. Para cada imagen se genera un archivo shape. Se utiliza como archivo base el shape de parcelamiento que fue facilitado por el responsable del Distrito de Riego 030 Valsequillo, en cada uno de los shapes se obtendrá la sumatoria de pixeles obtenidos en la Umbralización. Se tendrá un shape por cada fecha generada **Figura 55.**

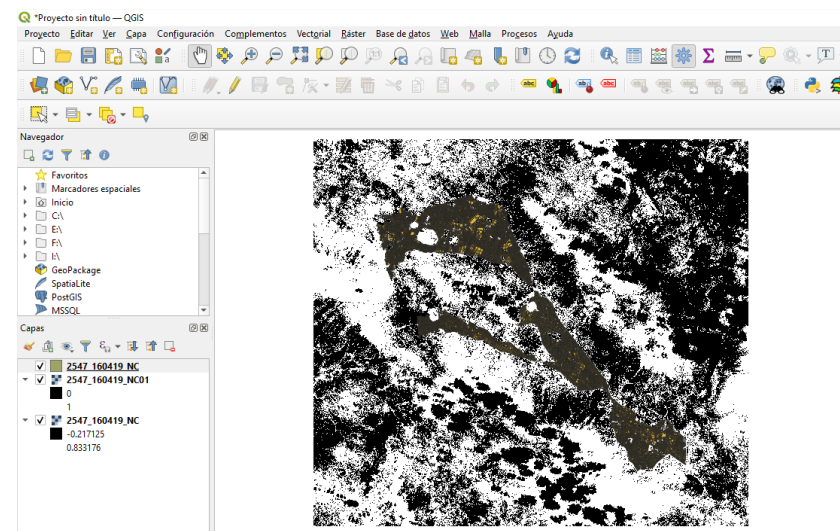


Figura 55. Shape de DR 030 sobre imagen Clasificada

En la “Caja de herramientas de procesos” buscamos en la parte superior la herramienta “Estadísticas de zona” misma que se aprecia en la **Figura 56**, la ejecutamos con un doble clic.

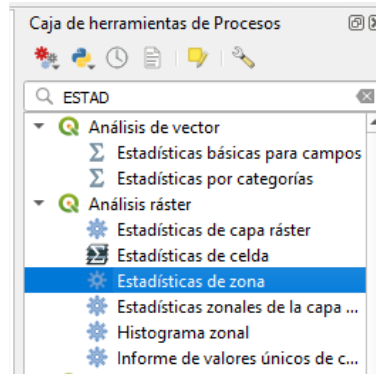


Figura 56. Panel de estadísticas de Zona

Las estadísticas de zona que se generan en este método será un conteo de pixeles que coincidan dentro del perímetro de cada uno de los campos. Para llevar a cabo este conteo seleccionamos el shape que recibirá la información obtenida **Figura 57**.

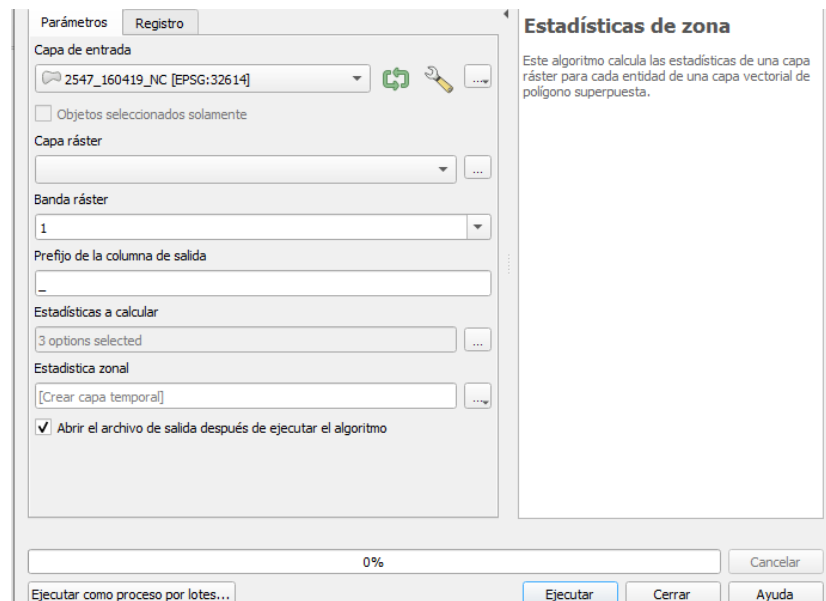


Figura 57. Ventana de selección para estadísticas de zona.

En la **Figura 58** seleccionamos la imagen Raster destino y posteriormente presionamos el botón marcado en color rojo para seleccionar las estadísticas a utilizar.

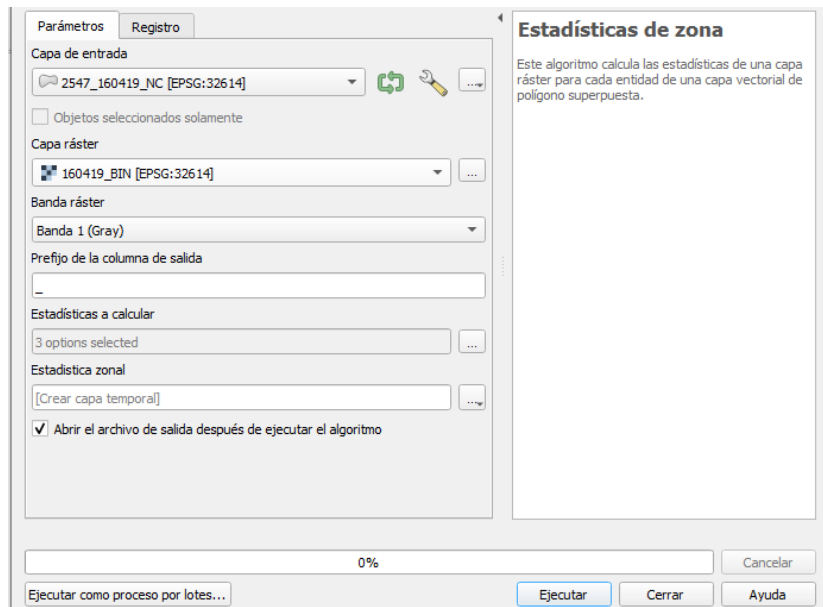


Figura 58. Selección de Raster en estadísticas de zona

Existen varias opciones a seleccionar de estadísticas como se puede apreciar en **Figura 59**, para la presente actividad requerimos seleccionar solamente el correspondiente a SUMA, sin embargo se pueden hacer otras selecciones si se desea hacer algún otro manejo de información.

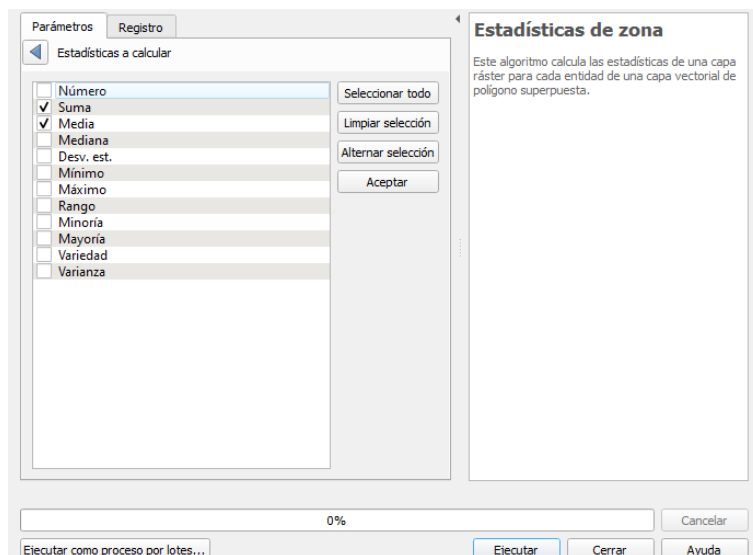


Figura 59. Selección de campos requeridos para estadísticas de zona

En la **Figura 60** podemos indicar el nombre los archivos a generar.

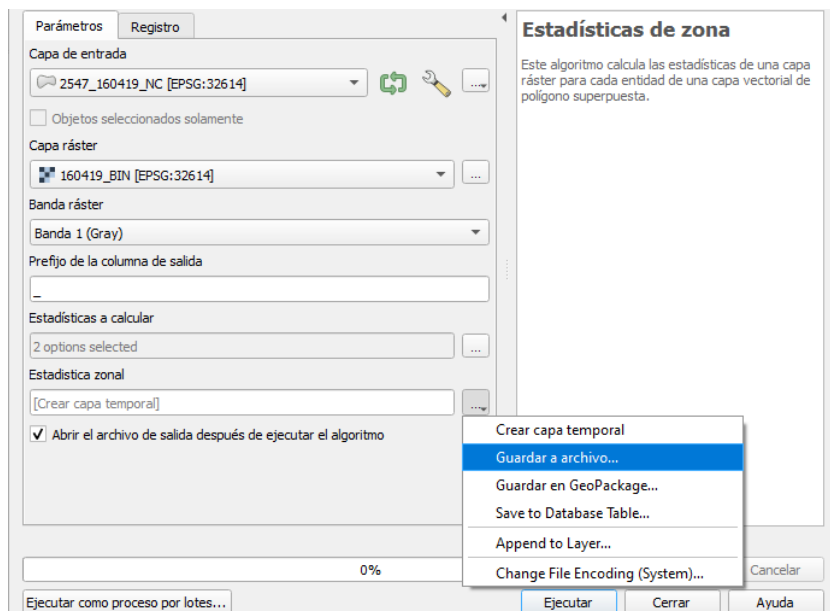


Figura 60. Asignación de ruta para guardado de Archivo

El resultado que se obtendrá en el módulo será la contabilización de los pixeles en la columna “_sum” se muestra en la **Figura 61** la columna resultado.

Los nombres de los cultivos asignados para cada parcela fueron obtenidos del shape que constituye la base de datos del padrón de usuarios disponible por parte del distrito de riego 030 Valsequillo

CUENTA	SUBCUENTA	MODULO	CULTIVO	ID	sup_hs	_count	_sum
1	8097	0 4	SIN REPORTE D...	1	47807.26	55.000000000000...	23.93657433986...
2	7284	0 4	MAIZ	2	3919.51	4.00000000000000...	1.192101955413...
3	24839	0 1	SIN REPORTE D...	3	2602.69	3.00000000000000...	1.044235855340...
4	8877	0 4	NO SE SIEMBRA	4	65891.19	73.000000000000...	20.13093699514...
5	8399	0 4	NO SE SIEMBRA	7	48556.53	53.000000000000...	12.11317227780...
6	7285	0 4	MAIZ Y FRUOL	8	13032.32	14.000000000000...	3.630421891808...
7	7928	0 4	SIN REPORTE D...	9	5274.05	8.00000000000000...	2.037362471222...
8	22110	0 1	ALFALFA Y MAIZ	10	6458.84	6.00000000000000...	2.191798269748...
9	21701	0 1	ALFALFA Y MAIZ	11	8199.98	10.000000000000...	2.882546484470...
10	23552	0 1	ALFALFA Y MAIZ	12	3413.42	3.00000000000000...	1.973235666751...
11	8096	0 4	SIN REPORTE D...	13	15378.31	15.000000000000...	4.238452017307...
12	7862	0 4	MAIZ	14	30417.42	33.000000000000...	8.934729784727...
13	21704	0 1	ALFALFA Y MAIZ	15	4855.12	5.00000000000000...	1.701323926448...
14	21702	0 1	SIN REPORTE D...	16	1644.77	2.00000000000000...	0.726617068052...
15	22109	0 1	MAIZ	17	7055.24	7.00000000000000...	2.362566858330...
16	23551	0 1	ALFALFA	18	10506.66	11.000000000000...	6.695702493190...

Figura 61. Tabla de atributos que se genera en shape con estadísticas.

Calculo de superficie de parcelas

Es necesario generar columnas adicionales a nuestro archivo que representen las áreas en unidades Hectáreas por lo que para llevar a cabo estas columnas utilizamos la opción de “Calculadora de Campos” como se muestra en la **Figura 62**.



Figura 62. Calculadora de campos.

La primera columna corresponderá al área total de los campos, esta se obtiene aplicando la fórmula que se muestra en la **Figura 63** (El resultado se obtiene en Hectáreas).

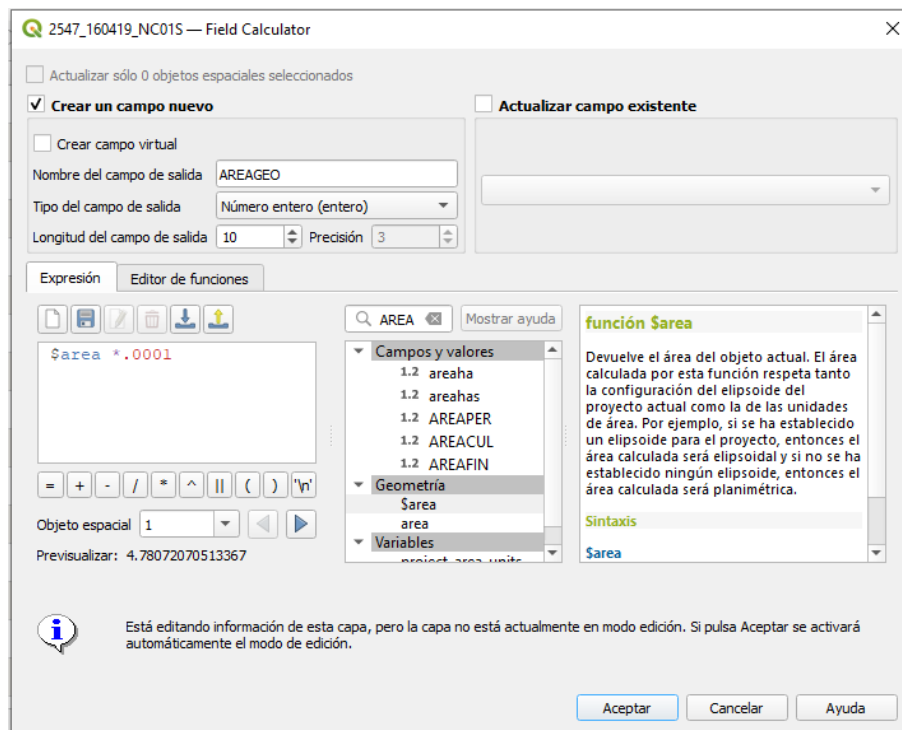


Figura 63. Fórmula para cálculo de áreas

El siguiente campo que se debe crear desde “Calculadora de Campos” corresponde a la superficie cuyos pixeles tengan un valor de 1. Para ello ocupamos la columna `_sum` y conociendo que cada pixel mide 30 metros por 30 metros usamos su equivalente en hectáreas que es 0.09, la formula se muestra en la **Figura 64**.

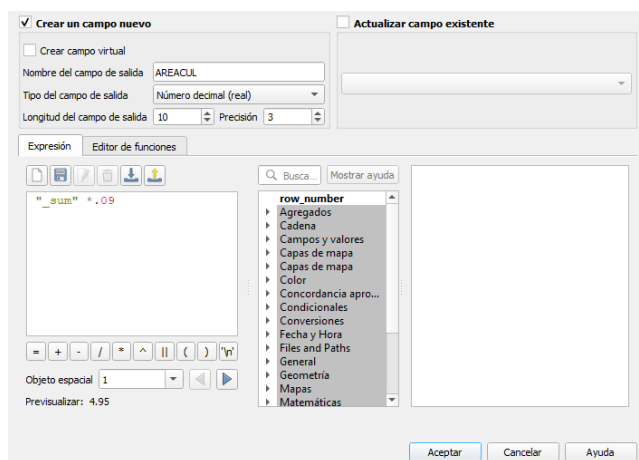


Figura 64. Fórmula para superficies calculadas por pixeles

Para el ultimo campo debe de tenerse una consideración importante, cuando un polígono cruza muchos pixeles con valores de 1 el área obtenida es mayor que el área real, este detalle puede incrementar las superficies contabilizadas y no es recomendable conservarlas en la selección, por lo que generaremos un campo adicional que excluya a superficies mayores a las reales, la fórmula utilizada para ello se muestra en la **Figura 65**.

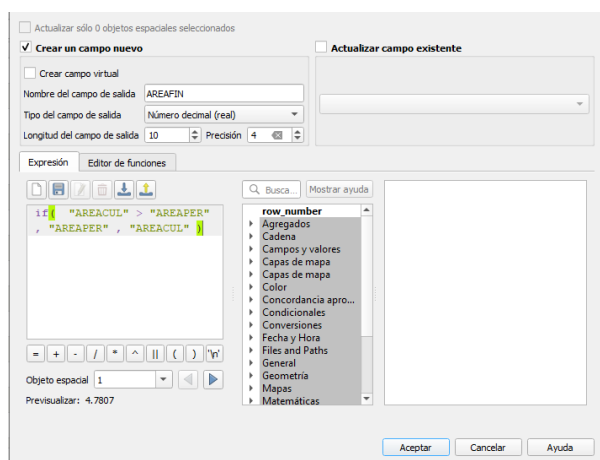


Figura 65. Fórmula para criterio de selección de áreas

Se observa a continuación las columnas obtenidas y en el recuadro verde una superficie menor a la real y una superficie mayor a la real, **Figura 66**.

	CUEENTA	SUBCUEENTA	MODULO	CULTIVO	ID	sup_hs	_count	_sum	_mean	AREAPER	AREACUL	AREAFIN
1	8067	0 4	SIN REPORTE D...		1	47807.26	55.0000000000000...	55.0000000000000...	1.00000000000000...	4.7807	4.9500	4.7807
2	7284	0 4	MAIZ		2	3919.51	4.00000000000000...	4.00000000000000...	1.00000000000000...	0.392	0.36	0.36
3	24838	0 1	SIN REPORTE D...		3	2602.69	3.00000000000000...	3.00000000000000...	1.00000000000000...	0.2603	0.27	0.2603
4	8877	0 4	NIO SE SIEMBRA		4	65891.19	73.0000000000000...	54.0000000000000...	0.73972602739726	6.5891	4.8600	4.8600
5	8399	0 4	NIO SE SIEMBRA		7	48556.33	53.0000000000000...	12.0000000000000...	0.226415094339...	4.8557	1.0800	1.0800
6	7285	0 4	MAIZ Y FRUCL		8	13032.32	14.0000000000000...	7.00000000000000...	0.5	1.3032	0.63	0.63
7	7929	0 4	SIN REPORTE D...		9	5274.05	6.00000000000000...	6.00000000000000...	0.75	0.5274	0.54	0.5274
8	22110	0 1	ALFALFA Y MAIZ		10	6458.84	6.00000000000000...	6.00000000000000...	1.00000000000000...	0.6459	0.54	0.54
9	21701	0 1	ALFALFA Y MAIZ		11	8199.98	10.0000000000000...	10.0000000000000...	1.00000000000000...	0.82	0.9	0.82
10	23552	0 1	ALFALFA Y MAIZ		12	3413.42	3.00000000000000...	3.00000000000000...	1.00000000000000...	0.3413	0.27	0.27
11	8096	0 4	SIN REPORTE D...		13	15378.31	15.0000000000000...	15.0000000000000...	1.00000000000000...	1.5378	1.3500	1.3500
12	7962	0 4	MAIZ		14	30417.42	31.0000000000000...	31.0000000000000...	0.93939393939393...	3.0417	2.7900	2.7900
13	21704	0 1	ALFALFA Y MAIZ		15	4855.12	5.00000000000000...	5.00000000000000...	1.00000000000000...	0.4855	0.45	0.45
14	21702	0 1	SIN REPORTE D...		16	1644.77	2.00000000000000...	2.00000000000000...	1.00000000000000...	0.1645	0.18	0.1645
15	22109	0 1	MAIZ		17	7055.24	7.00000000000000...	7.00000000000000...	1.00000000000000...	0.7055	0.63	0.63

Figura 66. Tabla con criterios de selección de áreas

Los valores obtenidos en la última columna nos permitirán generar las estadísticas a nivel Modulo y Distrito de Riego.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL

Soporte documental imágenes Landsat

De la búsqueda realizada en la plataforma glovis se localizaron 9 imágenes que correspondían al año 2016, esta cantidad se explica debido a que se buscaron imágenes con muy poca nubosidad y tener un aproximado de una imagen por mes. Los nombres y las fechas se pueden apreciar en la **Figura 67**. El peso promedio de cada carpeta ronda 1 gb de capacidad debido a que tiene diferentes bandas que suele usarse en otros tipos de análisis.

Para el año 2017 se encontraron 11 imágenes que mostraban de manera ideal el área de estudio. Los nombres y las fechas se pueden apreciar en la **Figura 67**. El peso promedio de cada una de las carpetas ronda los 900 Mb. De la misma manera que fue mencionado en el párrafo anterior es importante mencionar que los archivos comprimidos descargados de la plataforma glovis presentan bandas adicionales que si bien no se usan en el presente proyecto, si es de suma utilidad para gran variedad de análisis que se aplican en diferentes y muy variadas áreas de estudio.

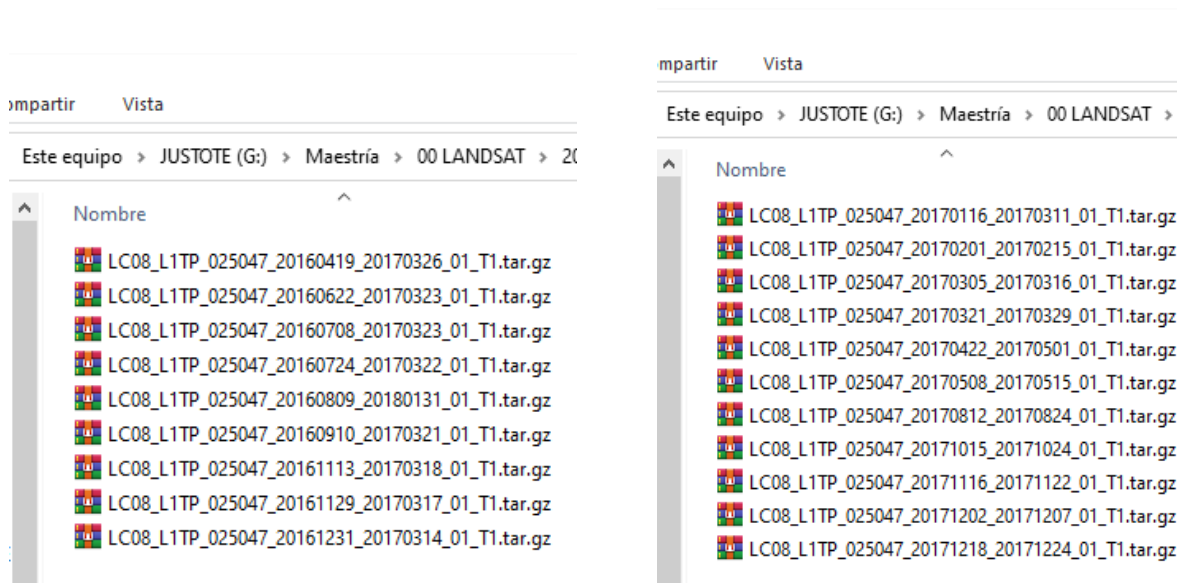


Figura 67. Listado de imágenes descargadas para periodo 2016 (Izquierda) y periodo 2017 (Derecha) Fuente: Propia

Las imágenes descargadas a utilizar en el periodo 2018 corresponden a un total de 10 fechas diferentes, el listado se puede apreciar en la **Figura 68**, se considera una cantidad suficiente para el desarrollo de las estadísticas ya que presenta aproximadamente una imagen por mes.

Nombre	Fecha de modificación
LC08_L1TP_025047_20180103_20180118_01_T1.tar.gz	06/09/2021 05:58 p. m.
LC08_L1TP_025047_20180204_20180220_01_T1.tar.gz	06/09/2021 06:08 p. m.
LC08_L1TP_025047_20180324_20180404_01_T1.tar.gz	06/09/2021 06:19 p. m.
LC08_L1TP_025047_20180409_20180417_01_T1.tar.gz	06/09/2021 06:28 p. m.
LC08_L1TP_025047_20180527_20180605_01_T1.tar.gz	06/09/2021 06:46 p. m.
LC08_L1TP_025047_20180730_20180814_01_T1.tar.gz	06/09/2021 07:01 p. m.
LC08_L1TP_025047_20180831_20180912_01_T1.tar.gz	06/09/2021 07:12 p. m.
LC08_L1TP_025047_20181002_20181010_01_T1.tar.gz	06/09/2021 07:25 p. m.
LC08_L1TP_025047_20181119_20181129_01_T1.tar.gz	06/09/2021 07:35 p. m.
LC08_L1TP_025047_20181221_20181227_01_T1.tar.gz	06/09/2021 07:49 p. m.

Figura 68. Listado de imágenes descargadas para periodo 2018 Fuente: Propia

Para el periodo 2019 se descargaron 11 imágenes cuya nubosidad fuera baja y permitirá el análisis correcto de estadísticas. El listado se puede observar en la **Figura 69**, el tamaño promedio de las imágenes ronda los 850 Mb.

Nombre	Fecha de modificación
LC08_L1TP_025047_20190106_20190130_01_T1.tar.gz	06/09/2021 08:08 p. m.
LC08_L1TP_025047_20190122_20190205_01_T1.tar.gz	12/04/2021 09:55 a. m.
LC08_L1TP_025047_20190207_20190221_01_T1.tar.gz	12/04/2021 10:14 a. m.
LC08_L1TP_025047_20190311_20190325_01_T1.tar.gz	12/04/2021 10:53 a. m.
LC08_L1TP_025047_20190327_20190404_01_T1.tar.gz	13/04/2021 07:52 a. m.
LC08_L1TP_025047_20190412_20190422_01_T1.tar.gz	13/04/2021 08:47 a. m.
LC08_L1TP_025047_20190514_20190521_01_T1.tar.gz	13/04/2021 08:58 a. m.
LC08_L1TP_025047_20190802_20190819_01_T1.tar.gz	13/04/2021 09:22 a. m.
LC08_L1TP_025047_20190818_20190902_01_T1.tar.gz	13/04/2021 09:37 a. m.
LC08_L1TP_025047_20191208_20191217_01_T1.tar.gz	06/09/2021 08:20 p. m.
LC08_L1TP_025047_20191224_20200110_01_T1.tar.gz	06/09/2021 08:30 p. m.

Figura 69. Listado de imágenes descargadas para periodo 2019 Fuente: Propia

El periodo 2020 fue el que mayor cantidad de imágenes viables presentó. Siendo estas un total de 13, de manera individual una cantidad mayor de imágenes permite observar con mayor detalle el seguimiento y evolución que presentan los cultivos, sin embargo por otra parte debe de considerarse el incremento en el almacenamiento que deberá de ser necesario para el peso de las imágenes, el listado puede apreciarse en la **Figura 70**.

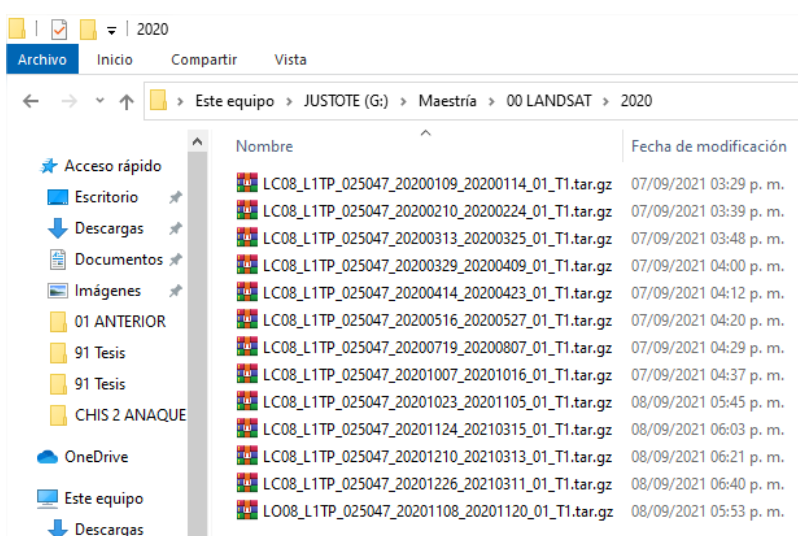


Figura 70. Listado de imágenes descargadas para periodo 2020 Fuente: Propia

Cada uno de los archivos descargados deben de ser descomprimidos, para el presente proyecto se utilizó software en su característica de tiempo de prueba que permitió acceder a los documentos; en la **Figura 71** es posible observar las capas contenidas.

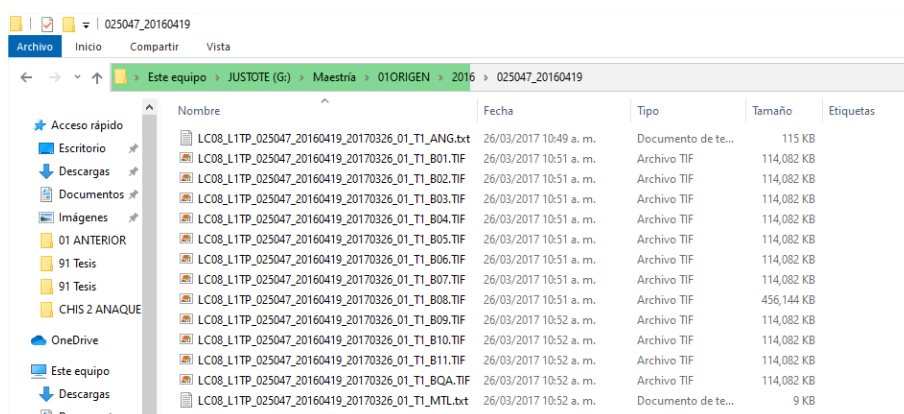


Figura 71. Documentos contenidos en archivos comprimidos, imagen fecha 2016-Abr-2019, Fuente: Propia

Documentación obtenida del distrito de riego

El personal del distrito de riego 030 Valsequillo, facilitó la información disponible y requerida para el presente proyecto, estos documentos fueron de gran utilidad al momento de realizar las estadísticas, información literaria, etc.

Dentro de los documentos a los cuales se tuvieron acceso por parte del personal responsable se enlistan la siguiente información.

- Informe general correspondiente a plan director 2017, Valsequillo
- Shape actualizado de parcelas correspondiente al Distrito de riego 030, Valsequillo.
- Información de normales climatológicas.
- Planos de ubicación general y particular del Distrito de riego 030, Valsequillo.

Esta información recibida fue de suma utilidad e importancia para el desarrollo del proyecto, se muestra en la **Figura 72** la portada digital del documento de actualización de plan director en el periodo 2017. De igual manera se muestra en la **Figura 73** una captura del shape de las parcelas registradas en el DR 030.

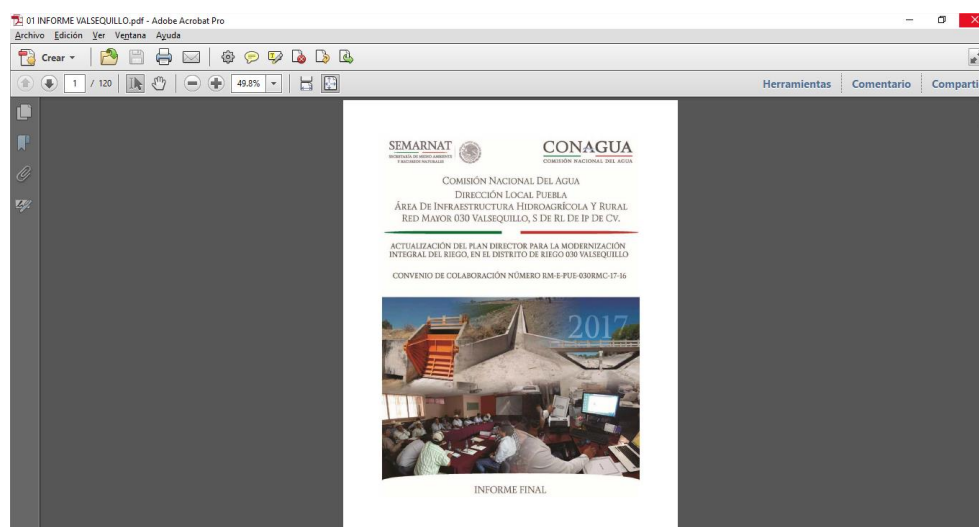


Figura 72. Portada digital “Actualización Plan Director 2017” Fuente: CONAGUA

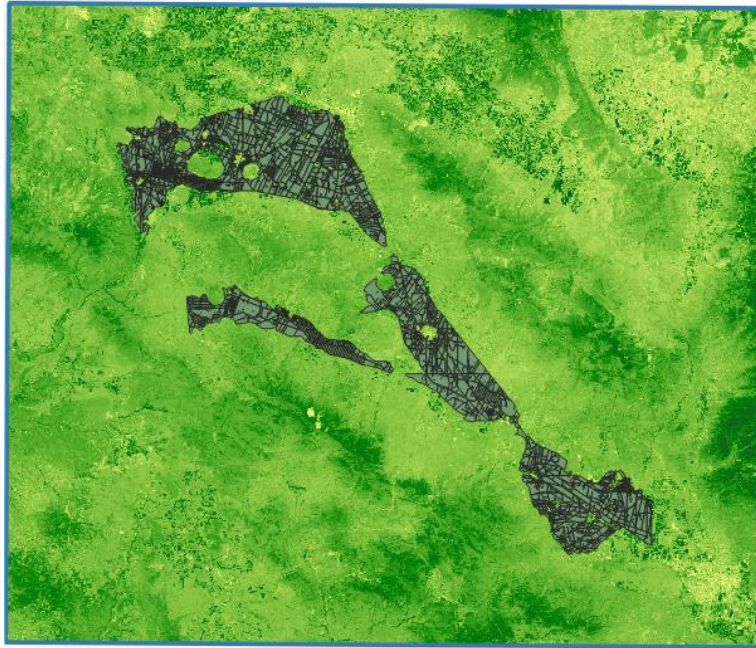


Figura 73. Parcelas delimitadoras Distrito de Riego 030 Sobre imagen NDVI Fuente: Propia

En la **Figura 74** se pueden apreciar los archivos shape que se recibieron y el documento que corresponde al marco de trabajo con el cual se realizaron los recortes que consideran el borde del distrito de riego 030 Valsequillo.

dr030_parcelas_14n				
Archivo	Inicio	Compartir	Vista	
Justo HD (E:) > Tesis > 00 Bibliografía > dr030_parcelas_14n				
Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño	
dr030_parcelas_14n.dbf	23/02/2021 05:28 p. m.	Archivo DBF	1,298 KB	
dr030_parcelas_14n.prj	16/02/2021 06:48 a. m.	Archivo PRJ	1 KB	
dr030_parcelas_14n.shp	23/02/2021 05:28 p. m.	Recurso de forma ...	3,795 KB	
dr030_parcelas_14n.shx	23/02/2021 05:28 p. m.	Forma compilada ...	186 KB	
ndvi_qgis.txt	04/09/2021 07:21 p. m.	Documento de te...	8 KB	
Parcelas.dbf	23/02/2021 05:28 p. m.	Archivo DBF	1,298 KB	
Parcelas.prj	16/02/2021 06:48 a. m.	Archivo PRJ	1 KB	
Parcelas.shp	23/02/2021 05:28 p. m.	Recurso de forma ...	3,795 KB	
Parcelas.shx	23/02/2021 05:28 p. m.	Forma compilada ...	186 KB	
WB_DR030.dbf	04/09/2021 06:43 p. m.	Archivo DBF	1 KB	
WB_DR030.prj	04/09/2021 06:43 p. m.	Archivo PRJ	1 KB	
WB_DR030.shp	04/09/2021 06:43 p. m.	Recurso de forma ...	1 KB	
WB_DR030.shx	04/09/2021 06:43 p. m.	Forma compilada ...	1 KB	

Figura 74. Shape de parcelas del distrito de riego 030, Valsequillo y marco delimitador de área, Fuente: Propia

Del shape recibido por parte del distrito de riego 030 Valsequillo se realizó un análisis en el cual se consideró la cantidad de campos existentes y cuales no tenían (de acuerdo al registro) un cultivo reportado, dicha grafica se observa en la **Figura 75**.

Esta misma clasificación se realizó a nivel de modulo y se pueden observar los resultados en la **Figura 76** donde se observa que el módulo 4 es el que mayor número de campos no asignados tiene.

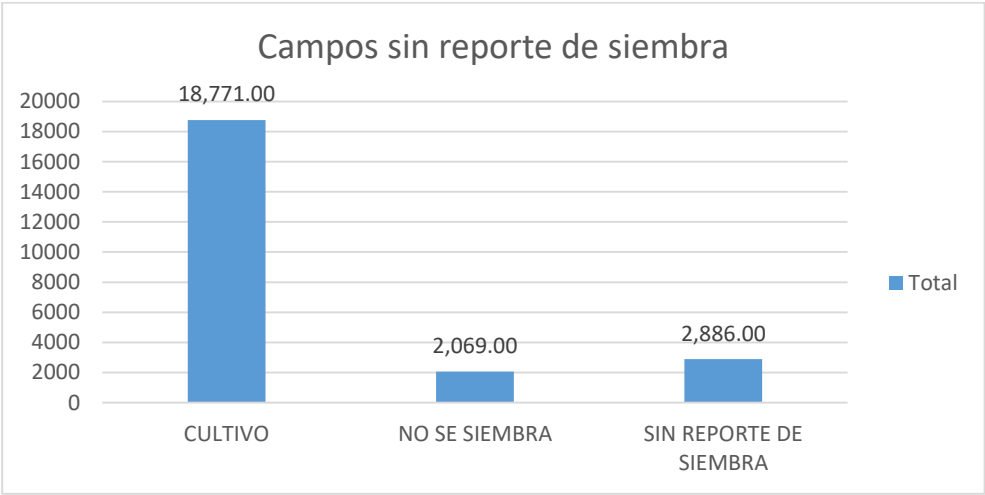


Figura 75. Campos en el shape con cultivo asignado y excepciones Fuente: Propia

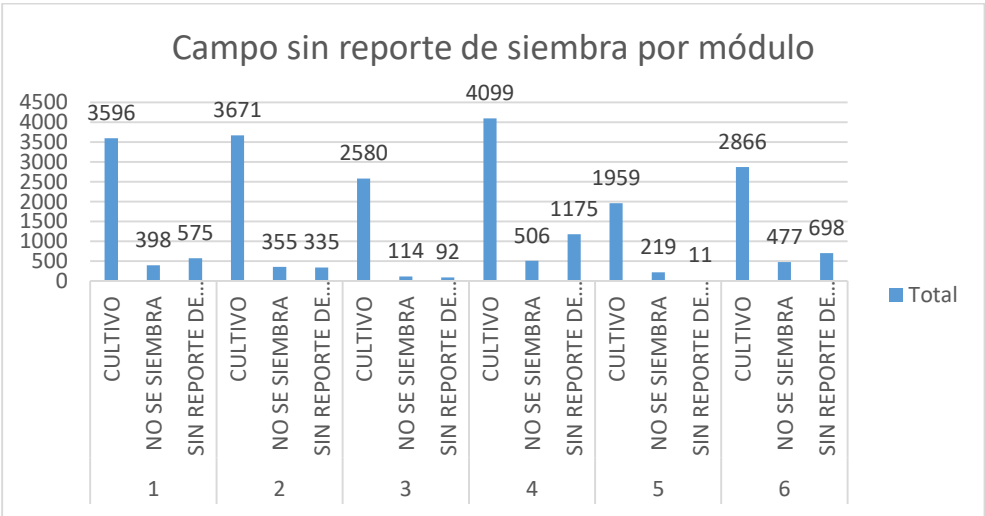


Figura 76. Campos en el shape con cultivo asignado y excepciones, clasificado por Modulo Fuente: Propia

Raster de selección NDVI

Acorde a la metodología mencionada para el manejo de las imágenes satelitales y su obtención de capas en formato binario se mencionan los siguientes resultados.

Se observa en la **Figura 77** y la **Figura 78** las imágenes obtenidas para los periodos 2016 y 2017 respectivamente, estas imágenes ya se encuentran correctamente diferenciadas y permiten su identificación en valores de -1 a 1 para NDVI.

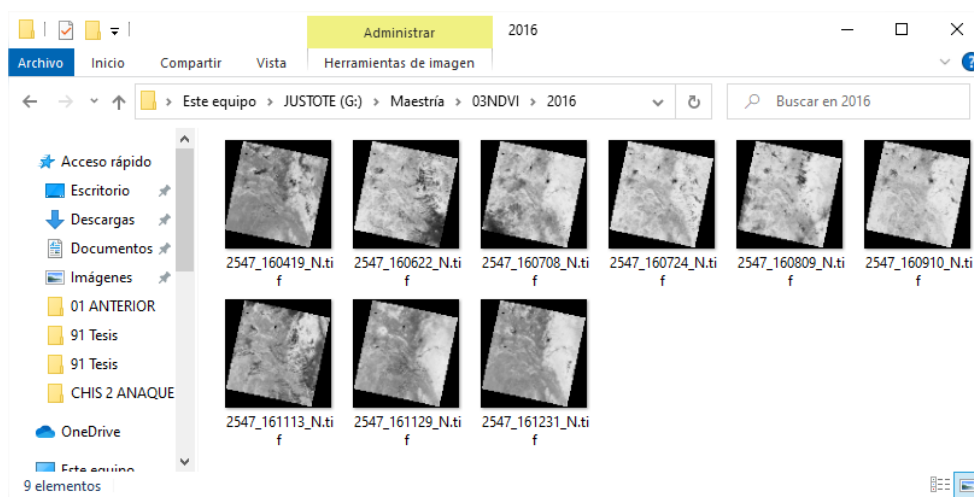


Figura 77. Imágenes para 2016 generadas en NDVI usando Banda 5 y Banda 4. Fuente: Propia.

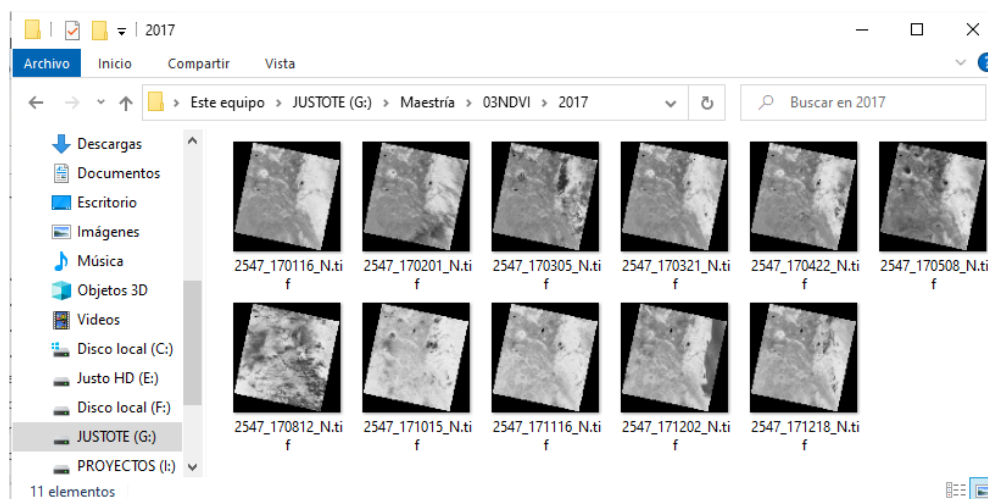


Figura 78. Imágenes para 2017 generadas en NDVI usando Banda 5 y Banda 4. Fuente: Propia.

Se observa en la **Figura 79** y la **Figura 80** las imágenes obtenidas para los periodos 2018 y 2019 respectivamente, estas imágenes ya se encuentran correctamente diferenciadas y permiten su identificación en valores de -1 a 1 para NDVI.

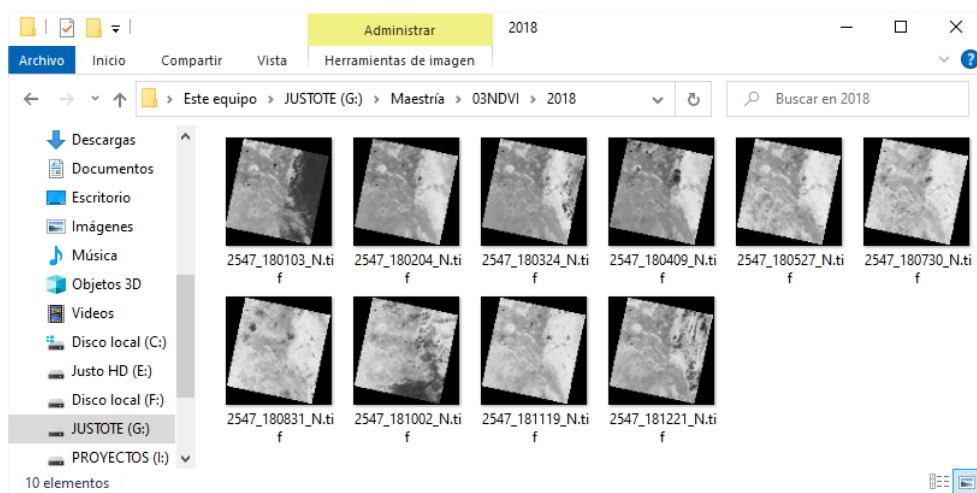


Figura 79. Imágenes para 2018 generadas en NDVI usando Banda 5 y Banda 4. Fuente: Propia.

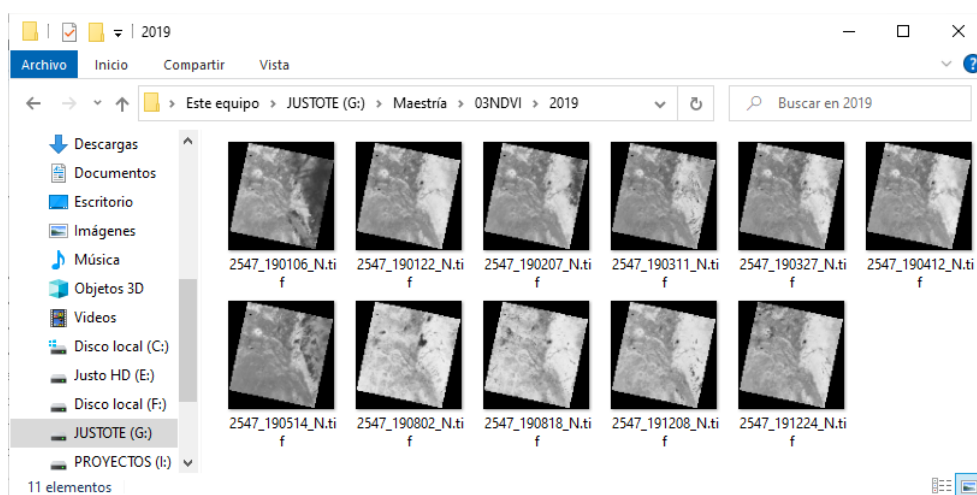


Figura 80. Imágenes para 2019 generadas en NDVI usando Banda 5 y Banda 4. Fuente: Propia.

Se observa en la **Figura 81** las imágenes obtenidas para el periodo 2020 diferenciadas y permiten su identificación en valores de -1 a 1 para NDVI.

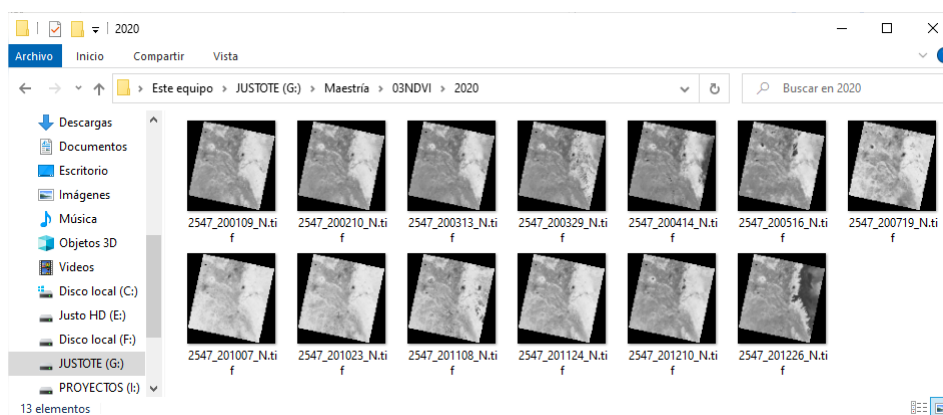


Figura 81. Imágenes para 2020 generadas en NDVI usando Banda 5 y Banda 4. Fuente: Propia.

Recortes de imágenes

Como es posible apreciar en las imágenes del inciso anterior, las imágenes que se generan con valores NDVI se aplican para toda la imagen satelital misma que tiene un tamaño mayor al que se requiere cubrir con respecto a los límites que cubre el distrito de riego, si bien es posible realizar los análisis con la capa completa, esto tiene ciertas desventajas, por ejemplo. Al ser una imagen de mayor tamaño los equipos se pueden ver reducidos en sus desempeños. En la **Figura 82** es posible observar los recortes correspondientes al periodo 2016.

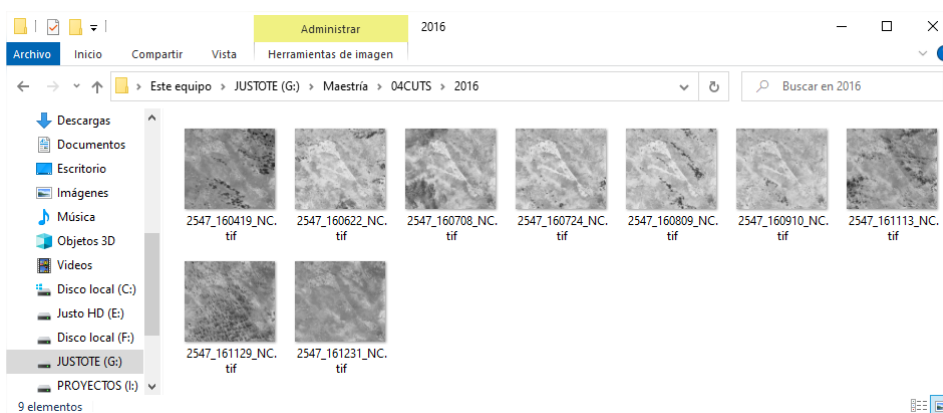


Figura 82. Imágenes recortadas para 2016 usando marco delimitador. Fuente: Propia.

En la **Figura 83** se puede observar los recortes que se obtuvieron para el periodo 2017 del Distrito de riego 030 Valsequillo, los 11 recortes corresponden a las fechas para las cuales se encontraron imágenes libres de nubosidades, el peso de los documentos es de un acumulado de 211 Mb.

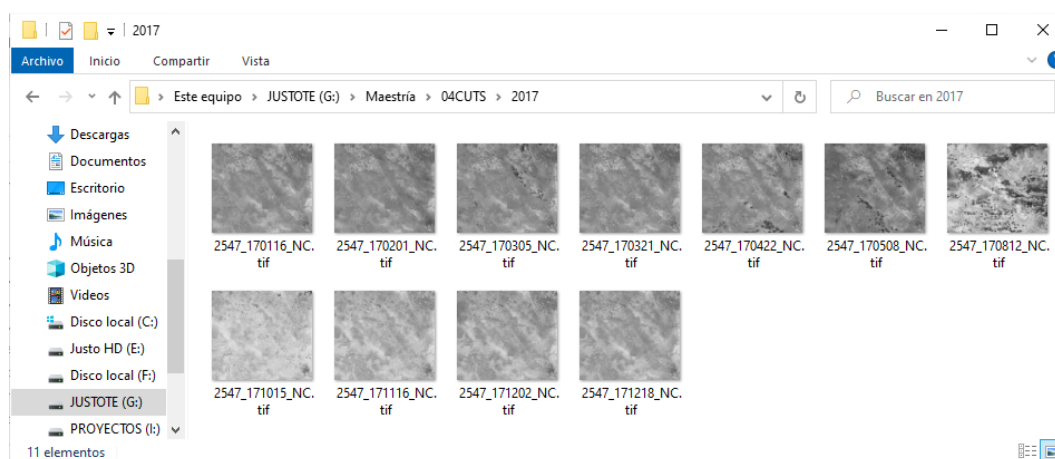


Figura 83. Imágenes recortadas para 2017 usando marco delimitador. Fuente: Propia.

En la **Figura 84** se puede observar los recortes que se obtuvieron para el periodo 2018 del Distrito de riego 030 Valsequillo, los 10 recortes corresponden a las fechas para las cuales se encontraron imágenes libres de nubosidades, el peso de los documentos es de un acumulado de 192 Mb.

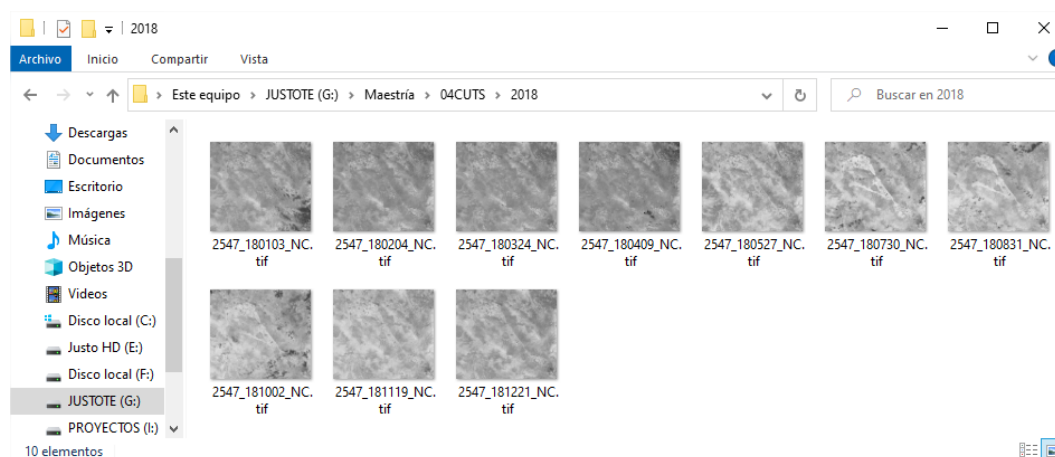


Figura 84. Imágenes recortadas para 2018 usando marco delimitador. Fuente: Propia.

En la **Figura 85** se puede observar los recortes que se obtuvieron para el periodo 2019 del Distrito de riego 030 Valsequillo, los 11 recortes corresponden a las fechas para las cuales se encontraron imágenes libres de nubosidades, el peso de los documentos es de un acumulado de 211 Mb.

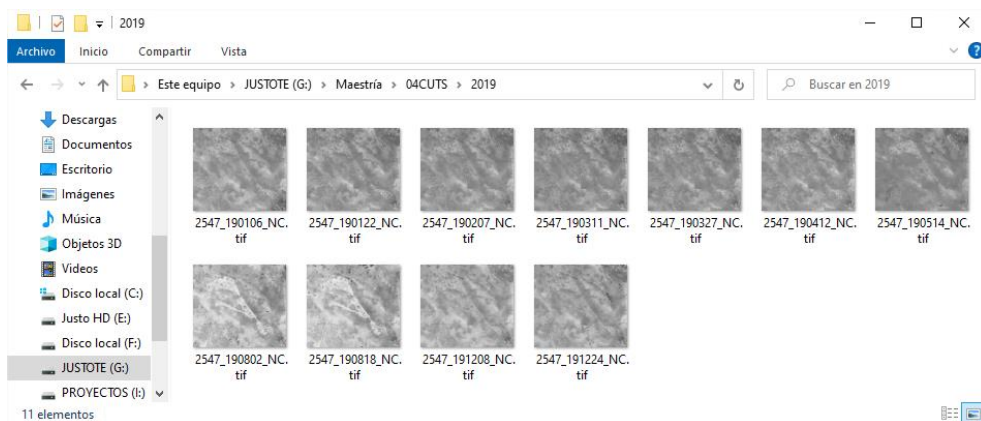


Figura 85. Imágenes recortadas para 2019 usando marco delimitador. Fuente: Propia.

En la **Figura 86** se puede observar los recortes que se obtuvieron para el periodo 2020 del Distrito de riego 030 Valsequillo, los 13 recortes corresponden a las fechas para las cuales se encontraron imágenes libres de nubosidades, el peso de los documentos es de un acumulado de 249 Mb.

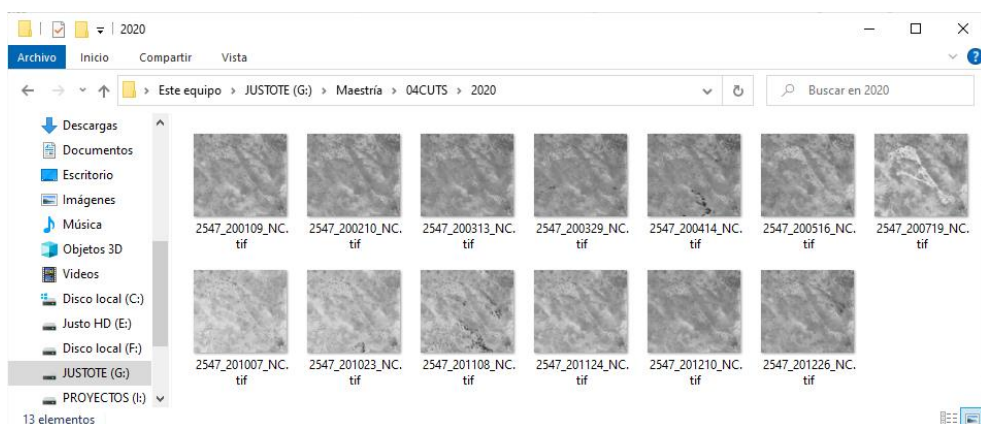


Figura 86. Imágenes recortadas para 2020 usando marco delimitador. Fuente: Propia.

Shapes de NDVI

Los recortes de las imágenes Raster nos permiten obtener archivos en formatos shapes cuyos campos permiten visualizar la manera en la que evolucionan los cultivos, la obtención de las estadísticas sirve como información de registro para futuras consultas para el personal del distrito de riego 030. Cada periodo anual generó su registro de histórico y queda disponible para su consulta. **Figura 87.**

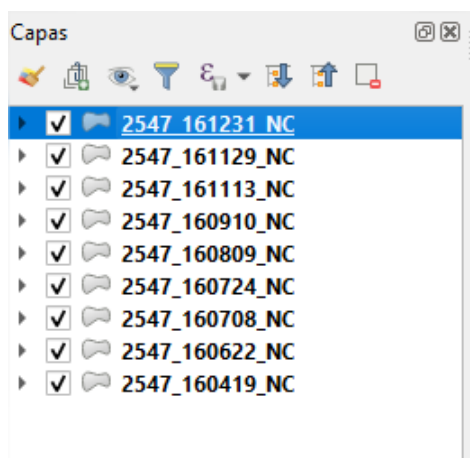


Figura 87. Shapes generados para almacenar los resultados de estadísticas Raster 2016 Fuente: Propia.

Para visualizar las características de la evolución en el NDVI se recomienda la clasificación mostrada en la **Figura 88.**

Símbolo	Valores	Leyenda
☒	-1.000000 - 0.250000	-1 - 0.25
☒	0.250000 - 0.320000	0.25 - 0.427
☒	0.320000 - 0.390000	0.427 - 0.517
☒	0.390000 - 0.460000	0.517 - 0.587
☒	0.460000 - 0.530000	0.587 - 0.645
☒	0.530000 - 0.600000	0.645 - 0.69
☒	0.600000 - 0.660000	0.69 - 0.728
☒	0.660000 - 0.730000	0.728 - 0.764
☒	0.730000 - 0.800000	0.764 - 0.8
☒	0.800000 - 1.000000	0.8 - 1

Figura 88. Shape clasificado por valores de NDVI 2016-diciembre-21. Fuente: Propia.

Evolución del NDVI para el periodo 2016

Se muestra en todos los incisos de la **Figura 89** la evaluación del NDVI para las imágenes descargadas considerando un criterio de $\text{NDVI} \geq 0.25$ mismo que corresponde a presencia de cultivo. Las imágenes de manera incremental de acuerdo al tiempo por lo que podemos observar de forma general como el NDVI se incrementa y decrecimiento de acuerdo a los tiempos de siembra.

Estas evoluciones nos permiten comprender la manera en la que se comporta el crecimiento de los cultivos y representa de manera general la forma en la que se puede explicar el mismo.

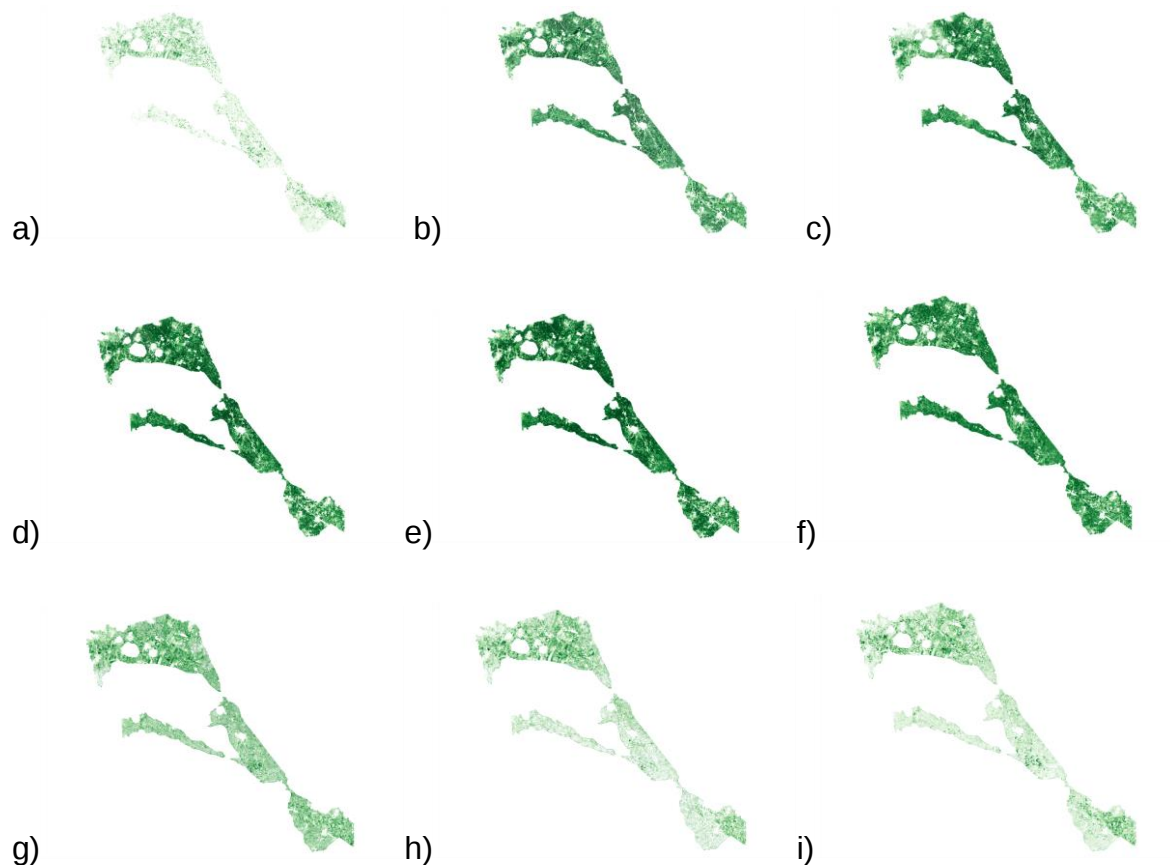


Figura 89. Evolución temporal del NDVI en el distrito de riego 030 Valsequillo para el año 2016. Fuente: Propia.

Evolución del NDVI para el periodo 2017

Se muestra en todos los incisos de la **Figura 90** la evaluación del NDVI para las imágenes descargadas considerando un criterio de $\text{NDVI} \geq 0.25$ mismo que corresponde a presencia de cultivo durante el periodo 2017. Las imágenes de manera incremental de acuerdo al tiempo por lo que podemos observar de forma general como el NDVI se incrementa y decreciente de acuerdo a los tiempos de siembra.

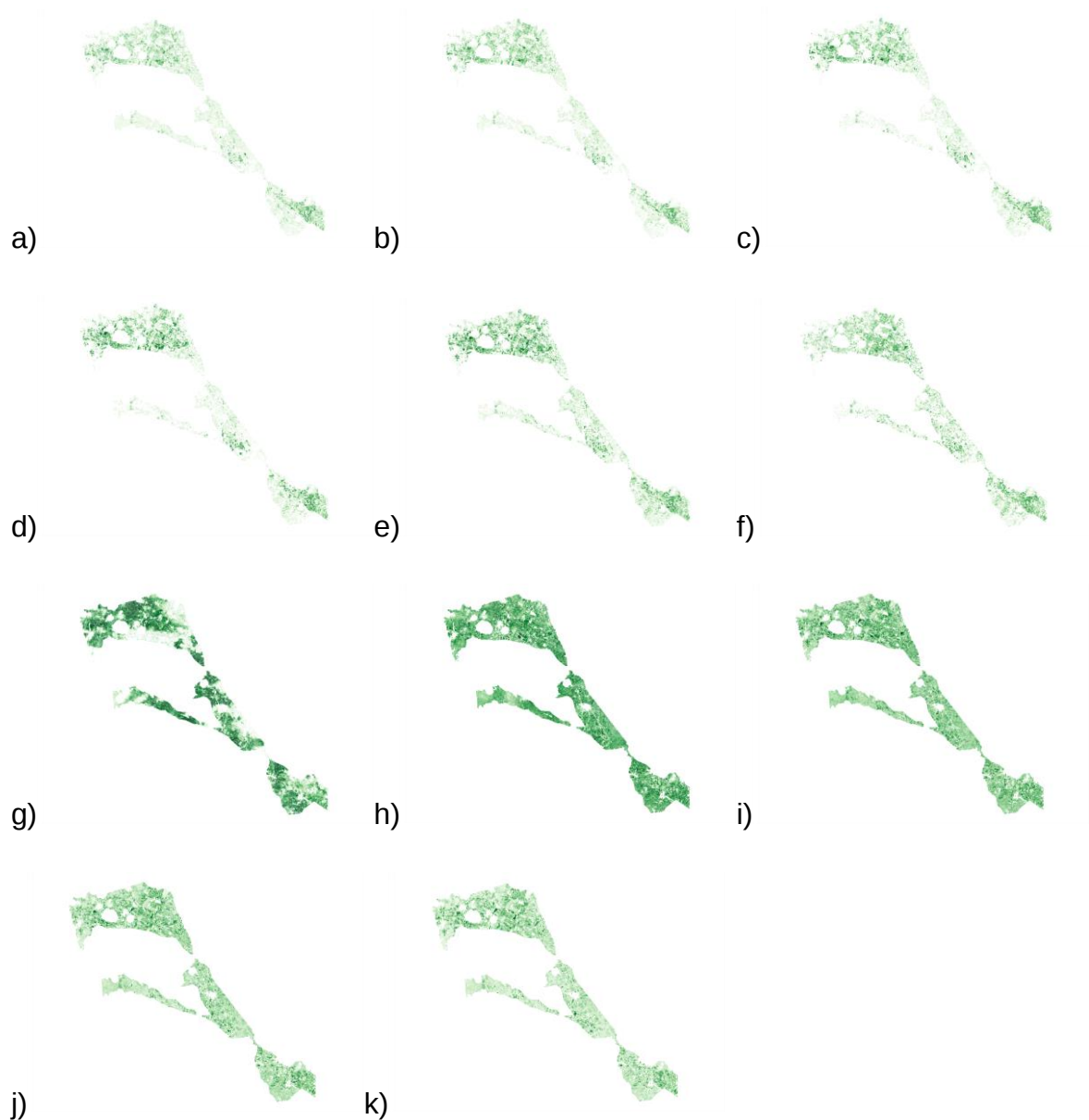


Figura 90. Evolución temporal del NDVI en el distrito de riego 030 Valsequillo para el año 2017. Fuente: Propia.

Evolución del NDVI para el periodo 2018

Se muestra en todos los incisos de la **Figura 91** la evaluación del NDVI para las imágenes descargadas considerando un criterio de $\text{NDVI} \geq 0.25$ mismo que corresponde a presencia de cultivo durante el periodo 2018.

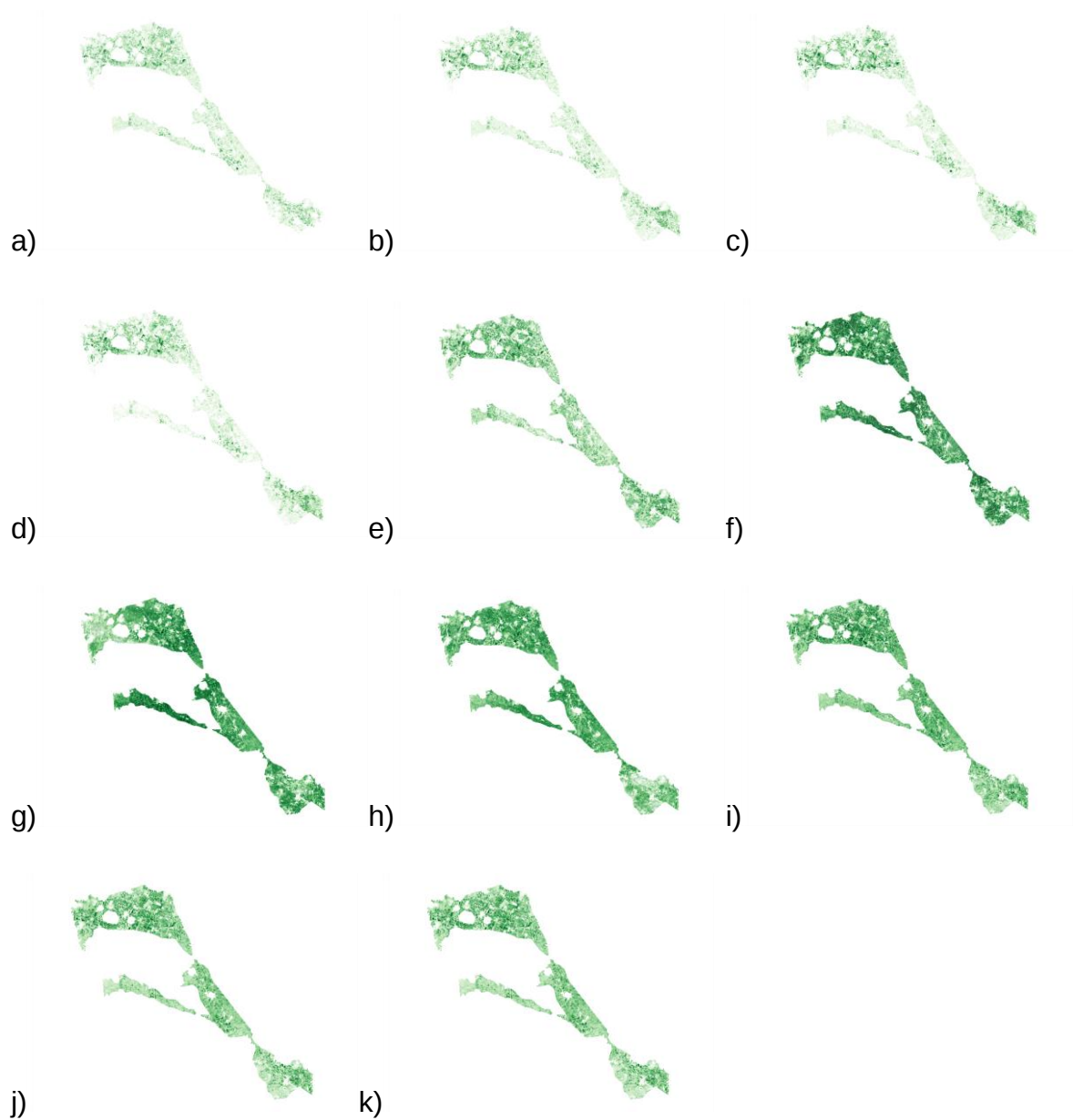


Figura 91. Evolución temporal del NDVI en el distrito de riego 030 Valsequillo para el año 2018. Fuente: Propia.

Evolución del NDVI para el periodo 2019

Se muestra en todos los incisos de la **Figura 92** la evaluación del NDVI para las imágenes descargadas considerando un criterio de $\text{NDVI} \geq 0.25$ mismo que corresponde a presencia de cultivo durante el periodo 2019.

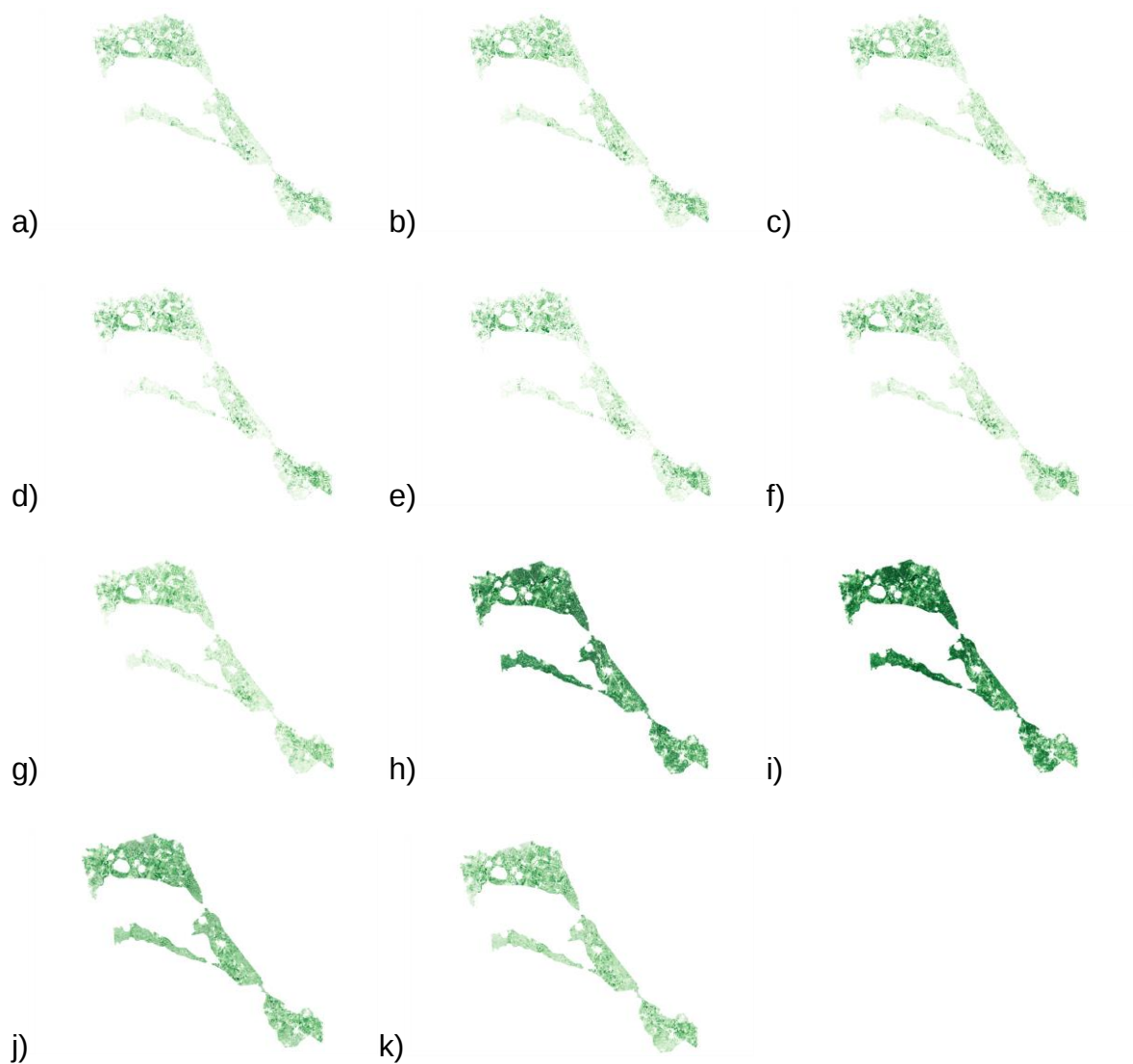


Figura 92. Evolución temporal del NDVI en el distrito de riego 030 Valsequillo para el año 2019. Fuente: Propia.

Evolución del NDVI para el periodo 2020

Se muestra en todos los incisos de la **Figura 93** la evaluación del NDVI para las imágenes descargadas considerando un criterio de $\text{NDVI} \geq 0.25$ mismo que corresponde a presencia de cultivo durante el periodo 2020.

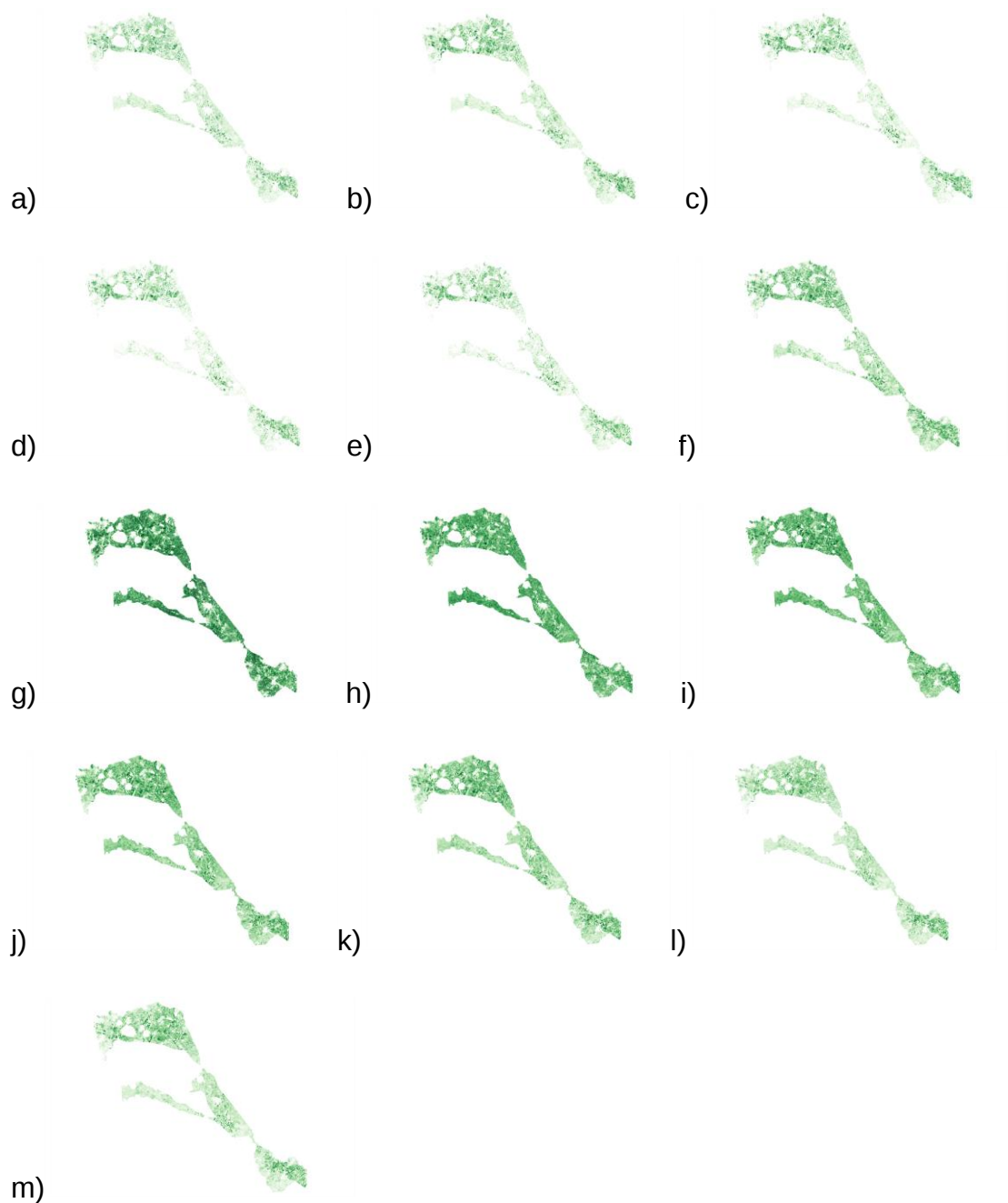


Figura 93. Evolución temporal del NDVI en el distrito de riego 030 Valsequillo para el año 2020. Fuente: Propia.

Raster binarios

El Raster binario como se mencionó en la metodología, corresponde a la imagen posterior a los cálculos del NDVI, el objetivo de este procedimiento corresponde en simplificar el criterio de selección para cada pixel, por lo que un pixel con criterio mayor de 0.25 se considerará como 1 y se aplicará un valor de 0 para el resto de los casos.

En la **Figura 94** se muestran las 9 imágenes que se procesaron para el periodo 2016, el peso acumulada de los recortes es de 173 Mb.

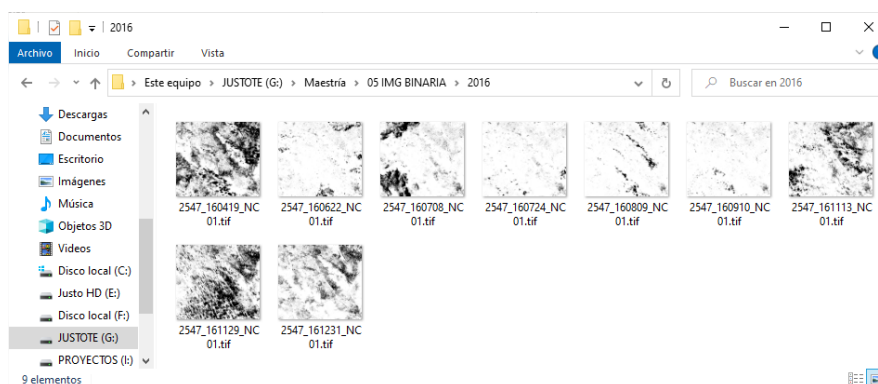


Figura 94. Imágenes binarias periodo 2016 (1= $\text{NDVI} \geq 0.25$; 0= $\text{NDVI} < 0.25$) Fuente: Propia.

En la **Figura 95** se muestran las 11 imágenes que se procesaron para el periodo 2017, el peso acumulada de los recortes es de 211 Mb.

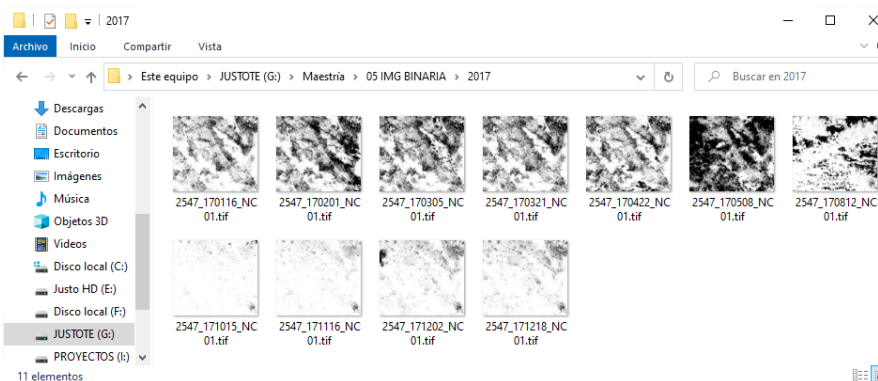


Figura 95. Imágenes binarias periodo 2017 (1= $\text{NDVI} \geq 0.25$; 0= $\text{NDVI} < 0.25$) Fuente: Propia.

En la **Figura 96** se muestran las 10 imágenes del periodo 2018, (192 Mb).

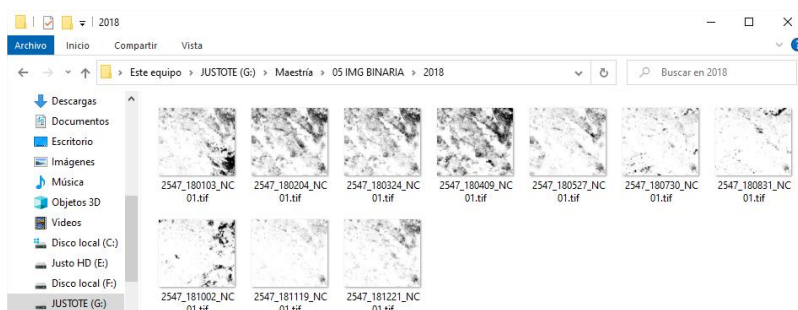


Figura 96. Imágenes binarias periodo 2018 (1= NDVI $\geq$ 0.25; 0= NDVI<0.25) Fuente: Propia.

En la **Figura 97** se muestran las 10 imágenes que se procesaron para el periodo 2019, el peso acumulada de los recortes es de 211 Mb.

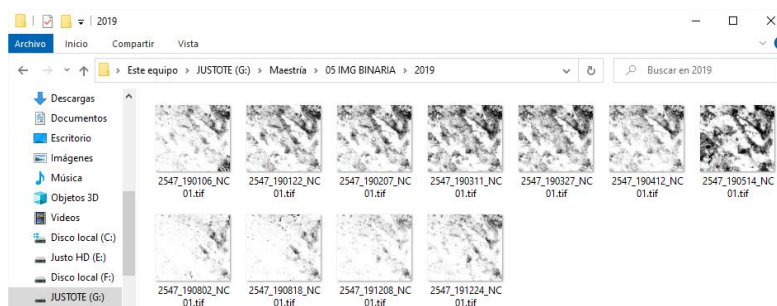


Figura 97. Imágenes binarias periodo 2019 (1= NDVI $\geq$ 0.25; 0= NDVI<0.25) Fuente: Propia.

En la **Figura 98** se muestran las 13 imágenes del periodo 2020, (249 Mb).

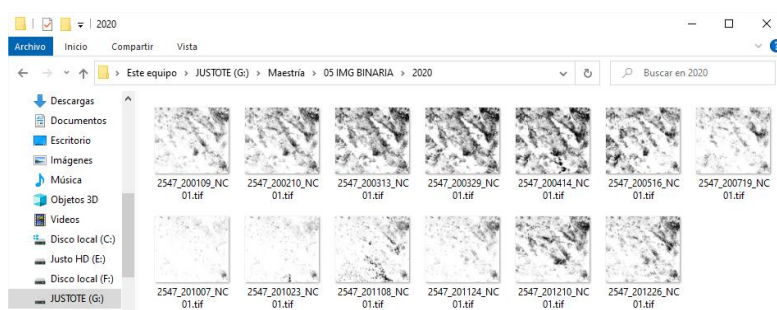


Figura 98. Imágenes binarias periodo 2020 (1= NDVI $\geq$ 0.25; 0= NDVI<0.25) Fuente: Propia.

Áreas cultivadas

De las estadísticas de capa que se presentaron en la metodología se obtiene el número de píxeles con valor positivo de acuerdo a cada una de las parcelas, conociendo el área que cubre cada píxel (30 metros * 30 metros) se puede conocer cuál es el área en metros cuadrados y por lo tanto calcular el área con base a la sumatoria que se obtuvo en las estadísticas. Los valores cronológicos se pueden observar de la **Figura 99** a la **Figura 103**

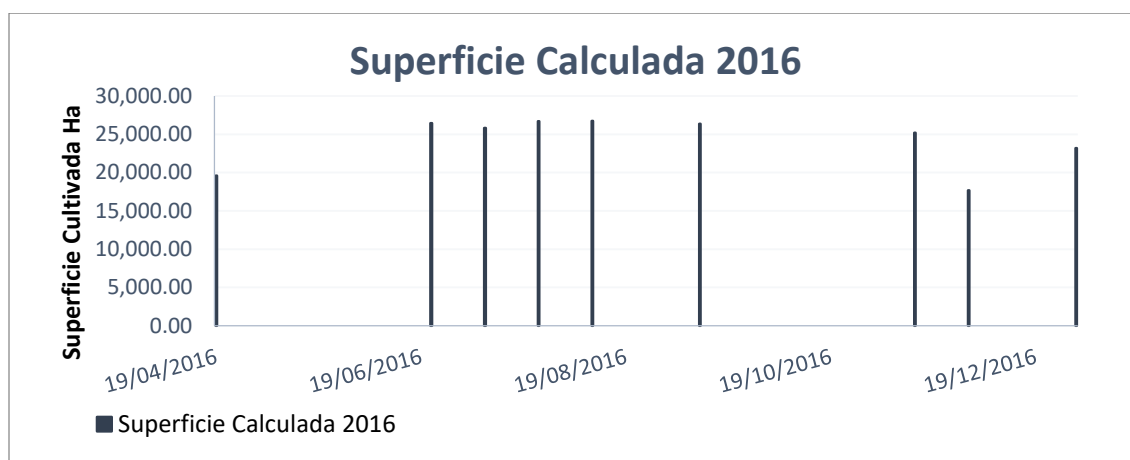


Figura 99. Superficies Calculadas para 2016 de imágenes satelitales. Fuente: Propia.

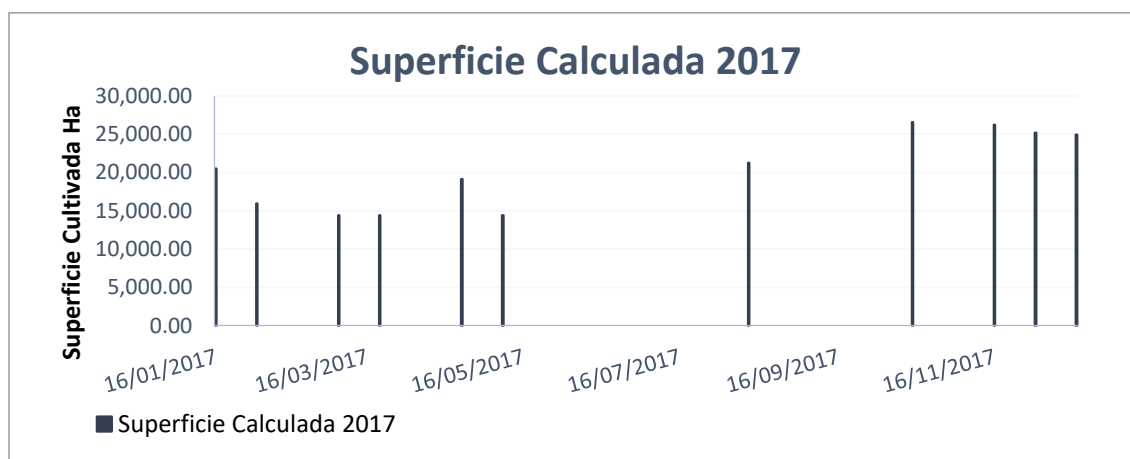


Figura 100. Superficies Calculadas para 2017 de imágenes satelitales. Fuente: Propia.

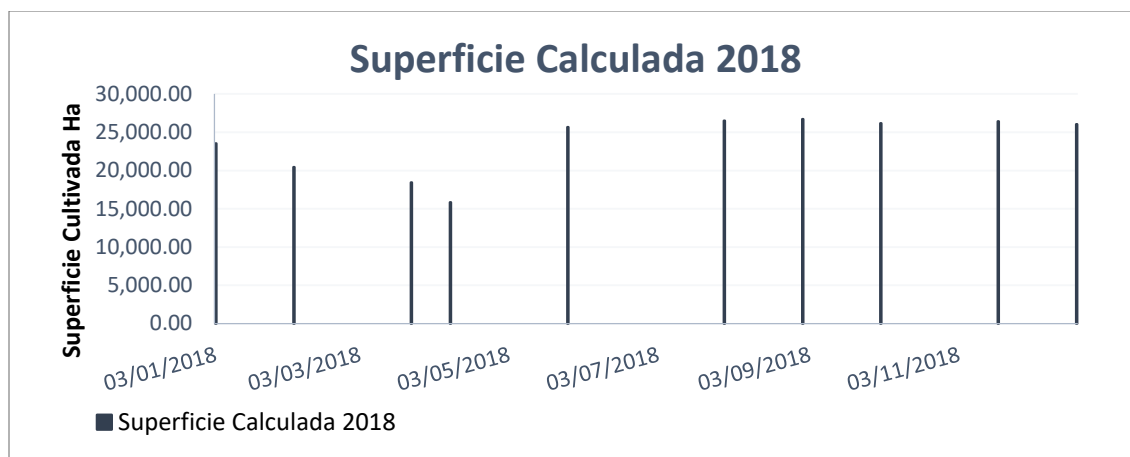


Figura 101. Superficies Calculadas para 2018 de imágenes satelitales. Fuente: Propia.

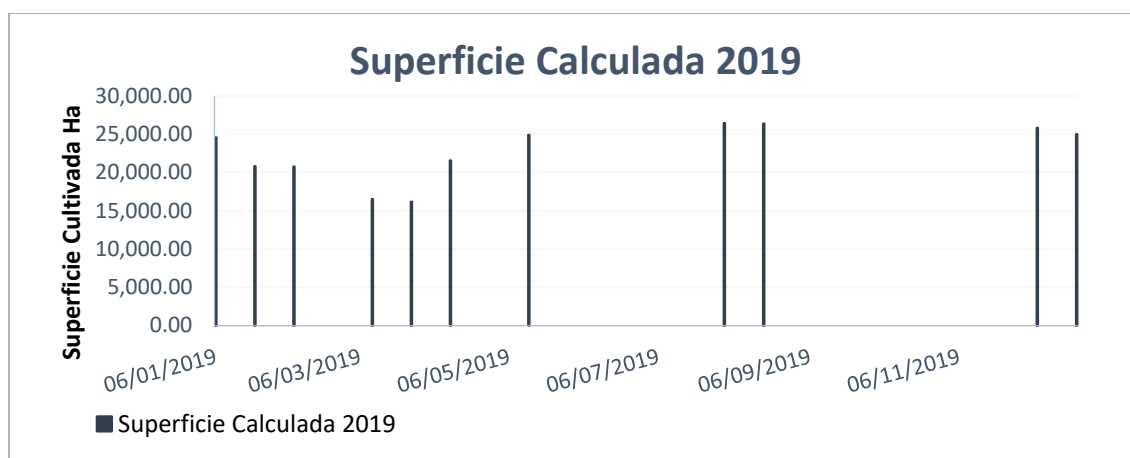


Figura 102. Superficies Calculadas para 2019 de imágenes satelitales. Fuente: Propia.

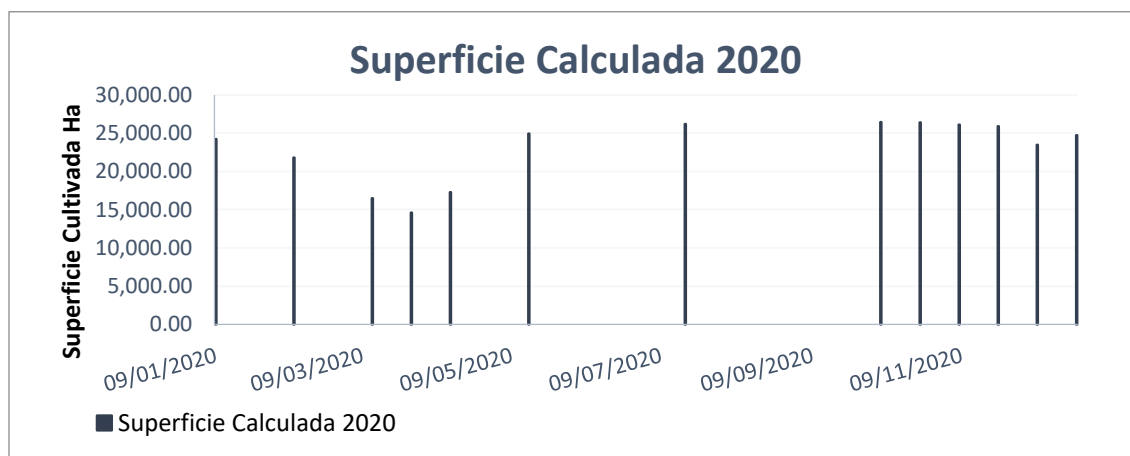


Figura 103. Superficies Calculadas para 2020 de imágenes satelitales. Fuente: Propia.

Este resultado se obtiene para cada una de las imágenes en cada uno de los periodos anuales, en la **Figura 104** se presentan el comportamiento de las áreas calculadas mediante el uso de imágenes satelitales.

Las gráficas incluyen los campos que no presentan siembras o cultivos sin especificación de siembra. Este es un punto importante a mencionar ya que, aunque según la actualización del padrón de usuarios no indica siembra alguna si existen parcelas que presentan valores superiores a 0.25 lo cual indica que puede estar sembrando ya sea de manera legal o clandestina.

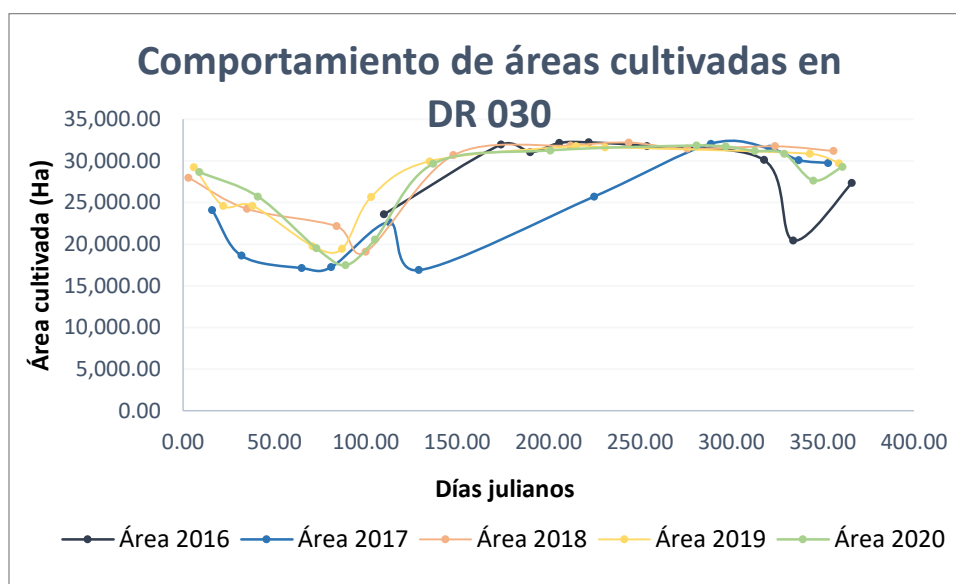


Figura 104. Comportamiento de áreas cultivadas en Distrito de Riego 030, Valsequillo.

Fuente: Propia

Áreas Reportadas

Usando las estadísticas que se reportan de manera anual por parte de la administración del distrito de riego 030, valsequillo, se generan los cuadros que forman parte de las estadísticas agrícolas publicadas por la Conagua a nivel nacional y las cuales pueden ser descargadas desde su página de internet. Se presentan a continuación las superficies reportadas de manera oficial observando desde el **Cuadro 10** al **Cuadro 14**.

Cuadro 10 Superficies DR 030 Valsequillo Periodos 2015 – 2016 (CONAGUA & SEMARNAT, 2017)

Concentrado distrital			Año agrícola 2015/16	
N°	Nombre	Sup. Sembrada Ha	Sup. Cosechada Ha	Valor de la producción
030	Valsequillo, Puebla	21,252.00	21,252.00	\$ 595,927.69

Cuadro 11 Superficies DR 030 Valsequillo Periodos 2016 – 2017 (CONAGUA & SEMARNAT, 2018)

Concentrado distrital			Año agrícola 2016/17	
N°	Nombre	Sup. Sembrada Ha	Sup. Cosechada Ha	Valor de la producción
030	Valsequillo, Puebla	20,808.00	20,808.00	\$ 599,214.62

Cuadro 12 Superficies DR 030 Valsequillo Periodos 2017 – 2018 (CONAGUA & SEMARNAT, 2019)

Concentrado distrital			Año agrícola 2017/18	
N°	Nombre	Sup. Sembrada Ha	Sup. Cosechada Ha	Valor de la producción
030	Valsequillo, Puebla	20,455.00	20,455.00	\$ 712,419.15

Cuadro 13 Superficies DR 030 Valsequillo Periodos 2018 – 2019

Concentrado distrital			Año agrícola 2018/19	
N°	Nombre	Sup. Sembrada Ha	Sup. Cosechada Ha	Valor de la producción
030	Valsequillo, Puebla	20,319.89	20,319.89	\$ 651,461.39

Cuadro 14 Superficies DR 030 Valsequillo Periodos 2019 – 2020

Concentrado distrital			Año agrícola 2019/20	
N°	Nombre	Sup. Sembrada Ha	Sup. Cosechada Ha	Valor de la producción
030	Valsequillo, Puebla	20,619.44	20,619.44	\$ 940,183.25

Con la información reportada y la calculada se puede generar un cuadro comparativo que nos presente las superficies calculadas y las reportadas, tal y como se muestra en el **Cuadro 15**

Cuadro 15 Superficies DR 030 Valsequillo Periodos 2019 – 2020

Año	Calculada	Reportadas	Diferencia
2016	26,732	21,252	5,480
2017	26,574	20,808	5,766
2018	26,703	20,455	6,248
2019	26,449	20,320	6,129
2020	26,434	20,619	5,815

De la misma manera se puede observar la información de manera visual tal y como se muestra en la **Figura 105**, mismos que contiene los años estudiados.

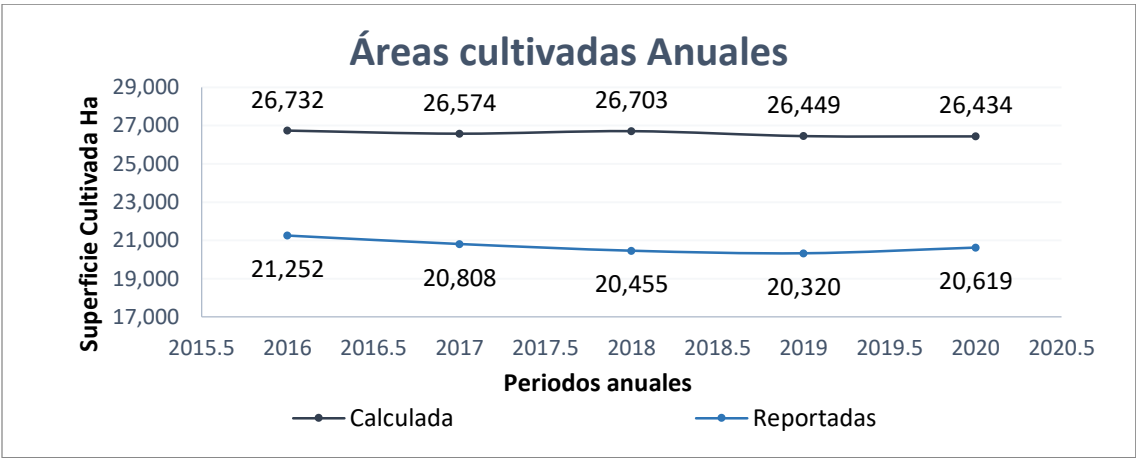


Figura 105. Comparación de áreas identificadas y áreas reportadas. Fuente: Propia.

VI. CONCLUSIÓN

En el Distrito de Riego 030 valsequillo, puebla se observa una mecánica de riego relativamente estable durante los periodos estudiados. Sin embargo, un detalle muy importante a mencionar es que desde su creación esta superficie se ha visto en reducción, afectada por la escasez del agua, causado por sequias y tomas clandestinas. Aunque en sus inicios las hectáreas cultivadas superaban las 40 mil hectáreas, se ha visto una reducción que presenta afectaciones importantes en la actualidad, llegando a que en los últimos años se reporten valores poco superiores a las 20 mil hectáreas.

El personal oficial del distrito de riego, reporta que en virtud de la escasez del agua se han visto obligados a cubrir una menor área de riego, eso se agrega a otros problemas como falta de pago para el mantenimiento de la infraestructura, tomas clandestinas de agua, parcelas no registradas que acceden de manera intermitente al riego, etc.

Del análisis y seguimiento realizado a la zona del Distrito de Riego 030 Valsequillo se puede concluir apegado a las hipótesis lo siguiente.

Se pudo observar que los valores (calculados y los reportados) son consistentes con respecto a la tendencia, sin embargo, las áreas calculadas son mayores, para explicar esta situación se pueden concluir lo siguiente.

La primera de ellas radica en la necesidad de encontrar una mecánica que permita la actualización constante del padrón de usuarios, ya que la versión con la cual se dispone no refleja actualmente de manera precisa el número de usuarios, el área cultivada ni los cultivos abarcados. Por lo que muy seguramente en el shape se estén cuantificando parcelas que actualmente no se registran de manera oficial en el distrito de riego. Estas áreas pueden ser cambios de uso de suelo, riegos clandestinos o que dependan solamente del periodo de lluvias de temporal.

Referente al tema de los riegos clandestinos, representan otro problema de importancia, esto debido a la situación social que se experimenta en la zona, el personal del distrito de riego no solo tiene la carga de cuidar la operación del mismo, sino que además se ha

visto en la necesidad de lidiar con grupos que se manifiestan en contra de las decisiones y propuestas por parte de la directiva.

Por todo ello se concluye que el distrito de riego presenta una variación promedio en los años evaluados de 5,888.00 Hectáreas. Misma que correspondería a un 22% del área total, este porcentaje refleja la necesidad de implementar acciones que permitan mejorar el seguimiento de las áreas cultivadas en el distrito de riego. Esta variación es negativa para el distrito ya que representaría que existen áreas que se están regando fuera de la contabilización del distrito de riego,

Lograr una actualización del padrón de usuarios se considera factible y dentro de los alcances logísticos y económicos de la zona de riego. Se recomienda además capacitar al personal indicado en la descarga y procesamiento de las imágenes satelitales a fin de que el distrito pueda generar de manera periódica e independiente la información de los siguientes meses

Buscando que el distrito de riego 030 Valsequillo pueda mejorar en la precisión de sus áreas reportadas y de esta forma tener mejores datos que faciliten la toma de decisiones se hacen las siguientes recomendaciones.

En lo particular:

1. Se sugiere como una continuación y para mejora de referencias futuras el considerar ampliar los factores con los cuales se lleva a cabo del criterio del NDVI, esto es, tener presente que para poder hacer una identificación más precisa es posible emplear valores de selección diferentes al 0.25 mismos que dependerán de cuestiones adicionales como el tipo de cultivo, fechas de siembra, etc.
2. Se sugiere al personal de los módulos el realizar recomendaciones a los usuarios para que se mantengan actualizada su información, misma que es necesaria además de fundamental, requieren metodologías que incentiven a los usuarios a mantener su información actualizada.
3. Se sugiere al personal de los módulos realizar durante los periodos de mayor superficie cultivada la descarga y el procesamiento de la información en su

presentación de imágenes satelitales, esto con el fin de tener una estimación de la superficie cultivada, misma que será comparada con la superficie que de manera tabular han obtenido.

4. Se invita al personal del módulo a utilizar el manual que se facilita en el presente trabajo con el fin de ser utilizado como apoyo para llevar a cabo la cuantificación periódica o anual de las superficies utilizando este criterio como punto de comparación.

En lo general:

1. Se debe de llevar a cabo un proceso para actualizar el padrón de usuarios en su característica geográfica, ya que de esta información depende en forma centralo los cálculos y resultados realizados. El shape más reciente del distrito de riego 030 Valsequillo fue actualizado en el año 2017, lo que significa que se requiere una actualización geográfica parcelaria, debido a que algunas parcelas han cambiado su uso de suelo y no se tiene registro de ello.
2. Se debe de llevar a cabo un proceso para que haya una migración por parte de los usuarios a herramientas y plataformas digitales, esta migración permitirá mejorar el manejo, control, registro y reporte de la información.

Es importante mencionar que algunas de estas recomendaciones requieren de un proyecto de actualización o capacitación por parte de diferentes áreas participantes (usuarios, DR, gobierno federal) es debido a esta importancia que se insta a las partes involucradas a buscar herramientas de financiación que permitan aplicar estas observaciones y permitir un mejor control en la administración del distrito de Riego.

VII. LITERATURA CITADA

Aguilar-Arias, H. (2014). METODOLOGÍA PARA LA CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA DE IMÁGENES ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 Y LANDSAT 8 CON EL MÓDULO FLASH DEL SOFTWARE ENVI.

https://redib.org/Record/oai_articulo569122-metodolog%C3%ADa-para-la-correcci%C3%B3n-atmosf%C3%A9rica-de-im%C3%A1genes-aster-rapideye-spot-2-y-landsat-8-con-el-m%C3%B3dulo-flaash-del-software-envi

Berk, A., Anderson, G. P., Acharya, P. K., Chetwynd, J. H., Bernstein, L. S., Shettle, E. P., Matthew, M. W., & Adler-Golden, S. M. (2000). MODTRAN4 user's manual.

Campos, A., Guerrero, E., & Gines, E. (2018). Evolución de la cobertura vegetal en el parque central cerros de amotape de tumbes utilizando el indice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) 2000-2014. 1–10.

CEDRSSA. (2021). Los distritos de riego y las concesiones de agua. 47.

Chavez, P. S. (1996). Image-based atmospheric corrections: Revisited and improved. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1025–1036.

CHUVIECO, E. (2008). Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. 3a edicion.

CHUVIECO, E., MARTIN, M. P., & PALACIOS, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. International Journal of Remote Sensing. 23.

Cima Ruiz, M. ines. (2021). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada(NDVI): Análisis y mapeo de la deforestación en el municipio de Bacalar, Quintana Roo. 73–75.

Clevers, J. G. P. W. (2014). Beyond NDVI: Extraction of Biophysical Variables From Remote Sensing Imagery. 23. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7969-3_22.

CNA. (2001). Cuencas Hidrológicas (CNA).

http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/cue250kgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no

CONAGUA. (2017). ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DIRECTOR PARA LA MODERNIZACIÓN INTEGRAL DEL RIEGO, EN EL DISTRITO DE RIEGO 030 VALSEQUILLO.

CONAGUA. (2019). Estadísticas del Agua en México 2019 (Comisión Nacional del Agua). http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2019.pdf

CONAGUA & SEMARNAT. (2017). Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego Año Agrícola 2015-2016. CONAGUA. https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EA_2015-2016.pdf

CONAGUA & SEMARNAT. (2018). Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego Año Agrícola 2016-2017. CONAGUA.
https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EA_2016-2017.pdf

CONAGUA & SEMARNAT. (2019). Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego Año Agrícola 2017-2018. CONAGUA.
https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EADR_2017-18.pdf

Congedo, L. (2021). Complemento de clasificación semiautomática: Una herramienta de Python para la descarga y el procesamiento de imágenes de detección remota en QGIS. *Revista de software de código abierto*. 64.

DOF. (2020). Programa Nacional Hídrico 2020-2024.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609188&fecha=30/12/2020

El sol de puebla. (2022, mayo 24). Aumentan las desapariciones de personas en el Triángulo Rojo. <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/estado/aumentan-las-desapariciones-de-personas-en-el-triangulo-rojo-8333229.html>

García Martín, A., Pérez Cabello, F., & De la Riva, J. (2006). Evaluación de los recursos de Biomasa Residual Forestal mediante imágenes del satélite Landsat y SIG. *Geofocus*, 205–230.

Gavilanes, S. E. (2020). Índice de vegetación normalizada (NDVI) y su influencia en la agricultura de precisión. 1–23.

Giraldo, R. A. (2021). Análisis de aplicaciones espectrales derivados de imágenes satelitales PerúSAT-1. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 2–8.

Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., & Don Rundquist. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. 80, 87.
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)

GLOVIS. (2021). GloVis—Home. <https://glovis.usgs.gov/>

Govaerts, B., & Verhulst, N. (2010). The normalized difference vegetation index (NDVI) Greenseeker(TM) handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management part A: concepts and case studies: Vol. Part A.

Hedley. (2013). *Hyperspectral Applications*. Por James A. Goodman, Samuel J. Purkis y Stuart R. Phinn (Eds.). *Coral Reef Remote Sensing. A guide for mapping, monitoring and management*.

Henrich, V., Krauss, G., Götze, C., & Sandow, C. (2012). IDB - Search indices for »vegetation«. <https://www.indexdatabase.de/search/i-search.php?s=vegetation&offset=1>

INEGI. (2022). Aspectos técnicos Landsat. https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/imgLANDSAT/doc/Aspectos_tecnicos_landsat.pdf

LANDSAT. (2021, noviembre 30). Landsat 8 | Landsat Science. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>

MILENIO. (2021, julio 22). Soapap culpa a empresas y municipios por espuma tóxica en Valsequillo. <https://www.milenio.com/politica/gobierno/soapap-culpa-empresas-municipios-espuma-toxica-valsequillo>

municipiospuebla. (2022, abril 25). Primer riego agrícola del canal de Valsequillo arroja cuatro muertos. <https://municipiospuebla.mx/nota/2022-04-25/tecamachalco/primer-riego-agr%C3%ADcola-del-canal-de-valsequillo-arroja-cuatro-muertos>

Pedroza, E., & Hinojosa, G. A. (2014). Manejo y distribución del agua en distritos de riego. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Rejas, J. (2008). Tratamiento digital previo de las imágenes. http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45518/componente45516.pdf

Ríos, S., & Zurita, S. (2014). Comparacion de tecnicas para determinar cobertura vegetal y usos de la tierra en areas de interes ecologico. Manabi, Ecuador. 2-28.

Rodríguez, V. M., & Bullock, S. H. (2013). Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el desierto Sonorense. 623.

Rodríguez Valero, M. I., & Alonso Sarria, F. (2019). Clasificación de imágenes Landsat-8 en la Demarcación Hidrográfica del Segura. Revista de Teledetección, 53, 33. <https://doi.org/10.4995/raet.2019.11016>

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). MONITORING VEGETATION SYSTEMS IN THE GREAT PLAINS WITH ERTS. Symposium NASA, 309–317.

SMN. (2022). Normales Climatológicas. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>

USGS. (2017). Landsat 8 | U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>