

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE**

**Departamento de Matemáticas y Física**

**Sustentabilidad del hábitat**

**PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)**

**Sustentabilidad y tecnología**



**ITESO**

Universidad Jesuita  
de Guadalajara

**Programa educativo y estudiantes**

**O2023\_PAP4J10A PAP PROGRAMA DE MODELACION MATEMATICA PARA EL  
DESARROLLO DE PLANES Y PROYECTOS DE NEGOCIO**

**Cambio de uso de suelo en cultivos de agave, aguacate y berries en el sur de Jalisco**

**PRESENTAN**

Programas Educativos y Estudiantes

Ing. y ciencia de datos, Claudia Celeste Castillejos Jáuregui

Lic. en relaciones industriales, Fernando Vázquez Ibarra

Ing. y ciencia de datos, Ana Rosaura Zamarrón Álvarez

Ing. financiera, Marián Michelle Romo Martínez

Ing. financiera, Montserrat Ortiz Pontes.

Ing. en sistemas computacionales, Sofía Vargas Aceves

Ing. en sistemas computacionales, Rodolfo de Jesús López Álvarez

Lic. en comunicación y artes audiovisuales, María Guadalupe Toledo Valadez

Lic. en comercio y negocios globales, Miguel Helú Pérez

Ing. financiera, Pablo Enrique Magallón Corona

Ing. en sistemas computacionales, César Raúl Palomino Escobedo

**Profesor PAP:**

Maximiano Bautista Andalón

David Rogelio Campos Cornejo

Edgar Daniel Ramírez Aceves

Tlaquepaque, Jalisco, noviembre de 2023

# ÍNDICE

## Contenido

REPORTE PAP .....	4
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional .....	4
Resumen .....	5
1. Introducción.....	6
1.1. Objetivo .....	6
1.2. Justificación .....	7
1.3 Antecedentes.....	8
1.4. Contexto .....	10
1.4.1. Área de estudio.....	10
1.4.2. Contexto del agave .....	11
1.4.3. Contexto del aguacate.....	13
1.4.4. Contexto de las berries.....	14
2. Desarrollo .....	19
2.1. Sustento teórico y metodológico .....	19
2.1.1. Teledetección o percepción remota.....	19
2.1.1. Sensores remotos .....	21
2.1.2. Sistemas de Información Geográfica.....	29
2.1.3. Sistema de clasificación .....	30
2.1.4. Algoritmos .....	40
2.1.5. Indicadores .....	42
2.1.7. Herramientas para el análisis .....	43
2.2. Planeación y seguimiento del proyecto .....	44
2.2.1. Descarga de imágenes satelitales.....	45
2.2.2. Acotación al área de estudio .....	48
2.2.3. Elaboración de áreas de entrenamiento y verificación para la clasificación .....	53
2.2.4. Trabajo en campo.....	55
2.2.5. Clasificación de áreas .....	59
2.2.6. Elaboración de mapas clasificatorios .....	63
2.2.7. Verificación de calidad en clasificación .....	66
2.2.8. Recursos para comparación de cambios.....	69

2.2.8.1. Elaboración de matrices transición .....	69
2.2.8.1. Elaboración de grafos de transición .....	71
2.2.7. Predicción .....	71
3. Resultados del trabajo profesional.....	74
3.1. Imágenes Landsat clasificadas.....	74
3.2. Análisis de cambios.....	77
Cambios de 2002 a 2014 .....	77
Cambios de 2014 a 2022 .....	79
Cambios de 2002 a 2022 .....	81
4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto .....	84
4.1 Aprendizajes profesionales .....	84
4.2 Aprendizajes sociales.....	87
4.3 Aprendizajes éticos.....	88
4.4 Aprendizajes en lo personal .....	92
5. Conclusiones.....	96
6. Bibliografía.....	98

## REPORTE PAP

### Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

*Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son una modalidad educativa del ITESO en la que el estudiante aplica sus saberes y competencias socio-profesionales para el desarrollo de un proyecto que plantea soluciones a problemas de entornos reales. Su espíritu está dirigido para que el estudiante ejerza su profesión mediante una perspectiva ética y socialmente responsable.*

*A través de las actividades realizadas en el PAP, se acreditan el servicio social y la opción terminal. Así, en este reporte se documentan las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo del proyecto, sus incidencias en el entorno, y las reflexiones y aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.*

## Resumen

Durante el semestre de otoño de 2023, los estudiantes del ITESO que participaron en el PAP Laboratorio de Análisis de Datos, llevaron a cabo un análisis del cambio de uso de suelo en los cultivos de agave, aguacate y berries en el sur de Jalisco, durante el periodo de 2002 a 2022, mediante la teledetección con el uso de imágenes Landsat 7 y 8.

Los estudiantes conformaron un equipo multidisciplinario compuesto por Ingenieros en Sistemas Computacionales, Ingeniería y Ciencia de Datos, Ingeniería Financiera y Licenciatura en Ciencias de la Comunicación. En colaboración y asesoría con profesores expertos en el tema, se utilizaron las siguientes herramientas de software especializado en procesamiento de información geoespacial y de imágenes de satélite: QGIS, Google Earth Pro, Google Earth Engine, Gephi y Molusce; con lo que se logró y generar información y bases de datos, con la aplicación de machine learning, redes neuronales y modelos de predicción.

En respuesta a los objetivos planteados, se concluye que la agricultura de riego anual semipermanente reconocida en los sitios de entrenamiento como huertas de aguacate creció de 2002 a 2022 en 17,679.23 de las que 9,836.76 hectáreas (55.6%) avanzaron sobre vegetación forestal integrada por bosques templados, selva baja caducifolia y matorrales, es decir sí hubo deforestación. Los invernaderos crecieron de 2002 a 2022 en 6,085.04 hectáreas de las cuáles 4,784.05 hectáreas crecieron sobre áreas ya intervenidas como suelo desnudo, riego anual y agricultura de temporal, destacando que 1,103 hectáreas de riego se convirtieron a invernadero mientras que 1,617 hectáreas provienen de agricultura de temporal anual.

En cuanto al agave, reconocido en los sitios de entrenamiento como Agricultura de Temporal Anual Semipermanente, se observa un aumento de 18,099.64 hectáreas en 2002 a 19,845.84 hectáreas en 2022. Aunque la diferencia en superficie no es significativa, cabe destacar que el agave ha experimentado una reubicación notable, concentrándose

principalmente en el municipio de San Gabriel, en la región conocida en el libro de Juan Rulfo como el Llano en llamas, donde ha sustituido 7,822.60 hectáreas de pastizales naturales.

En resumen, existe la necesidad urgente de abordar estos desafíos de manera integral, considerando no solo la rentabilidad económica, sino también la sostenibilidad ambiental y la equidad social. La implementación de prácticas agrícolas sostenibles, la diversificación de la economía agrícola y el compromiso con la responsabilidad social y ambiental son esenciales para lograr un desarrollo equitativo y sostenible en la región de Jalisco. De la percepción de los productores entrevistados se puede concluir que observan claramente que hay una interconexión entre la producción agrícola, la conservación ambiental y las preocupaciones sociales particularmente en Ciudad Guzmán, con desafíos que incluyen la gestión del agua, el impacto ambiental de los cultivos y la necesidad de políticas que promuevan la equidad y la sostenibilidad y la preservación de tradiciones agrícolas frente al agroextractivismo.

## 1. Introducción

### 1.1. Objetivo

Analizar el cambio de uso de suelo en cultivos de agave, aguacate y berries en el sur de Jalisco, en el periodo comprendido entre 2002 y 2022, durante el semestre de otoño de 2023.

#### Objetivos específicos

1. Identificar a través de imágenes de satélite la superficie ocupada por la agricultura protegida y a cielo abierto para los tres cultivos de interés durante el periodo de 2002 a 2022 en 16 municipios de la región sur de Jalisco.
2. Identificar a través de imágenes de satélite los principales cambios de uso del suelo para los tres cultivos de interés durante el periodo de 2002 a 2022 en 16 municipios de la región sur de Jalisco.

3. Probar modelos de predicción para los cambios de uso del suelo con 20 años de proyección (2042) para 16 municipios del sur de Jalisco.

## 1.2. Justificación

El agroextractivismo es un fenómeno en la industria agrícola de México, que ha evolucionado significativamente a lo largo de su historia y se ha convertido en un componente crucial de su economía. Este concepto implica la exportación intensiva de grandes volúmenes de recursos naturales, y su presencia se ha documentado en América Latina y Sudamérica durante décadas.

El agroextractivismo ha tenido un impacto notable en el aumento de los precios de productos primarios, la concentración de la cadena de valor, la degradación ambiental y la precariedad laboral en las zonas de producción. Este modelo hace evidente el desequilibrio que persiste entre los aspectos legales, económicos, sociales y ambientales en la industria agrícola, (Tetreault, 2022).

Ahora bien, para Bucio y Marroquín (2023), en Jalisco la expansión de la frontera agrícola está asociada a la producción de cultivos destinados principalmente a la exportación. Esta ampliación está vinculada a cambios en la tenencia de la tierra, la sustitución de cultivos tradicionales, tala de bosques, nuevas formas de uso del agua, la emergencia de infraestructura logística y de transporte, así como a la creación de asentamientos humanos.

Con base en los registros del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), así como en observaciones de campo, Bucio y Marroquín (2023) identifican tres cultivos de interés: las berries (o frutos rojos) producidas mediante sistemas de agricultura protegida, la producción de aguacates en bosques talados y la siembra de agave en la zona de denominación de origen. Estos tres cultivos responden al modelo agro-extractivista (también denominado extractivismo

agrario o extractivismo “verde”), debido a la escala, el ritmo y los impactos sociales y ambientales negativos que implica a esta actividad.

El crecimiento de la producción agrícola en Jalisco ha sido constante y en el marco del programa de aplicación profesional se desarrolla este proyecto enfocado en el estudio del crecimiento de la superficie de producción de aguacate, berries y agave, los cuales poseen grandes superficies del suelo en Jalisco y en los últimos años se ha mostrado cómo desempeñan un papel importante en la economía estatal y nacional.

A medida que la demanda aumenta, los agricultores han tenido que incrementar su producción para satisfacerla, lo que puede dar lugar a la sobreexplotación de los recursos naturales. Esto incluye la explotación excesiva de tierras agrícolas, la escasez de agua y la dependencia excesiva de productos químicos y pesticidas, lo que a largo plazo puede ser insostenible y perjudicial para el medio ambiente.

Para entender la problemática del cambio del uso de suelo por la producción agrícola en el estado de Jalisco se identifican los siguientes factores de análisis:

- Superficie ocupada por la agricultura protegida y a cielo abierto
- Principales cambios de uso del suelo para los tres cultivos de interés
- Predicción de cambios de uso del suelo

### 1.3 Antecedentes

El tequila tiene sus raíces en el uso del agave para producir bebidas alcohólicas desde antes de la conquista española y ha pasado de ser producido de manera artesanal a industrializarse, especialmente a partir de la demanda creciente en Estados Unidos. Además, la proliferación de tequilas 100% de agave ha aumentado igualmente la demanda de agave en las últimas décadas, llevando a la adquisición de partes significativas de la industria agave-tequila en México por parte de empresas transnacionales y creando un oligopolio. Así mismo, debido a las malas prácticas de las grandes empresas tequileras, las

pequeñas empresas encuentran dificultades para ingresar al mercado, resaltando varios problemas y repercusiones del agroextractivismo sobre los suelos mexicanos.

(Tetreault, 2022)

El aguacate o mejor conocido como; *Persea americana*, Lauraceae en Mesoamérica tiene presencia en la región según diversos estudios desde hace ya más de 10,000 años, en Coxcatlán, Puebla México. Desde entonces, la historia del aguacate ha sido documentada, su centro de domesticación, y en el norte de Sudamérica, en donde fue dispersado por las culturas que habitaron en Mesoamérica en la época pre-Hispánica. Desde entonces el aguacate ha sido introducido en los lugares donde el clima es apropiado para su desarrollo y hoy en día se produce principalmente en Jalisco, Colima, Estado de México, Guanajuato, Michoacán, Morelos, Nayarit y Puebla. Actualmente el aguacate es una de las frutas tropicales más importante en el mundo y México es el principal productor.

Harvard Papers in Botany 12(2), 325-334, (1 December 2007)

Los frutos del bosque o mejor conocidos en el mercado de consumo como berries son las fresas, zarzamoras, moras azules y frambuesas. Sobre la fresa, se han encontrado especies en casi todos los lugares del mundo aparte de Australia, las tierras al este de Los Andes, Medio Oriente y África. Estos frutos han formado parte de la vida de este continente desde hace 13.000 años. El primer arbusto de arándanos de mata alta se cultivó con éxito para la producción comercial a principios del siglo XX.

## 1.4. Contexto

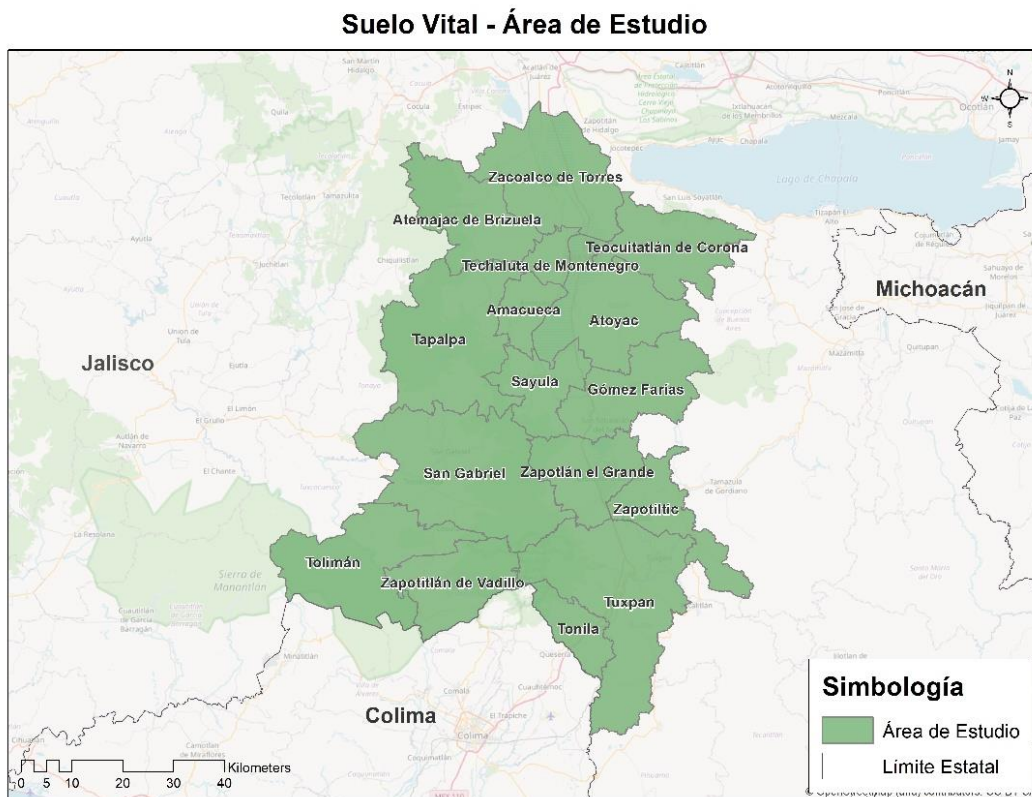
### 1.4.1. Área de estudio

Con el objetivo de caracterizar el desarrollo y auge de este modelo, se buscó identificar, a través de imágenes satelitales, la superficie ocupada por la agricultura protegida y a cielo abierto, así como los principales cambios de uso del suelo para los tres cultivos de interés para los siguientes municipios ubicados en el sur de Jalisco:

*Figura 6. Mapa de área de estudio. Fuente: Marco geoestadístico, INEGI, 2019.*

### Municipios de la región sur de Jalisco:

- Amacueca



- Atemajac de Brizuela
- Atoyac

- Gómez Farías
- San Gabriel
- Sayula
- Tapalpa
- Techaluta de Montenegro
- Teocuitatlán de Corona
- Tolimán
- Tonila
- Tuxpan
- Zacoalco de Torres
- Zapotiltic
- Zapotitlán de Vadillo
- Zapotlán el Grande

La superficie que cubren en conjunto los 16 municipios de la región Sur de Jalisco en estudio es de 846,608.33 hectáreas.

#### *1.4.2. Contexto del agave*

##### *1.4.2.1 Económico*

En la actualidad, el cultivo de agave representa una de las más importantes actividades del sector agroalimentario en Jalisco. En el Estado se reportan 65,729 hectáreas de territorio destinado al cultivo de agave, que equivalen aproximadamente a 1,132,611.42 toneladas de agave. La producción de agave genera más de un millón de empleos para el Estado por su alta demanda. El gobierno de México reporta que Jalisco representa el 74.3% de la producción nacional.

El género agave cuenta con cerca de 200 especies y México alberga 150 especies, es decir, el 75% de este grupo de plantas. El principal producto generado por el agave es el tequila que ha generado impacto en el mercado internacional en las últimas décadas,

posicionándose como una de las bebidas de mayor consumo mundial, junto al whiskey, el ron, y el vodka. Desde que entró en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, la producción y exportación de destilados de agave se ha incrementado exponencialmente.

La producción total de tequila incrementó cinco veces durante el periodo comprendido entre el año 1995 al 2021, pasando de 104.3 a 527 millones de litros. Según el gobierno de México, en el 2020 México exportó 308.6 millones de litros de destilados del agave, esto indica que ocho de cada diez litros se consumen en el extranjero. Aunque México exporta tequila a más de cien países, cerca del 90% de las exportaciones de tequila en el año 2020 se realizaron a Estados Unidos. En 2021 el tequila fue la segunda exportación agroalimentaria más importante de México, ubicada solamente detrás de la cerveza, representando el 7.4% de las exportaciones totales, valoradas en 3,317 millones de dólares.

De acuerdo con la SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), con base en estadísticas del Consejo Regulador del Tequila (CRT) y el Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI), los principales destinos de exportación de tequila mexicano son Estados Unidos, Alemania, España, Francia, Japón, Reino Unido, Sudáfrica, Colombia, Canadá y Brasil. Estos 10 países concentran alrededor de 92.4% de las exportaciones que realiza México de esta bebida a nivel mundial, el resto se divide en 88 naciones más a las que es enviado el tequila. Entre 2013 y 2016, el promedio de producción de tequila en México se ubicó en 242.6 millones de litros, con una Tasa Media de Crecimiento Anual para este periodo de 4.8%.

#### 1.4.2.2 Ambiental

Con respecto al impacto ambiental, investigaciones científicas y organismos ambientalistas han señalado que la sobreproducción de agave propicia la invasión de ecosistemas claves para el medio ambiente y la mitigación del cambio climático, así como que los agricultores dejen de producir granos básicos como el maíz. Uno de los efectos ambientales principales

del cultivo del agave azul sobre la siembra es el incremento sustancial en el uso de pesticidas; por ser un monocultivo, la planta es más vulnerable a enfermedades y plagas.

La agroindustria del agave está participando activamente en la deforestación y desertificación en Jalisco, y evitando la recuperación de los mantos acuíferos con la siembra de su materia prima, a la vez contaminando los suelos, el agua y el aire. Lo que arroja la ruina de actividades productivas como la agricultura y la ganadería.

### *1.4.3. Contexto del aguacate*

#### *1.4.3.1 Económico*

El aguacate mexicano es una importante fuente captadora de divisas para el país, hasta abril del 2022 se reportaron 259,769 hectáreas de territorio destinado al cultivo del aguacate, equivalente a 2,615,961 toneladas, 4.6% más en comparación al 2021. Michoacán con la mayor superficie representa 70.6% del total nacional, Jalisco le sigue con el 10.5% y el Estado de México con 5.1%.

Según datos de la OEC (Observatorio de Complejidad Económica) (2021), México lidera las exportaciones globales de aguacates, ya que representó el 41.4% de exportaciones a nivel global en 2021, con un valor estimado de \$3.2MM de dólares, le sigue Perú con el 14.9%, totalizando \$1.15MM de dólares, y otros países como Holanda con \$967M, España con \$467M y Chile con \$320M. Estados Unidos se posiciona como el principal importador de aguacates, representando el 36.2% de las importaciones, equivalente a \$2.8MM de dólares, le siguen Holanda con \$916M, Francia con \$539M, España con \$445M y Alemania con \$346M.

En 2022, México exportó más de 1.028MM toneladas de aguacate a Estados Unidos, siendo el 94.7% aguacate entero fresco, 3.8% guacamole y 1.6% pulpa. En conjunto, estos productos generaron un valor comercial de 3.138MM de dólares. Además, destaca como el principal exportador mundial de aguacate, representando más del 30% de la cosecha global. La producción alcanzó las 410,065 toneladas en febrero de 2023, experimentando un

crecimiento en comparación con el año anterior, impulsado por la expansión de la superficie cosechada.

Por otra parte, la dependencia federal señaló que la celebración de los playoffs de la NFL, así como del campeonato anual de fútbol americano en Estados Unidos, impulsa el consumo de guacamole y, consecuentemente, las exportaciones mexicanas. Las tres semanas previas al evento deportivo muestran un aumento progresivo en las exportaciones de aguacate entero fresco. En los últimos tres años se enviaron en promedio, 31,981 toneladas por semana, alcanzando un récord de 42,000 toneladas en 2022 en exportaciones por semana.

#### 1.4.3.2 Ambiental

A pesar de los innegables beneficios económicos, el cultivo masivo de aguacates también ha presentado desafíos medioambientales. La expansión de los huertos ha desencadenado la deforestación en algunas áreas, e incrementan las preocupaciones sustanciales sobre la pérdida de biodiversidad y el equilibrio ecológico. Sin embargo, es importante destacar que este fenómeno ha coexistido con un impacto social positivo, contribuyendo al desarrollo de infraestructuras locales, escuelas y servicios públicos, en paralelo al crecimiento económico experimentado en la región.

#### 1.4.4. Contexto de las berries

##### 1.4.4.1 Económico

La producción de berries en México ha experimentado un notorio auge en las últimas décadas, posicionándose como un sector agrícola de gran relevancia. Según datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA Market), en todo el territorio de México se cultivan 55,400 hectáreas de berries, distribuidas aproximadamente de la siguiente manera:

- Arándano 19.8% de hectáreas
- Frambuesa 22.1% de hectáreas
- Fresa 36% de hectáreas
- Zarzamora 21.9% de hectáreas

De acuerdo con la Asociación Nacional de Exportadores de Berries (Aneberries), el estado de Jalisco cuenta con alrededor de 13,500 hectáreas, consolidándose como líder nacional en la producción de moras azules y frambuesas. Michoacán, por su parte, lidera en fresa y zarzamora. Otros estados relevantes en esta producción son Baja California y Sinaloa, destacándose como principales productores de frutos rojos.

En una reciente declaración, el secretario de Agricultura de México, Víctor Villalobos Arámbula, destacó que las berries han alcanzado un estatus relevante como el segundo producto del campo con el mayor valor de exportación en el país. La producción de berries se considera un contribuyente clave al crecimiento de la economía nacional y se destaca como un gran generador de empleo, con registro de más de 450 mil empleos directos.

En este contexto, surge la necesidad de comprender no solo el impacto cuantitativo, sino también los aspectos cualitativos de esta cadena productiva. ¿Cómo afecta la producción de berries a las comunidades locales y cuál es su impacto en la sobreexplotación del suelo? ¿Cuáles son los desafíos y oportunidades que enfrentan los trabajadores en este sector? Si bien se aseguró que México mantendrá su liderazgo en el cumplimiento de las regulaciones nacionales e internacionales, principalmente en materia de sanidad, así como de responsabilidad social y ambiental, según señaló la Asociación Nacional de Exportadores de Berries (Aneberries).

El director general de Aneberries, Juan José Flores, resalta que la producción sustentable de berries es un reto clave para el sector, destacando que la tecnificación es la vía para optimizar el uso del agua. A pesar de los desafíos como el cambio climático, se proyecta un

crecimiento del 15% en la producción de berries en México para este año y las exportaciones superaron en divisas al aguacate, la cerveza y el tequila durante los primeros meses del año.

En el primer trimestre del año, las divisas generadas por las exportaciones de berries superaron incluso a las del aguacate y la cerveza, en 2022 las divisas del sector también superaron ligeramente las del aguacate. La creciente demanda global de berries ha posicionado a México como uno de los principales productores y exportadores. También en el año 2022, las berries se alzaron como el segundo producto agrícola de mayor valor en las exportaciones nacionales y en este periodo se generaron más de 4,700 millones de dólares y emplearon a más de 450 mil personas (Sader, 2023).

Aunque el sector enfrenta desafíos como la escasez de mano de obra y problemas derivados del cambio climático, Jalisco se destaca como líder nacional en la producción de arándanos azules. Jalisco también demuestra el liderazgo en la producción nacional de frambuesas, con cultivos concentrados en los municipios del sur del estado y la ribera de Chapala, incluyendo áreas como Jocotepec, Sayula, Ciudad Guzmán, Zapotlán El Grande, Tuxpan y Gómez Farías.

Sin embargo, este floreciente sector no está exento de complejidades socioambientales. La producción de berries se inserta en un modelo de desarrollo extractivo, caracterizado por la explotación intensiva de recursos naturales, destinados principalmente a la exportación. Este modelo, impulsado en gran medida por empresas vinculadas al capital transnacional, plantea desafíos cruciales que exigen una mirada más integral y sistémica.

Según el director de Aneberries, las principales regiones productoras de berries en México por superficie cultivada son Michoacán, Jalisco, Baja California, Sinaloa y Guanajuato, destacando también Colima, Puebla y Tlaxcala.

En términos de exportación, México envía berries a 38 países, siendo Norteamérica el mercado líder, seguido de Europa (incluyendo Reino Unido), y Medio Oriente con el sudeste asiático en tercer lugar. Japón y Hong Kong destacan como destinos clave en Asia, mientras que, en Medio Oriente, Qatar, Kuwait y Dubái son mercados significativos. A pesar de tener una superficie cultivada menor que Michoacán, Jalisco lidera las exportaciones con el 60% de las 550,000 toneladas exportadas a nivel nacional. Esto se atribuye a una mejor tecnificación en comparación con el estado vecino, según el director de Aneberries, Juan José Flores. Por otra parte, México representa la producción del 10% de las fresas a nivel mundial, según datos de Broom en 2022.

En particular, para los blueberries, hay 22 países consumidores del fruto cultivado en México, y se exploran nuevas oportunidades en mercados como Corea del Sur, India, Vietnam e Indonesia.

#### 1.4.4.2 Ambiental

El Observatorio de Conflictos Socioambientales de la Universidad Iberoamericana Ciudad de México (OCSA) ha sido fundamental en el análisis de proyectos extractivos en México, incluyendo aquellos dedicados a la producción de berries. El OCSA ha documentado cincuenta proyectos de esta índole en México, revelando impactos ecológicos como la contaminación del agua y del suelo por agroquímicos, pérdida de biodiversidad y repercusiones directas en la salud de las comunidades locales y con la mano de obra, en su mayoría compuesta por personas migrantes, enfrenta salarios injustos y carencia de derechos laborales.

Un ejemplo de la problemática social es la protesta de los trabajadores en marzo de 2015. Estos se manifestaron en contra de las condiciones laborales, lo que desencadenó una violenta represión con heridos y detenidos. Además, la sobreexplotación del acuífero del Valle de San Quintín no solo afecta la disponibilidad de agua para las comunidades locales,

sino que también amenaza con la intrusión de agua marina en el subsuelo, un desafío que podría alterar drásticamente la producción agrícola en la zona.

Considerando el liderazgo de México en el subsector de berries, la empresa Syngenta que es una organización global con más de 28,000 colaboradores en 90 países dedicada a un único propósito: “Traer el potencial de las plantas a la vida”, presentó su portafolio de productos biológicos y bioestimulantes en el Congreso Internacional Aneberries. La empresa reconoce la importancia de formas más sostenibles de producción, especialmente en un país con ambientes naturales propicios para las berries. Como una posible solución, los productos biológicos de Syngenta ofrecen soluciones basadas en la ciencia para mejorar la salud del suelo y la eficiencia en el uso de nutrientes.

También destaca su compromiso con la biodiversidad a través de "Operación Polinizador", un proyecto internacional que impulsa las poblaciones de insectos benéficos mediante la siembra de márgenes multifuncionales de vegetación. La directora de Sostenibilidad y Asuntos Corporativos, Patricia Toledo, subraya la importancia de este programa en la conservación de polinizadores y el equilibrio ambiental. En Latinoamérica, implementado en países como Colombia, Costa Rica, Perú y México, ha beneficiado a más de 9,500 hectáreas y ha colaborado con más de 57 agricultores, abordando los pilares de la sostenibilidad: ambiental, social y económico. Este programa es un ejemplo de cómo las acciones de Syngenta buscan cambiar la relación de la humanidad con la naturaleza para lograr resultados tangibles basados en los ODS.

Con la implementación de este proyecto, se ha identificado un incremento de biodiversidad benéfica de hasta un 57.79% en berries. Actualmente, existen 46 proyectos a nivel nacional, en los estados de Jalisco, Puebla, Sinaloa, Sonora, Michoacán y Guanajuato, en donde se intervienen tanto cultivos que son dependientes de la polinización como los arándanos, las zarzamoras, el aguacate y algunas hortalizas.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Sustento teórico y metodológico

#### *2.1.1. Teledetección o percepción remota*

El término percepción remota o teledetección es una traducción del término inglés “remote sensing”, el cual se refiere a la captación de datos desde el aire o el espacio, así como a su tratamiento posterior.

Emilio Chuvieco (2010) define la teledetección como la técnica que permite obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un instrumento que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación.

La percepción remota es un conjunto de técnicas y procesos que permiten obtener información de los objetos situados sobre la superficie terrestre utilizando sistemas de registro que no están en contacto con dichos objetos. Esta información es captada de manera objetiva y periódica por sensores que, comúnmente, están situados sobre plataformas móviles; posteriormente la información es tratada e interpretada siguiendo objetivos específicos de conocimiento de una porción de la superficie terrestre.

La percepción remota según la plataforma en que se ubique el sensor puede ser aérea (globo, avión, helicóptero, vehículos aéreos no tripulados) o espacial (plataformas que giran alrededor de la tierra en diferentes orbitas).

La percepción remota se considera una herramienta indispensable en múltiples estudios y aplicaciones ecológicas, de conservación biológica y como apoyo para la toma de decisiones.

Es de gran importancia para la descripción de los procesos ecológicos y antropogénicos que ocurren en la superficie terrestre. Ya que permite realizar el monitoreo de la deforestación, la detección de incendios y cuantificación de superficie dañada, presencia de plagas forestales, desastres naturales o antropogénicos, detección de la frontera agrícola, entre muchos más.

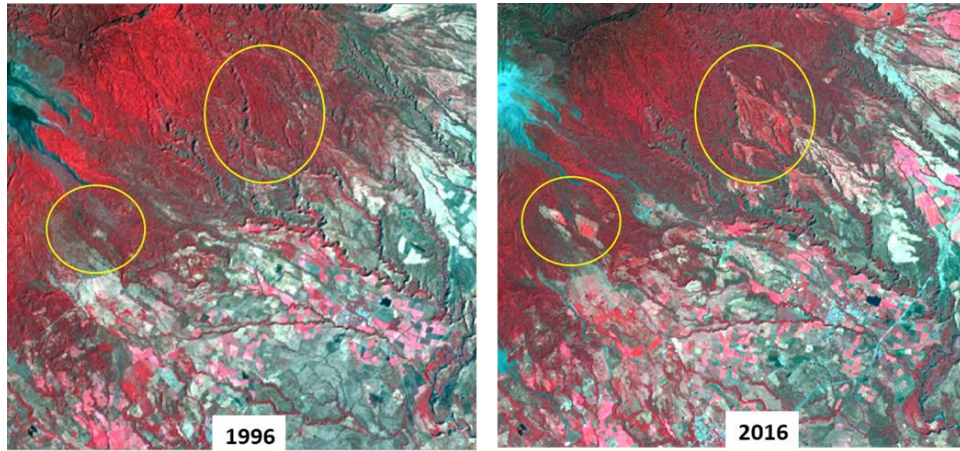


Figura 1. Detección de cambios de uso del suelo forestal a huertas de agave en las faldas del Volcán de Colima. Fuente: Tadeo M, 2019.

Otros ejemplos de uso de la percepción remota se refieren a los que se muestran en la Figura 2.

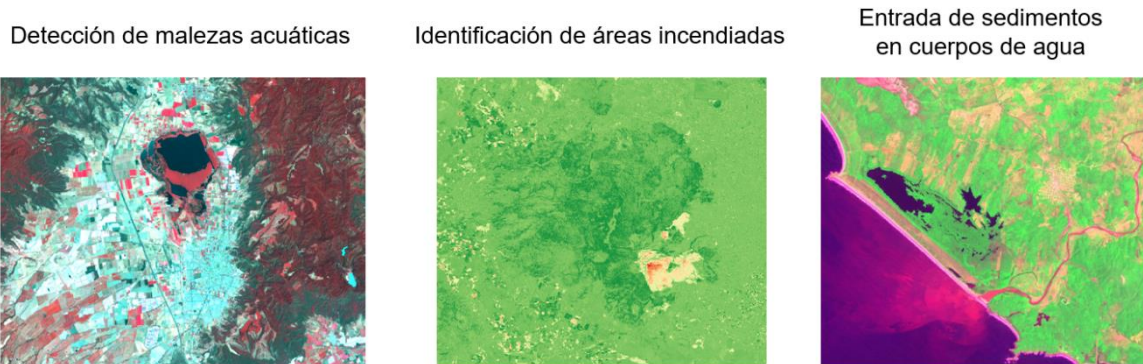


Figura 2 Usos de la percepción remota para la detección de fenómenos relacionados con los cambios en la superficie de la tierra. Fuente: Tadeo M, 2019.

### 2.1.1. Sensores remotos

De acuerdo con Tadeo M (2019) en la actualidad existe una amplia diversidad de plataformas de observación en órbita, lo que ha provocado que las imágenes de satélite sean una mercancía abundante.

A bordo de las plataformas de teledetección, se encuentran los sensores que detectan la señal electromagnética que llega de la tierra y la atmósfera y la convierten en una magnitud física que puede ser tratada y grabada, ya sea en formato analógico (fotografía) o digital (imagen), Tadeo M (2019).

Las características de la imagen registrada dependerán en gran medida de las propiedades del sensor utilizado y la distancia al suelo desde la cual se realiza la adquisición de datos. Para el presente proyecto PAP se utilizaron imágenes de satélite Landsat 7 y 8 de cuyas características se hablará en el siguiente párrafo.

Cada uno de estos satélites cuenta con una resolución multiespectral y datos térmicos de 30 metros por píxel lo que nos da acceso a datos e información esencial sobre los recursos y el ambiente de la tierra. Landsat 7 posee sensores Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) el cual es un radiómetro de barrido multiespectral fijo de 8 bandas que proveen imágenes de alta resolución de la superficie del planeta Tierra, detecta radiación filtrada espectralmente en bandas VNIR, SWIR, LWIR y pancromáticas de la tierra iluminada por el sol. A diferencia de este, Landsat 8 posee el sensor Operational Land Imager (OLI) y el Thermal InfraRed Sensor (TIRS) proporcionando una cobertura estacional de la masa terrestre global. Ambos satélites se encuentran con una resolución espacial de 30 metros (visible, NIR, SWIR), 100 metros (térmica); y 15 metros (pancromático).

Originalmente ambos satélites se localizaban a unos 705 kilómetros, pero ahora Landsat 7 se encuentra a 697 kilómetros de altura, con una inclinación de 98,2°, su órbita es polar, sincronizado con el sol, su hora de cruce ecuatorial es a las 10 de la mañana (con un margen de error de  $\pm 15$  min.) con el tiempo local (nodo descendiente), posee un periodo de revolución de 99 minutos (aproximadamente de 14.5 orbitas terrestres por día), con una cobertura de repetición de 16 días.

## ETM+

El instrumento Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) posee un tipo de sensor óptico mecánico con una resolución espacial de 30 m (60 m térmica y 15 m panorámica), rango espectral: 0,45 a 12,5  $\mu\text{m}$ , con 8 números de bandas, una resolución temporal de 16 días, tamaño de la imagen: 183 km x 170 km en franjas de 183 km de largo, programable.

#. Banda(L1-L2)	$\mu\text{m}$	Resolución
1	0.45-0.515	30m
2	0.525-0.605	30m
3	0.63-0.69	30m
4	0.775-0.90	30m
5	1.55-1.75	30m
6	10.4-12.5	60m
7	2.08-2.35	30m
8	0.52-0.9	15m

## OLI

El Operational Land Imager (OLI) es un sensor construido por Ball Aerospace & Technologies Corporation, mide las porciones del espacio visible, infrarrojo cercano y de onda corta. Las imágenes que obtiene tienen resoluciones espaciales pancromáticas de 15 metros y multiespectrales de 30 metros en una franja de 185 km. A diferencia de los sensores de los modelos Landsat anteriores, el OLI usa un conjunto de detectores largos en lugar de espejos de escaneo.

## LandSat 7 vs LandSat 8

Comparando el OLI del Landsat 8 con el ETM+ del Landsat 7, el sensor OLI proporciona dos nuevas bandas espectrales, una diseñada específicamente para detectar circos y la otra para observar zonas costeras (y zonas cerca de ríos y lagos grandes).

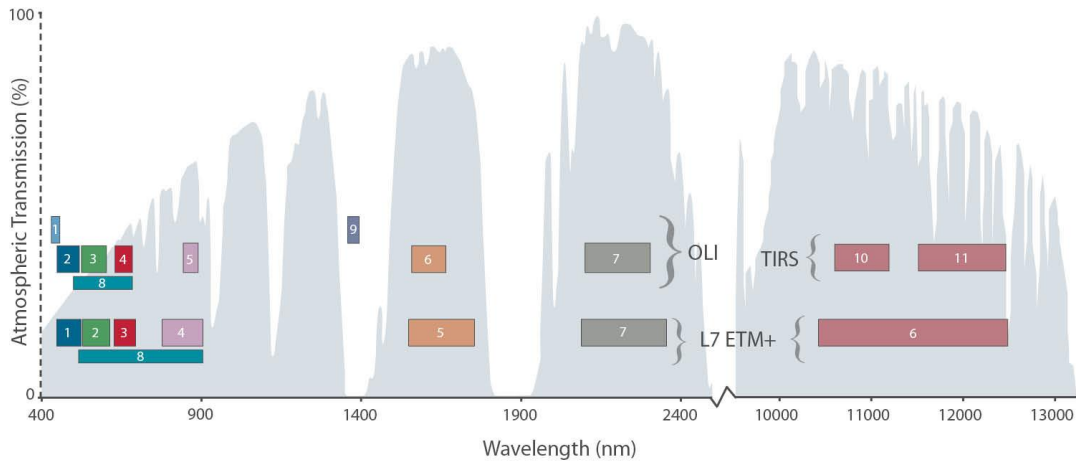


Ilustración 1: “El OLI recopila datos para dos nuevas bandas, una banda costera/de aerosoles (banda 1) y una banda de cirros (banda 9), así como las bandas multispectrales tradicionales de Landsat. Además, el ancho de banda se ha refinado para seis de las bandas tradicionales. El Instrumento Térmico (TIRS) lleva dos bandas infrarrojas térmicas adicionales. Nota: los valores de transmisión atmosférica para este gráfico se calcularon utilizando MODTRAN para una atmósfera brumosa de verano en latitudes medias (visibilidad de aproximadamente 5 km).” Gráfico creado por L.Rocchio y J.Barsi

Landsat-7 ETM+ Bands ( $\mu\text{m}$ )			Landsat-8 OLI and TIRS Bands ( $\mu\text{m}$ )		
			30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514	30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601	30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692	30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898	30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36	100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896	15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
			30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

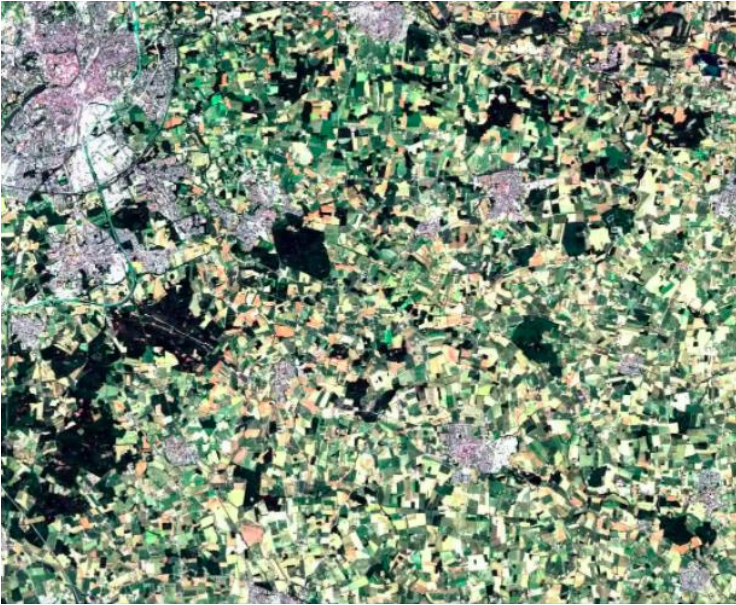
Ilustración 2: Mesa cortesía de B. Markham (julio de 2013).

Landsat 8: Este satélite tiene como finalidad observar la tierra por medio de sensores los cuales captan la luz visible, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta e infrarrojo térmico (de onda larga), con una capacidad resolutive de hasta 15 metros por píxel.

Landsat 8 configura estos sensores en 11 diferentes bandas basadas en la onda de su visión, cada una de ellas distingue diferente tipo de sensor, la combinación de ellas varía dependiendo los resultados. La banda 1 detecta la humedad, el polvo y el humo en el aire, la banda 2,3 y 4 son filtros que colorean las imágenes en diferentes colores (rojo, verde y azul), la banda 5 es la banda térmica que tiene la capacidad de monitorear el agua contenida en las plantas, las bandas 6 y 7 utilizan el infrarrojo de onda corta el cual es fácilmente absorbido por el agua lo que ocasiona una fácil distinción de rocas y suelos, la banda 9 detecta frecuencias por encima de la atmósfera, la cual sirve para la identificación de nubes presentes y por último las bandas 10 y 11 sirven para detectar el calor, la humedad y la evapotranspiración en la superficie.

La manera en la que el satélite toma imágenes satelitales es por medio de un ráster el cual es básicamente una línea a lo largo de la tierra que va tomando conforme este va orbitando. Para este proyecto utilizamos la combinación 3,4 y 5 (aunque esta podría variar) para detectar las plantas y los bosques presentes en el área de estudio.

La combinación de bandas 4,3,2 genera una imagen RGB de luz visible la cual muestra el verdadero color de la zona. Esta combinación se utiliza para estudios de áreas urbanas y agrícolas.



Bandas 4,3,2 granjas agrícolas alrededor de Münster, Alemania. (EOS Data Analytics)

Las bandas 5,4,3 crean una imagen en falso color que muestra el infrarrojo cercano reflejando el agua contenida en las plantas. Esta combinación de bandas se utiliza para monitorear la vegetación y los bosques.

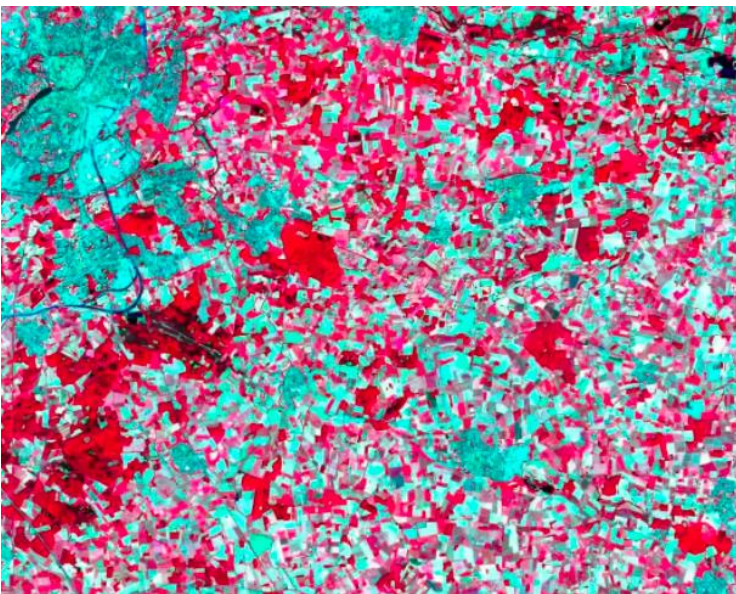


Imagen de las Bandas 5,4,3 de vegetación cerca de Münster, Alemania. (EOS Data Analytics)

Bandas 7,6,4 Imagen en falso color que muestra infrarrojo de onda corta. Se utiliza para controlar rocas, suelos y fuentes de agua.

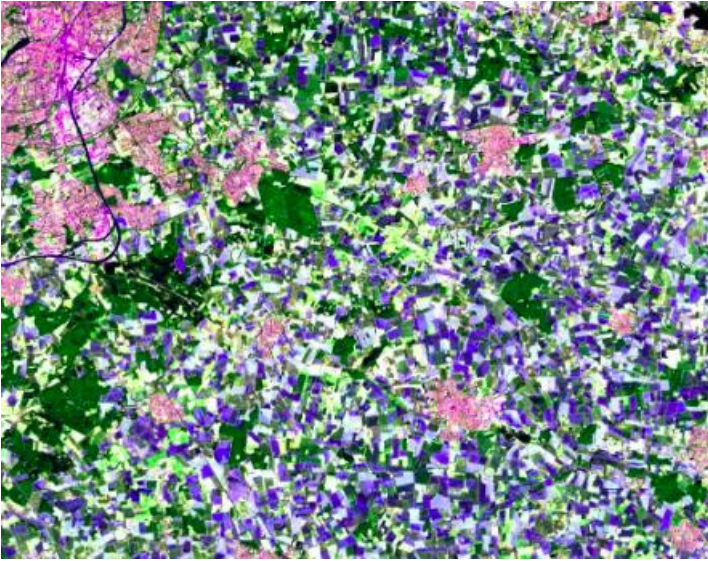


Imagen de las bandas 7,6,4 tomada en Münster, Alemania. (EOS Data Analytics)

La banda 1 crea una imagen en azul profundo la cual ayuda a vigila las costas y a identificar las partículas de polvo o humo en el aire.



Imagen del puerto de Tianjin (EOS Data Analytics)

Banda 8 genera una imagen de mayor resolución (15m por píxel) debido a que genera una imagen pancromática (blanco y negro) de la tierra la cual ayuda a mejorar la nitidez de las otras imágenes.



Imagen de la banda 8 de campos agrícolas de Arabia Saudí (EOS Data Analytics)

Por último, la banda 9 capta un rango muy estrecho de frecuencias debido a que la mayoría de ellas son absorbidas por la atmósfera lo que significa que cualquier cosa que capta cosas por encima de la atmósfera, comúnmente nubes. Esto ayuda a identificarlas y limpiarlas para las demás imágenes.



Imagen de la banda 9 tomada en el desierto al oeste de Fayum, Egipto. (EOS Data Analytics)

La combinación de las bandas 10 y 11 crean una imagen en falso color que muestra el infrarrojo térmico permitiendo reconocer la temperatura de la superficie.



Imagen de la combinación de bandas 10 y 11 tomada a los alrededores de Fukushima, Japón . (EOS Data Analytics)

### *2.1.2. Sistemas de Información Geográfica*

Sistema de información Geográfica (SIG) es un marco geográfico que sirve para organizar, comprender y comunicar lo que pasó, lo que está pasando y lo que pasará en el espacio geográfico. Es la principal herramienta que acompaña a la ciencia de la tierra, la cual nos permite ver, comprender analizar e interpretar datos por medio de mapas, análisis y aplicaciones para una mejor toma de decisiones, identificación de problemas, comprensión de tendencias, monitoreo de cambios y realización de pronósticos.

“QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo General Public License (GNU). QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Corre sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos.” (QGIS, 2022)

QGIS permite realizar análisis espacial utilizando soporte integrado para SAGA, OTB, MMGIS y GRASS, al igual que estudios de mapa de álgebra, análisis del terreno, modelación

hidrológica, análisis de red, definir y ejecutar rutinas de análisis reutilizables por encadenamiento de funciones usando una herramienta gráfica de modelado

### Google Earth Engine

Google Earth Engine es una plataforma de análisis científico y visualización de conjuntos de datos geoespaciales, para fines académicos, sin fines de lucro, empresariales y gubernamentales.

Earth Engine permite visualizar, trabajar y obtener información de mapas en los últimos 40 años almacenados en su base de datos, además que proporciona API, trabajar con las herramientas de Google Cloud, catálogo de datos externos, entre otras herramientas.

Earth Engine tiene un catálogo de datos, que incluye todo el catálogo de Landsat, conjunto de datos MODIS, datos Sentinel- 1, datos NAIP, datos de precipitación, datos de temperatura de la superficie del mar, datos climáticos CHIRPS y datos de elevación. También da opción de cargar datos propios rasterizados y vectoriales (como por ejemplo archivos GeoTiff).

#### *2.1.3. Sistema de clasificación*

Dentro del contexto del modelo de clasificación, se han identificado 14 clases prioritarias para comprender la dinámica del agroextractivismo en el área de estudio que como ya se ha mencionado son 16 municipios que integran la región Sur de Jalisco. Este análisis sistemático posibilitará una evaluación más precisa de la interacción entre los usos del suelo y los ecosistemas en la región de interés, y son las siguientes:

1. Bosque templado
2. Selva baja caducifolia
3. Matorral
4. Suelo desnudo

5. Cuerpo de agua
6. Vegetación hidrófila
7. Agricultura de riego anual
8. Agricultura de riego anual semipermanente
9. Agricultura de temporal anual
10. Agricultura de temporal anual semipermanente
11. Invernadero
12. Urbano
13. Pastizal
14. Nube

#### 2.1.3.1. Bosque templado

En nuestra área de estudio, encontramos tres tipos de bosques: el bosque mesófilo de montaña, ubicado en el volcán de Colima y en la Sierra de Manantlán. También, los bosques de pino y encino en Ciudad Guzmán y Tapalpa. El tercer tipo son los bosques de encino que forman ecotonos entre bosques templados y selvas bajas, lo cual puede causar confusión en las imágenes analizadas.

En el proceso de clasificación, según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2018), las características que definen a los bosques templados ubicados en el sur del estado de Jalisco, que es el área analizada, forman parte de los ecosistemas en México, abarcando el 16% del territorio y distribuyéndose principalmente en el norte y sur de Baja California, las Sierras Madre Occidental y Oriental, el Eje Neovolcánico, la Sierra Norte de Oaxaca, y el sur de Chiapas, a altitudes de 2,000 a 3,400 m. Conocidos como bosques de coníferas, albergan una gran diversidad biológica que incluye 7,000 especies de plantas, destacando el 50% de la diversidad mundial de pinos y el 33% de encinos existentes.

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio, s. f.), registra que, en estos bosques sus climas varían de subhúmedo a templado húmedo y con árboles altos como pinos y encinos. Su fauna incluye venados, pumas, ardillas y aves rapaces. Este

ecosistema cumple funciones naturales como retener agua, recargar acuíferos, reducir erosión y capturar CO<sub>2</sub>. Sin embargo, enfrentan amenazas como la tala, desarrollo agrícola, caza, tráfico ilegal de fauna e incendios forestales, exigiendo acciones coordinadas y atención continua para su conservación. Un ejemplo de este ecosistema en el sur de Jalisco, en el área analizada, es el Nevado de Colima, ubicado específicamente en la frontera entre los estados de Jalisco y Colima. Este ecosistema enfrenta amenazas significativas, especialmente la expansión de la siembra de aguacate y la tala ilegal, que ponen en peligro al oyamel *Abies colimensis* y su entorno. *“Este árbol endémico, incluido en la Norma Oficial Mexicana 059 como En Peligro de Extinción, tiene una distribución limitada alrededor del Nevado de Colima”, (Del Castillo, 2020).*

#### 2.1.3.2. Selva baja caducifolia

Se identificaron dos tipos de selva en la región: la selva mediana subcaducifolia, ubicada en el municipio de Tuxpan, y la selva baja caducifolia, predominante en todo el país, especialmente en las laderas de las montañas, como en Sayula.

Las selvas en México, abarcando el 11.7% del territorio nacional, son extensos ecosistemas tropicales según la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (2020). Caracterizadas por árboles bajos y estacionalidad marcada, pierden follaje en la sequía y reverdecen en la lluvia, albergan flora diversa, como Leguminosae, Euphorbiaceae y Cactaceae. Adaptadas a la escasez de agua con espinas y pérdida de hojas, enfrentan amenazas por cambio de uso de suelo, deforestación y fragmentación. Y de acuerdo con el artículo "El clima de la selva baja caducifolia en México" (s. f.) y "Zonas relevantes en Jalisco" (s. f.), en la parte sur del estado de Jalisco, que es la región analizada y clasificada, alberga este tipo de selva, caracterizada por su flora adaptada a estaciones secas y húmedas, con presencia de árboles como mezquite y guamúchil, además de cactus y suculentas.

La fauna diversa incluye aves como loros y tucanes, mamíferos como venados y pumas, mientras que reptiles, anfibios e insectos contribuyen a la riqueza biológica. Estas selvas

ofrecen servicios ambientales como almacenamiento de carbono, hábitat para la biodiversidad, regulación del ciclo del agua, prevención de la erosión y producción de oxígeno.

#### 2.1.3.3. Matorral

La clase identificada como matorral para el análisis del suelo representa una vegetación en condiciones secundarias negativas o deterioradas de bosque templado y selva. Estas condiciones se derivan de la erosión del suelo, la sobreexplotación y la tala de árboles, lo que contribuye a la degradación del ecosistema original. La presión humana y las actividades no sostenibles, incluido el agroextractivismo, han llevado a la proliferación de matorrales en áreas que solían ser bosques más densos, afectando la biodiversidad y la salud general del suelo.

#### 2.1.3.4. Suelo desnudo

El suelo desnudo se clasifica en este análisis como áreas carentes de vegetación, resultado de la erosión, prácticas agrícolas inapropiadas y deforestación. La presencia de suelo desnudo se relaciona con actividades humanas como la agricultura intensiva o la urbanización, destacando la necesidad de gestionar el suelo de manera sostenible para preservar la salud de los ecosistemas locales.

Por ejemplo, en la región de estudio, esta categoría es relevante, ya que se extiende por una amplia superficie ubicada en las lagunas de Zacoalco y Sayula, cuerpos de agua semipermanentes que, al secarse, dejan expuestas extensiones considerables de suelo, quedando descubierto una parte importante del año. *“La cuenca Laguna de Sayula B se encuentra dentro de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico y forma parte de las subprovincias fisiográficas Chapala en su mayor extensión, y Sierras de Jalisco en la porción este”, (Cuenca hidrológica Laguna de Sayula B Humedales, informe técnico, 2019).*

#### 2.1.3.5. Cuerpo de agua

En el área de estudio, se encuentran cuerpos de agua significativos, tales como la laguna de Atotonilco, la laguna de Zacoalco, la laguna de Sayula, la laguna de San Marcos, la laguna de Zapotlán, y presas como Vista Hermosa y la presa Salto del Nogal, ubicada en el municipio de Tapalpa. *“Los cuerpos de agua pueden adoptar diversas formas en la superficie terrestre (ríos, lagos) o subsuelo (acuíferos), siendo naturales o artificiales y contienen agua salada o dulce”, (Cuerpos de agua – agua.org.mx, 2023).*

De acuerdo con el registro de *“Cuerpos de agua” (2023)*, estos desempeñan un papel fundamental al proporcionar ciclos hidrológicos, crear diversos hábitats para la vida acuática y terrestre, y ser esenciales para actividades humanas como la agricultura, la pesca y el suministro de agua potable. La gestión sostenible de estos cuerpos acuáticos es importante para preservar sus ecosistemas y garantizar su utilidad a largo plazo. Específicamente en humedales, los cuerpos de agua adquieren vital importancia, ya que su distribución y variaciones temporales afectan la presencia y distribución de la flora y fauna, proporcionando servicios como la provisión de agua dulce, la creación de hábitats para especies comestibles y la regulación del microclima.

#### 2.1.3.6. Vegetación hidrófila

En el área de estudio, se identificaron cuerpos de agua, como la laguna de Zapotlán y la presa del Nogal ubicada en Ciudad Guzmán, que forman parte de lo que se muestra en la imagen clasificada.

En el estudio de la región sur de Jalisco, la vegetación mencionada, junto con los cuerpos de agua previamente señalados, alberga ciertos tipos de vegetación hidrófila. Además de su importancia ambiental, esta vegetación tiende a ser confundida en la clasificación de imágenes, ya sea con bosques templados o con áreas destinadas a la agricultura de riego. Por esta razón, se ha incorporado en la propuesta de clasificación.

Según el Instituto Nacional de Ecología en su artículo de *Vegetación hidrófila (2012)*, se compone por comunidades de plantas estrechamente relacionadas con el medio acuático o a suelos permanentemente saturados de agua y se desarrolla en ambientes acuáticos o húmedos, como lagos, estanques, pantanos, ríos y deltas. Incluye plantas enraizadas en el fondo con hojas que sobresalen del agua, abarcando tipos como manglares, popales, tulares, carrizales, vegetación flotante, sumergida y subacuática. En México, estas plantas adaptadas a entornos acuáticos desempeñan un papel importante en la salud de los ecosistemas acuáticos, ofreciendo resistencia a la inundación, contribuyendo a la dispersión de semillas y filtrando nutrientes del agua.

#### 2.1.3.7. Agricultura de riego anual

En el área de estudio, esta categoría es relevante debido a que abarca superficies con riego anual, compuestas principalmente por caña de azúcar y recursos forrajeros como la alfalfa. Además, parte de esta superficie ha evolucionado hacia el desarrollo de la agricultura de riego anual semipermanente. Según datos recabados por El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en *La Guía para la interpretación de cartografía (2015)*, se considera agricultura de riego anual es un sistema de cultivo que implica la aplicación regular y planificada de agua a lo largo del año, especialmente durante la temporada de crecimiento de los cultivos.

Este enfoque se implementa en áreas con escasa precipitación natural, donde se busca optimizar el rendimiento y la calidad de los cultivos mediante la entrega precisa de agua en momentos clave del ciclo de crecimiento. Métodos como sistemas de goteo, aspersión o canales se emplean para suministrar agua directamente a los cultivos, permitiendo un control preciso por parte de los agricultores. En México, la agricultura de riego anual se implementa en regiones con lluvias estacionales o insuficientes para mantener los cultivos durante todo el año, como los Distritos de Temporal Tecnificado (DTT) en las planicies del trópico húmedo y subhúmedo.

#### 2.1.3.8. Agricultura de riego anual semipermanente

La agricultura de riego anual semipermanente en la región de estudio abarca cultivos que demandan riego regular durante todo el año y tienen una duración de varios años. Esta clasificación se centra en las huertas de aguacate con sistema de riego.

Según la Comisión del Agua en *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Temporal Tecnificado (2021)*, y en *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego (2023)*, en el ámbito agrícola se distinguen diversos agrosistemas y tipos de cultivo adaptados a condiciones específicas. La agricultura de temporal depende de la lluvia, siguiendo patrones estacionales, mientras que la agricultura de riego implica la aplicación planificada de agua en áreas con precipitación insuficiente. El pastizal cultivado se destina al pastoreo, y el bosque cultivado se gestiona para obtener madera de manera sostenible. Los tipos de cultivo incluyen aquellos anuales, con ciclo de vida de un año; permanentes, como frutales y árboles; y semipermanentes, que tienen una vida útil intermedia.

#### 2.1.3.9. Agricultura de temporal anual

En México según datos recabados por El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en *La Guía para la interpretación de cartografía (2015)* y *La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2016)*, en la región sur de Jalisco la agricultura de temporal anual es un sistema de cultivo que se basa principalmente en las precipitaciones naturales para el riego de los cultivos. Los agricultores dependen de los patrones estacionales de lluvia, planificando la siembra y la cosecha de acuerdo con las condiciones climáticas. Este enfoque implica cultivar principalmente cultivos anuales con ciclos de vida cortos, como maíz o arroz, y su éxito está directamente vinculado a la cantidad y distribución de las lluvias estacionales. Aunque este método puede ser efectivo en áreas con limitado acceso al agua para riego, también enfrenta desafíos, como la variabilidad climática y la dependencia de condiciones meteorológicas impredecibles.

En la agricultura las siembras y cosechas están directamente vinculadas con las estaciones del año y los periodos vegetativos de los cultivos. Esta relación permite clasificar los cultivos en cuatro tipos: perennes, con ciclos largos que se extienden más allá de un año, como naranjas y aguacates; anuales o cíclicos, con periodos vegetativos menores a 12 meses, como maíz y trigo; bienales, con ciclos productivos de dos años, como papayas y fresas; y temporales, cuya producción depende de las lluvias y la capacidad del suelo para retener agua, como el maíz de temporal. En México, la mayor parte de la superficie agrícola se destina a cultivos cíclicos, mientras que los perennes contribuyen significativamente al volumen total de producción debido a su peso más elevado en comparación con la mayoría de los cultivos cíclicos.

#### 2.1.3.10. Agricultura de temporal anual semipermanente

Específicamente en la región de estudio, esta categoría engloba principalmente el cultivo de agave azul (Tequila weber), que ha estado presente en la zona durante varias décadas y se desarrolla en tierras de temporal. La agricultura de temporal anual semipermanente representa un sistema agrícola que fusiona características de la agricultura de temporal y la semipermanente, estos datos forman parte del *El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en La Guía para la interpretación de cartografía (2015)*, también en este método, se basa principalmente en las lluvias estacionales para el riego de cultivos, similar a la agricultura de temporal.

También según el *Programa de ordenamiento ecológico regional de la junta intermunicipal de la cuenca del río Coahuayana y dos municipios de la región sureste del Estado de Jalisco (2015)*, se explica que, a diferencia de los cultivos temporales anuales convencionales, los cultivos en este sistema pueden tener ciclos vegetativos que se extienden más allá de un año, aunque no llegan a ser tan permanentes como los cultivos perennes. La elección estratégica de cultivos y la rotación son esenciales para optimizar la productividad, adaptándose a los patrones climáticos y maximizando el uso de recursos. Las prácticas

agrícolas pueden variar según las regiones específicas de México, dada su diversidad climática y geográfica.

#### 2.1.3.11. Invernadero

En la región de estudio, el uso de invernaderos y otras formas de protección de cultivos ha experimentado un desarrollo exitoso, razón por la cual se considera una de las principales categorías utilizadas en este proceso de clasificación supervisada. Un invernadero es una estructura cerrada y transparente diseñada para crear un ambiente controlado que favorezca el crecimiento de plantas, permitiendo el cultivo fuera de su estación de crecimiento natural durante todo el año.

Está compuesto por un marco resistente cubierto con materiales transparentes que retienen el calor y regulan la temperatura, humedad, luz y ventilación. En México, los invernaderos desempeñan un papel fundamental en la agricultura al extender las temporadas de cultivo, ofrecer protección contra condiciones climáticas adversas y proporcionar un entorno controlado. Contribuyen a la diversificación de cultivos, la seguridad alimentaria y la eficiencia en el uso de recursos, utilizando sistemas de riego específicos, como el riego por goteo o aspersión, según se explica en *Saura (2023)* y en *¿Cómo funciona un sistema de riego para invernaderos? (2023)*.

#### 2.1.3.11. Urbano

En el área de estudio, esta categoría incluye las coberturas de ciudades como Sayula, Ciudad Guzmán, Tuxpan, Zapotiltic, Tecalitlán, pero también abarca la infraestructura de comunicaciones, como las carreteras federales y estatales, así como la urbanización de poblados más pequeños. De manera relevante, también engloba la infraestructura rural asociada a la producción agrícola.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en *Características del entorno urbano y localidad (2023)*, Se refiere a todo aquello vinculado a los entornos

urbanos o ciudades. Este término abarca las características y elementos propios de áreas densamente pobladas, incluyendo aspectos como la infraestructura urbana, el desarrollo económico, la diversidad cultural, la planificación y diseño de ciudades, así como la vida cotidiana en entornos metropolitanos. También se explica en *Lo rural y lo urbano en México: una nueva caracterización a partir de estadísticas nacionales* (Caribe, 2022), que esto engloba desde las construcciones y el transporte público hasta los servicios y fenómenos sociales característicos de la vida citadina. En contraste con lo rural, lo urbano se asocia con la dinámica y la complejidad propias de los centros urbanos.

#### 2.1.3.11. Pastizal

En el área de estudio, esta categoría o cobertura del suelo es relevante, ya que, por ejemplo, una parte significativa de las lagunas de Sayula y de San Marcos, así como grandes extensiones de lo que se conoce como el Llano en Llamas en el municipio de San Gabriel, estaban cubiertas por pastizales. Aunque aún se conservan amplias áreas de pastizales, estas se han visto afectadas por un cambio hacia el cultivo, principalmente de agave.

Según lo explica Vegetación. Cuéntame de México (s. f.) y Conabio Biodiversidad Mexicana (2022), los pastizales en México, también conocidos como estepas, pampas, sabanas o praderas, ocupan el 6.1% del territorio nacional y se distribuyen principalmente en áreas semiáridas y de clima templado frío, especialmente en el norte del país, como en Chihuahua, Coahuila, Sonora, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Jalisco. Estos ecosistemas, caracterizados por pastos dominantes y escasa presencia de árboles y arbustos, desempeñan funciones cruciales como la captura de carbono, la conservación del agua, la provisión de hábitats para la biodiversidad y la estabilización del suelo.

Los pastizales mexicanos son vitalmente importantes para la cría de ganado bovino y equino, siendo fuentes esenciales de alimentos, fibras y combustibles. Además, contribuyen significativamente a la regulación del clima, la polinización, la purificación y recarga de acuíferos, el control de especies invasoras y la captura de carbono. A pesar de su

importancia, enfrentan amenazas considerables, como la sobreexplotación y cambios en el uso del suelo, que pueden dar lugar a la erosión y desnutrición del ganado.

#### 2.1.3.11. Nube

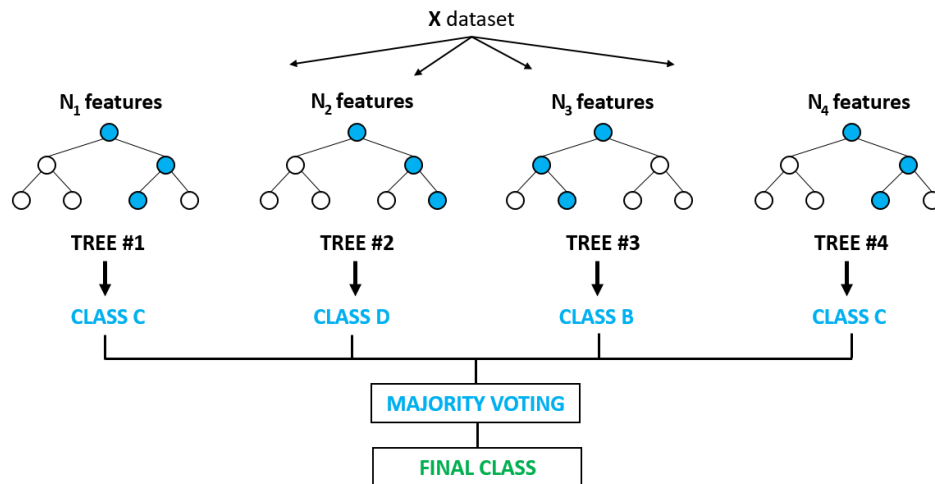
En el proceso de clasificación supervisada de imágenes, la presencia de nubes puede generar interferencias y confusiones, impidiendo la realización de clasificaciones confiables de las coberturas del suelo. Para abordar este problema, se incluyen las nubes desde el inicio en el proceso de clasificación. Además, se priorizan las imágenes que presentan una mínima superficie cubierta por nubes, con el propósito de mejorar la calidad y precisión de las clasificaciones.

#### 2.1.4. Algoritmos

##### 2.1.4.1. Clasificación

-> Random Forest

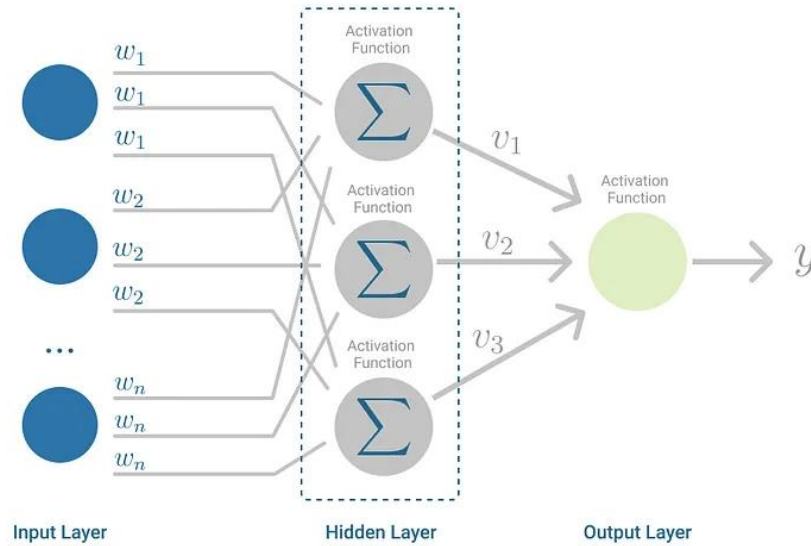
El bosque aleatorio, como su nombre indica, es un algoritmo de aprendizaje supervisado basado en árboles. Este método es flexible y fácil de utilizar, siendo capaz de resolver tanto problemas de clasificación como de regresión. La característica distintiva del bosque aleatorio es su enfoque en la combinación de cientos de árboles de decisión, cada uno entrenado en una muestra diferente de observaciones mediante el muestreo bootstrap, que es una estrategia específica de remuestreo. Las predicciones finales se obtienen promediando las predicciones de cada árbol individual. Esta técnica mejora la robustez y generalización del modelo al evitar el sobreajuste.



#### 2.1.4.2. Predicción

-> Multi-layer perceptron (Artificial Neural Network)

El perceptrón multicapa es un modelo predictivo de *Machine Learning* que entrega un resultado en función de unos parámetros. Este resultado es la clasificación de un objeto en función de las variables propias del objeto. Se entrena el perceptrón multicapa para identificar los valores óptimos para los parámetros libres que permitan clasificar lo mejor posible. El perceptrón multicapa tiene capas de entrada y de salida, y una o más capas ocultas con muchas neuronas cada una. Las entradas se combinan con los pesos iniciales en una suma ponderada y se someten a la función de activación, cada combinación lineal se propaga a la siguiente capa. Cada conexión entre neuronas tiene un peso, que se ajusta durante el entrenamiento para que la red aprenda a reconocer patrones.



## 2.1.5. Indicadores

### 2.1.5.1. Calidad

#### Índice de Kappa

Kappa es una medida que compara la concordancia observada en un conjunto de datos con la que se podría dar al azar.

Una forma simple de medir la concordancia es calculando la proporción de coincidencias respecto al total de sujetos.

Si designamos a  $C_o$  como la proporción de concordancia observada, y a  $C_a$  como la proporción de concordancia esperada por azar,  $K$  se calculará como:

$$K = (C_o - C_a) / (1 - C_a)$$

Si  $K$  es cero, esto significa que la concordancia observada es igual a la que sucedería por azar. Valores positivos de  $K$  indican una mayor concordancia de la esperada por azar. Si  $K$  es igual a 1, hay una concordancia perfecta. Sin embargo, si  $K$  es negativo, esto indica discordancia. En una tabla de  $2 \times 2$ , este valor podría llegar hasta -1, lo cual indicaría una discordancia total entre las dos clasificaciones o evaluaciones.

## Matriz de Confusión

La matriz de confusión es una técnica que ayuda a medir el rendimiento de la clasificación del aprendizaje automático (*machine learning*). Con este modelo se puede distinguir y clasificar el modelo con los valores verdaderos conocidos en el conjunto de datos de prueba. La lógica de la técnica se puede entender en cuatro fases de pasos:

- **Paso 1:** Estimar los valores de los resultados del conjunto de datos.
- **Paso 2:** Probar el conjunto de datos con la ayuda de los resultados esperados.
- **Paso 3:** Predecir las filas del conjunto de datos de prueba.
- **Paso 4:** Calcular los resultados esperados y las predicciones.

### 2.1.5.2. Cambio

#### Matrices de cambio

Las matrices de cambio son una herramienta que sirve para representar los comportamientos de las variables de los sistemas y cómo es que estos se afectan entre sí. Esto permite predecir los cambios en los sistemas de acuerdo con las interacciones entre las variables. La matriz de cambio es una matriz cuadrada que se utiliza para transformar vectores en un espacio vectorial, es decir, representa una transformación lineal en un conjunto de coordenadas.

#### Matrices de transición

La matriz de transformación se utiliza para transformar coordenadas o vectores de un sistema a otro. Estas transformaciones pueden incluir rotaciones, traslaciones y escalas.

### 2.1.7. Herramientas para el análisis

#### MOLUSCE

MOLUSE (Methods Of Land Use Change Evaluation) como su nombre lo indica, es un software que realiza Métodos de Evaluación del cambio. Este es un complemento de QGIS

el cual ofrece múltiples técnicas de evaluación, análisis y simulación de cambios de usos de la tierra.

## GEPHI

Este es un software utilizado para visualización de bases de datos mediante gráficos. Gephi es de código abierto y gratuito, utilizado para realizar análisis exploratorio de datos un paradigma surgido en el campo de investigación de la Analítica Visual.

## 2.2. Planeación y seguimiento del proyecto

La propuesta de solución alineado al objetivo de este proyecto profesional consiste en recurrir a la teledetección para recuperar la información pertinente del cambio de uso del suelo en el sur de Jalisco. Así mismo, dichos cambios se analizan a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), QGIS y Google Earth Engine. El proceso para desarrollar el resultado esperado consiste en: la descarga de las imágenes satelitales, acotación al área de estudio, entrenamiento del modelo de clasificación supervisado, el trabajo en campo para la corroboración de los puntos de entrenamiento, obtención del conjunto de ráster clasificados, verificación de calidad de clasificaciones, análisis y cálculo de cambios entre el conjunto de ráster, predicción del uso del suelo y por último la evaluación de estos resultados.

- Plan de trabajo

	Inicio de proyecto de investigación.	Punto de acuerdo para la aplicación del método científico y análisis geoespacial.	Primeros modelos de estudio del Sur de Jalisco con implementación de herramientas.	Cálculo de la Superficie ocupada por la agricultura protegida y a cielo abierto (Agave, berries, aguacate en 16 municipios de Jalisco).	Visita de campo al Sur de Jalisco. Específicamente a predios de berries y aguacate.	Elaboración de reporte	Presentación de resultados PAP.
Semana 1							
Semana 2							
Semana 3							
Semana 4							
Semana 5							
Semana 6							
Semana 7							
Semana 8							
Semana 9							
Semana 10							
Semana 11							
Semana 12							
Semana 13							
Semana 14							
Semana 15							
Semana 16							

Tabla 1. Agenda de trabajo para PAP 4J10 laboratorio de análisis de datos, otoño 2023.

### 2.2.1. Descarga de imágenes satelitales

El primer paso para el desarrollo del proyecto consiste en la descarga de las imágenes satelitales pertinentes para el estudio, provenientes del satélite Landsat 7 u 8. Estos satélites fueron seleccionados considerando que tiene registro de las imágenes necesarias en los años 2002, 2014 y 2022, para el sur de Jalisco. El repositorio con los ráster se encuentra en la plataforma Earth Explorer USGS (con liga <https://earthexplorer.usgs.gov/>).

El área de estudio de este proyecto consiste en los 16 municipios del sur de Jalisco, listados anteriormente en el área de estudio. Para la búsqueda del área de interés, se acota dentro de *Search Criteria* (criterio de búsqueda) un polígono abarcando varios de los municipios que se analizarán en este proyecto: principalmente en las áreas circundantes a Ciudad Guzmán.

La selección de las fechas de toma de las imágenes será aquellas de los años 2002, 2014 y 2022. El mes del ráster seleccionado dependió de aquella con menor cantidad de nubes, puesto que afecta la precisión en los análisis. En la sección de *Data Sets*, se debe especificar la fuente de información o satélites de los cuáles obtener las imágenes. Al desplegar la sección de Landsat, se visualizan varias opciones dependiendo del nivel de corrección deseado. Por simplicidad, se seleccionaron dentro de *Landsat Collection 2 Level-2*, tanto Landsat 7 y 8. Teniendo estos criterios de búsqueda dar click a *Results* para visualizar el listado de resultados.

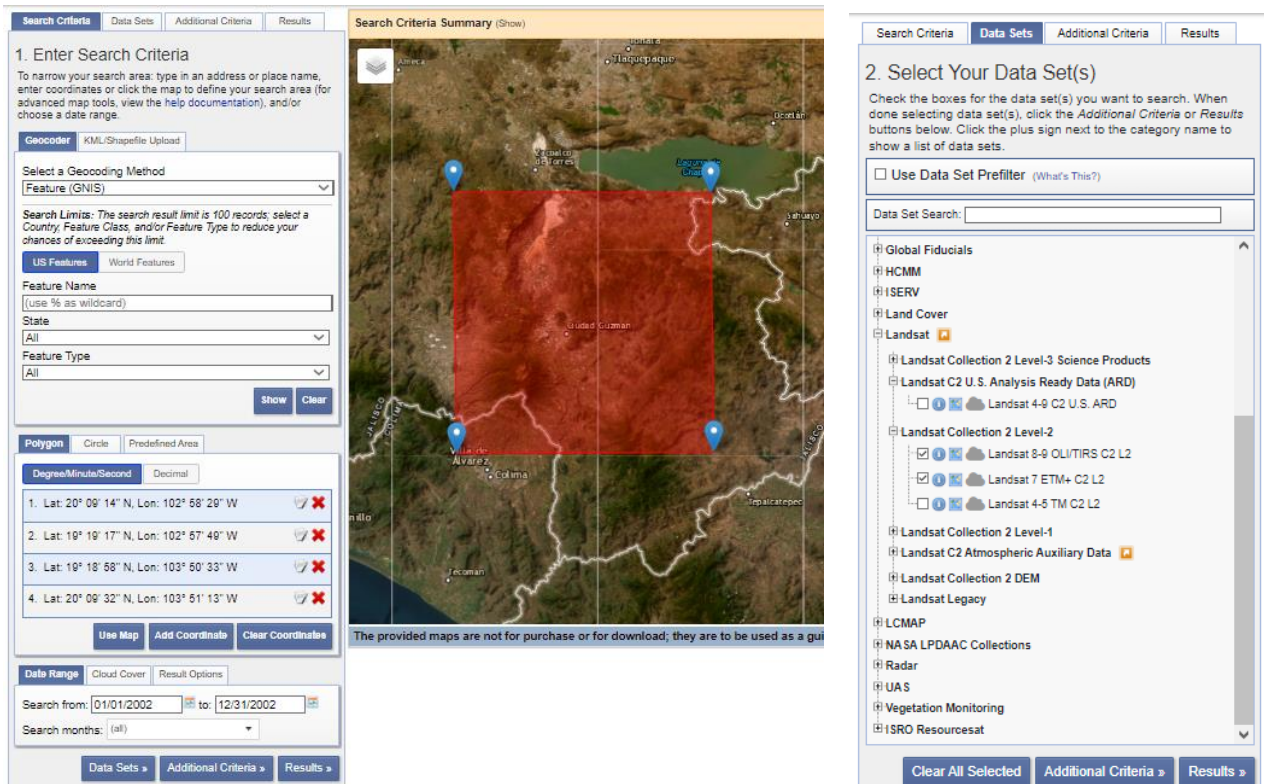


Figura 2 y 3. Selección de criterios de búsqueda para la descarga de las imágenes satelitales

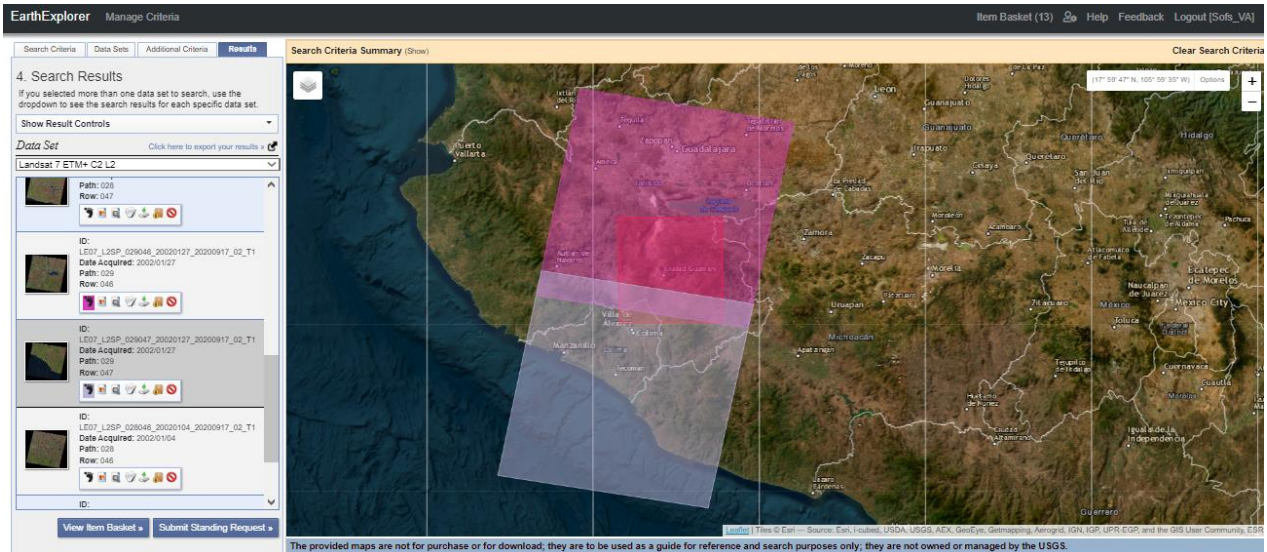


Figura 4. Ejemplo de resultados de la búsqueda para imágenes satelitales Landsat

Los resultados listan imágenes encontradas con estos criterios de búsqueda, de las cuales se seleccionaron dos para cada año, pues el área de cobertura (16 municipios) necesita de la unión de dos imágenes. La descarga de cada imagen se realizó al dar click al ícono con flecha verde *Download Options*. Un modal se abrió con las opciones de descarga, desde

donde se dará click a la opción *Product Options* que despliega otro modal de descarga directa. La opción elegida es *Product Bundle*, un zip que al ser descomprimido incluye los ráster de interés, así como sus metadatos.

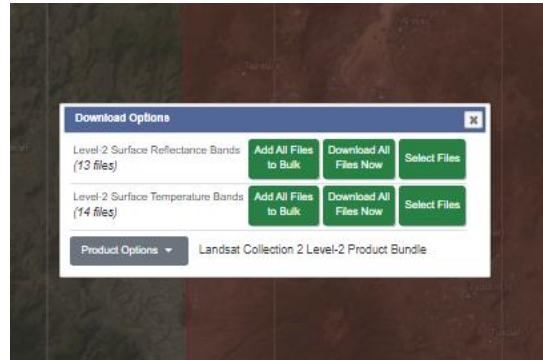


Figura 5. Modal de opciones de descarga de una imagen satélite

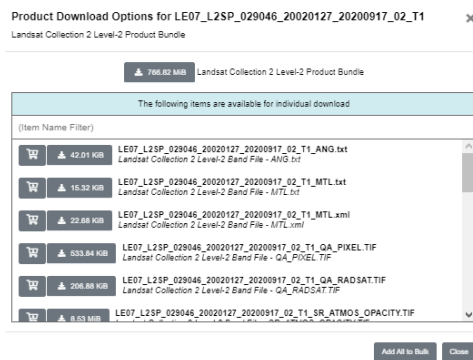


Figura 6. Modal de descarga de imagen satélite

Las imágenes seleccionadas para el estudio son las siguientes:

- 2002: Landsat 7 (27 de enero del 2002)
  - LE07\_L2SP\_029046\_20020127\_20200917\_02\_T1
  - LE07\_L2SP\_029047\_20020127\_20200917\_02\_T1
- 2014: Landsat 8 (20 de enero y 5 de febrero del 2014)
  - LC08\_L2SP\_029046\_20140120\_20200912\_02\_T1
  - LC08\_L2SP\_029047\_20140205\_20200912\_02\_T1
- 2022: Landsat 8 (18 de mayo del 2022)
  - LC08\_L2SP\_029046\_20220518\_20220525\_02\_T1
  - LC08\_L2SP\_029046\_20220518\_20220525\_02\_T1

## 2.2.2. Acotación al área de estudio

El siguiente paso consistió en la delimitación de las imágenes al área de estudio, a través de QGIS (versión 3.28.11). El área de estudio de los 16 municipios está dada por un *shapefile* del 2019 proveniente del Marco Geoestadístico de la INEGI; este se importó a través de la opción de *Layer, Add Layer* y *Add Vector Layer*.

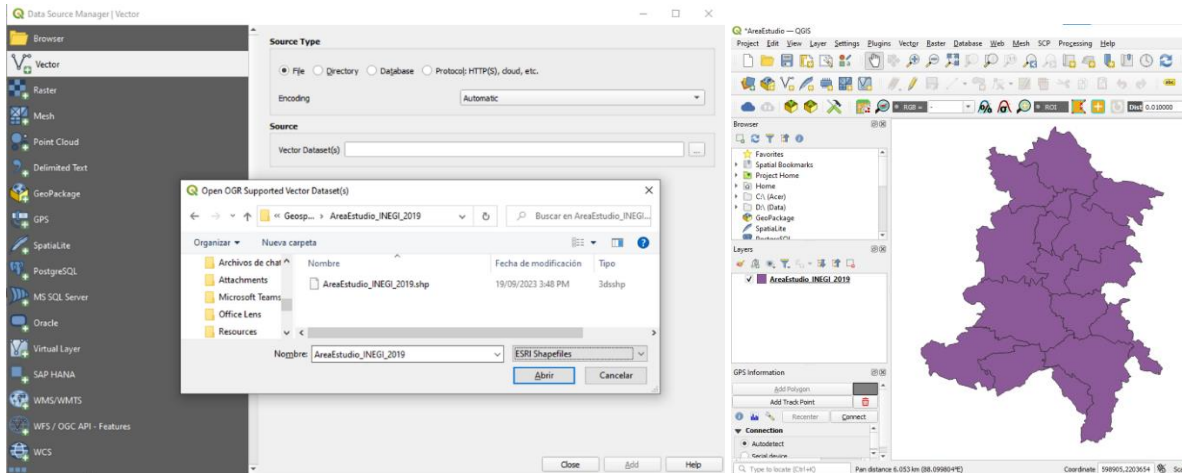


Figura 7 y X. Importación de archivo vectorial (*shapefile* de área de estudio) a QGIS

Por cada año se tienen 2 ráster que en conjunto cubren el área de estudio, por cada par de rásters se realizó su mosaico (concatenación) y recortaron al área de estudio; el plugin para realizar esto, *Semi-Automatic Classification (SCP)* versión 8.1.5, se instaló por la herramienta de *Plugins, Manage and Install Plugins*.

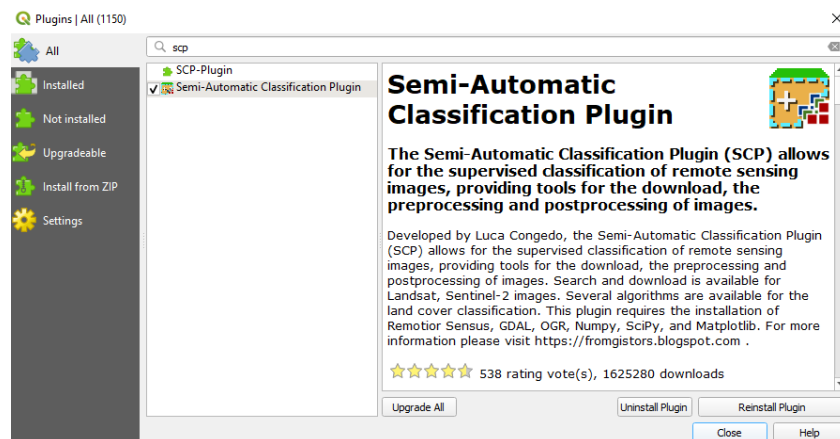


Figura x. Búsqueda e instalación de plugin SCP.

Se ingresó al *plugin* recién instalado al hacer click sobre el ícono de la herramienta, que en la pestaña *Band set*. Aquí se crearon 2 bandsets, cada una correspondiendo a los 2 rásters por año, a través del ícono *Add a new bandset* que se encuentra en el menú debajo de *Band Set Table*. Haciendo click al ícono de carpeta y rectángulo verde *Open a file*, se añadieron para el primer set de bandas aquellas de bandas de la primera imagen del año, mientras que, en el segundo set, las bandas de la segunda imagen del mismo año. Las bandas que se seleccionaron según el satélite de origen son:

- Landsat 7: 1,2,3,4,5,7
- Landsat 8: 2,3,4,5,6,7

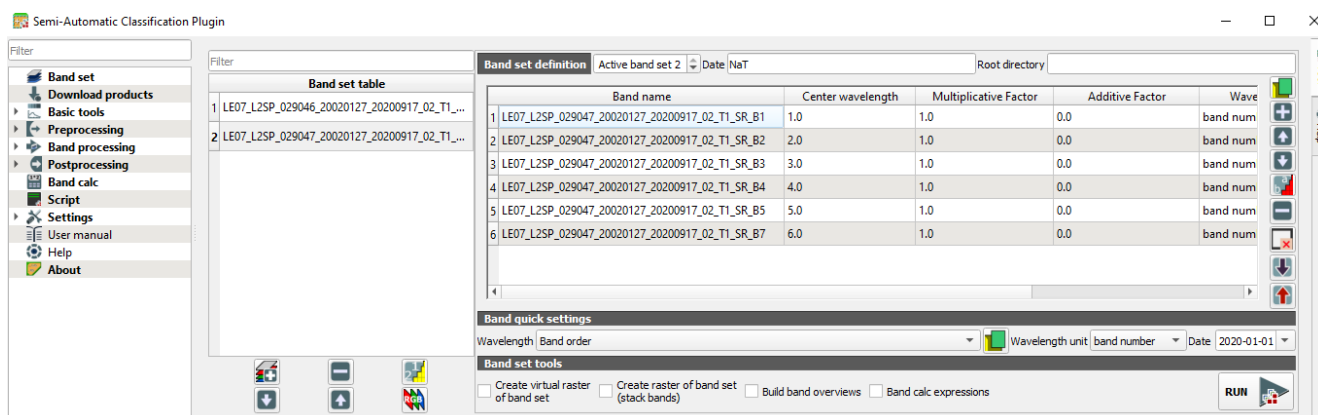


Figura X. Ejemplo de creación de bandsets para el año 2002

Después, fue necesario unir los 2 rásters por medio de la opción *Mosaic Band Sets*, que se encuentra en la sección de *Preprocessing* en la misma herramienta *SCP*. Aquí se aseguró de tener en la lista de bandas las correspondientes a los rásters que se desean concatenar. Dando click a *Run*, se seleccionó la carpeta de destino para las bandas concatenadas.

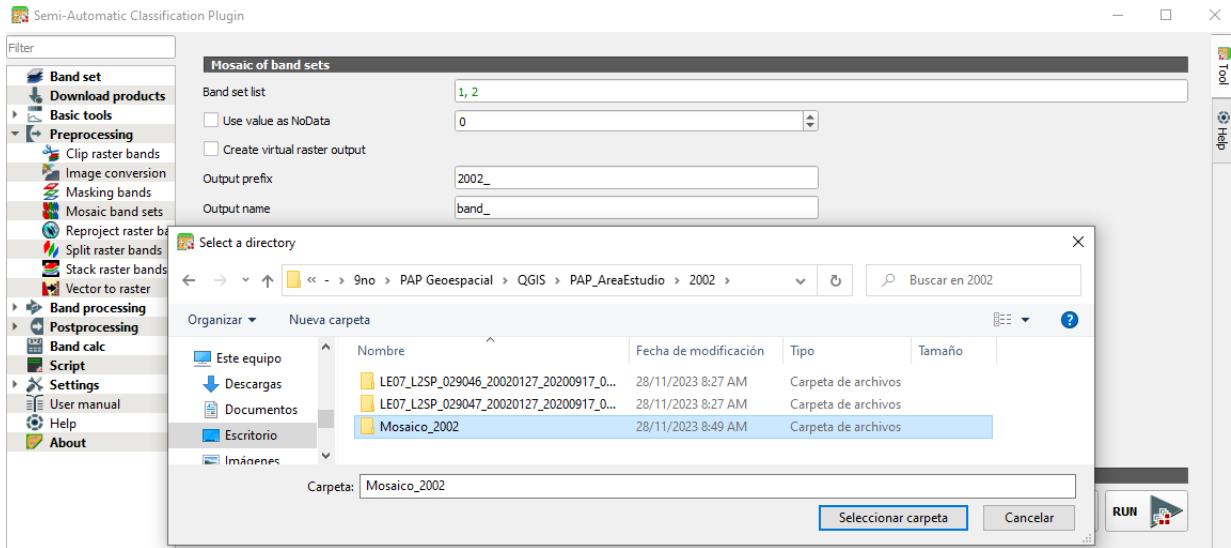


Figura X. Ejemplo de concatenación de los dos rásters para el año del 2002

Automáticamente los resultados se añadieron a las capas del proyecto. En seguida se eliminaron los sets de bandas y se añadieron a un nuevo set, las bandas resultantes.

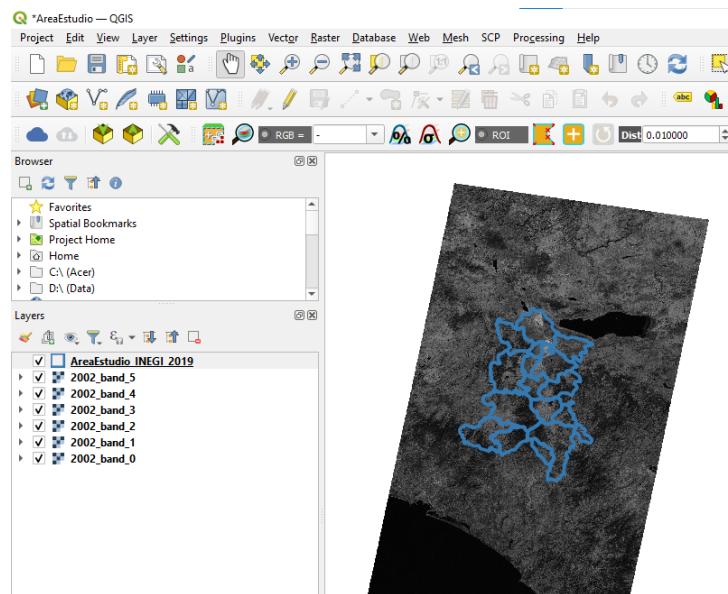


Figura X. Resultado de concatenación de bandas de rásters del 2002

El siguiente paso fue la creación del buffer de área de estudio y el recorte del ráster a este buffer. Se dio click a *Vector*, *Geoprocessing Tools* y *Buffer* para crear el buffer. Los parámetros son aquellos de la Figura x: 5000 metros de distancia, 1 sólo segmento, junto

con la opción de disolución de resultado y el guardado de archivo a través de *Buffered, Save as*. Se dio click a *Run* para obtener el resultado.

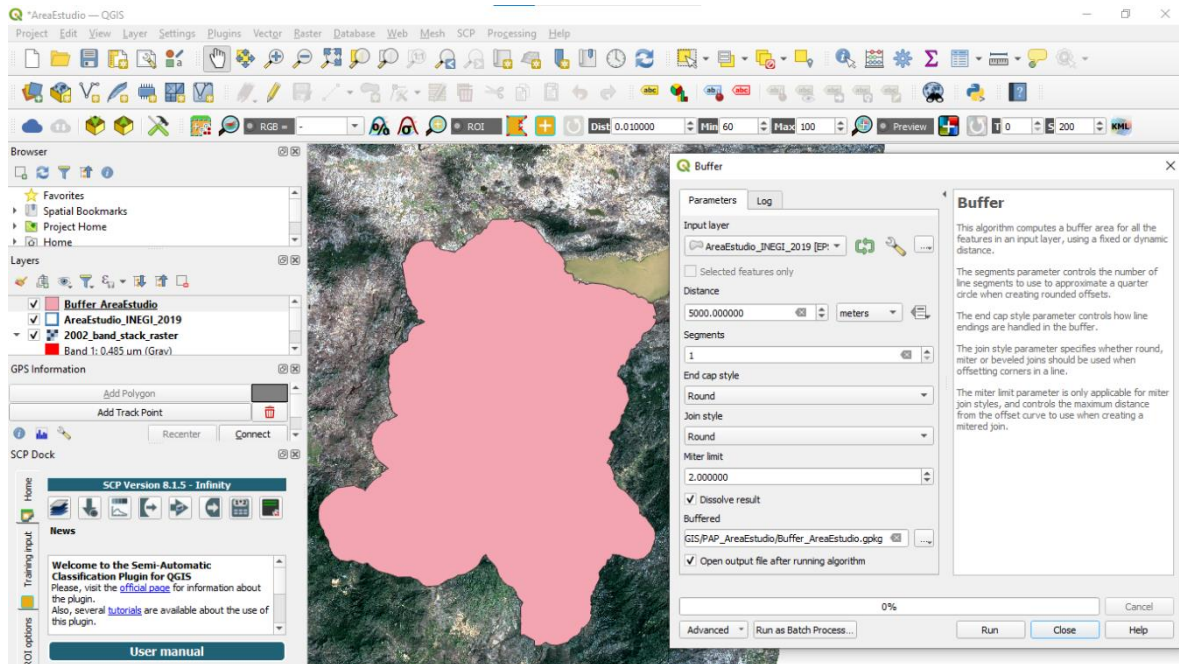


Figura x. Creación de buffer del área de estudio y el buffer resultante

El recorte del ráster según el buffer se hizo con la herramienta *Clip raster bands* de SCP en el apartado *Preprocessing*. Únicamente se seleccionó la opción *Use vector for clipping* con el archivo del buffer recién creado. Al dar *Run*, se crearon los recortes de cada una de las bandas.

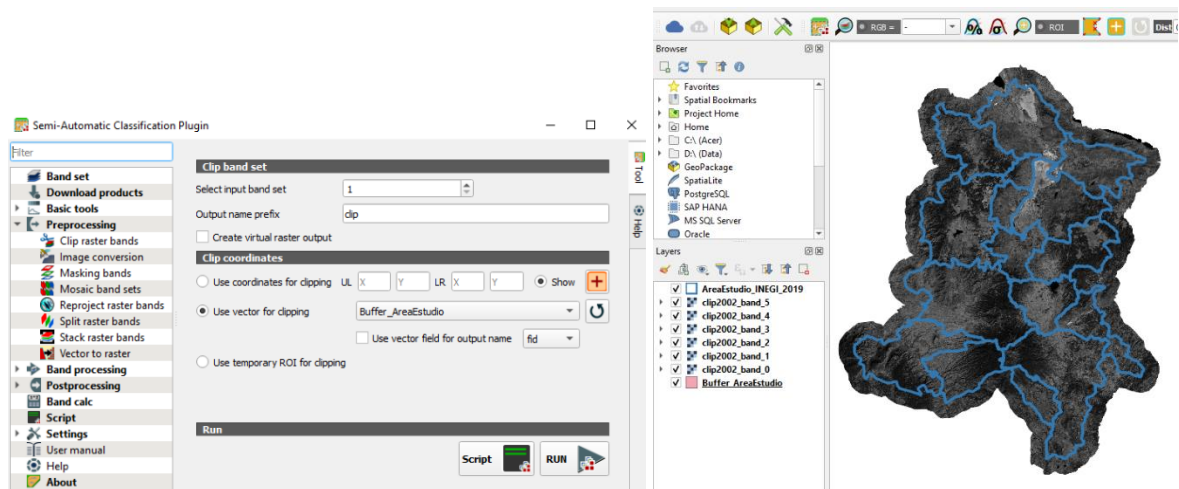


Figura x y x. Recorte de las bandas según el buffer del área de estudio

Seguido del recorte, se creó un solo ráster con las bandas resultantes. Para ello, se eliminaron los sets de bandas y se añadieron las nuevas bandas. Se configuraron las mismas opciones que en la *Figura y*, con el *Wavelength* del satélite correspondiente y las opciones para crear el ráster de bandas.

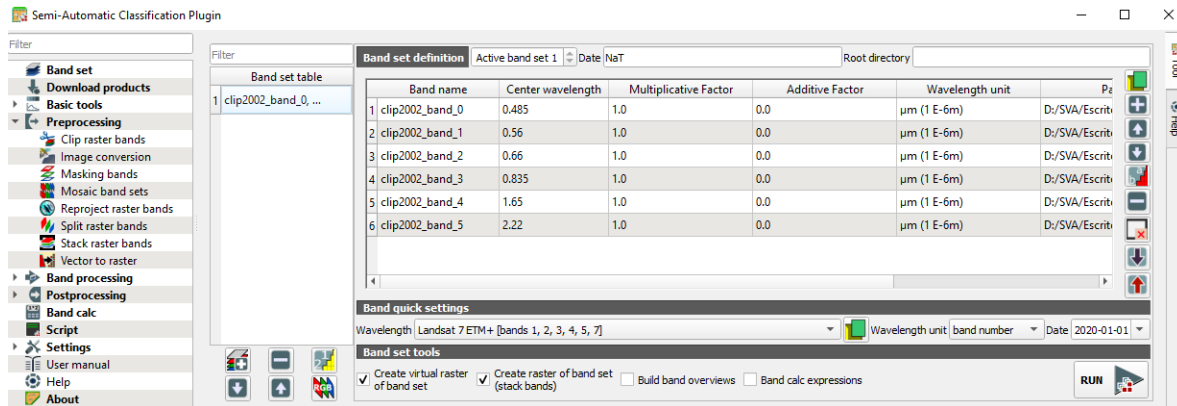


Figura y. Resultado de concatenación de bandas de rásters del 2002

Teniendo un único ráster, este se añadió al proyecto y se eliminaron las bandas individuales del panel de capas.

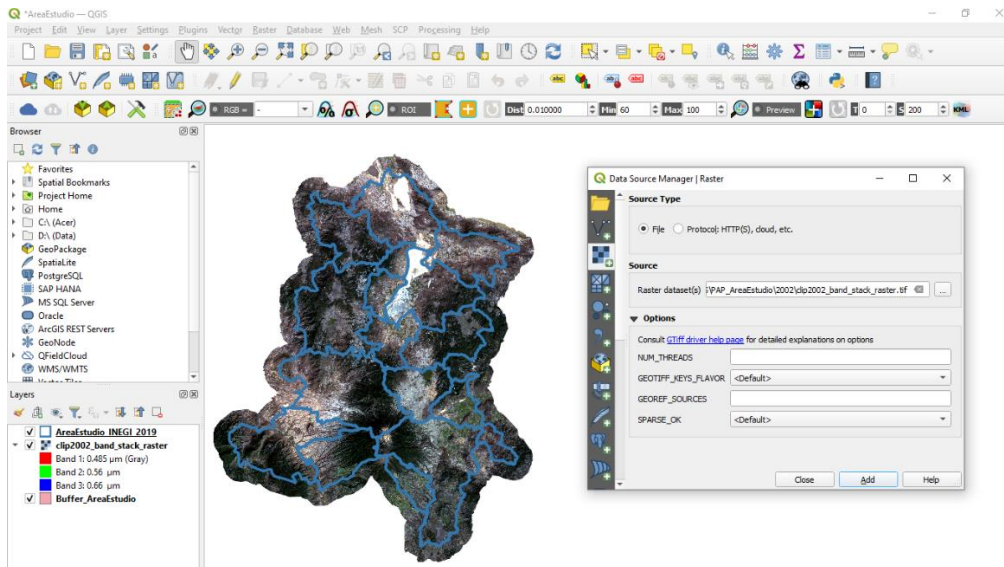


Figura x. Importación de ráster de stack de bandas para el 2002

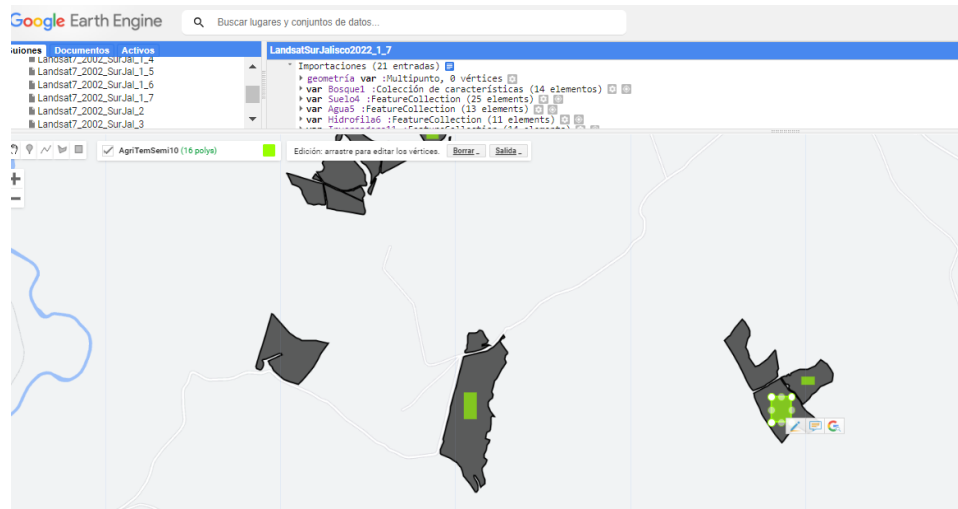
### 2.2.3. Elaboración de áreas de entrenamiento y verificación para la clasificación

Para poder entrenar un modelo clasificatorio, se necesita de polígonos que definan áreas cuya cobertura sea certera. Se hizo uso de Google Earth Pro, que permite acceder a diferentes imágenes satelitales en un periodo de tiempo específico. Debido a su alta resolución, se utilizaron como fuentes los satélites Maxar para 2002, Maxar para 2014 y Airbus para 2022. En cuanto a la selección del año en específico, la herramienta de *Historical Imagery* proporciona un *time slider* (línea de tiempo) que permite obtener la imagen en el tiempo dado. La herramienta se aprecia en la Figura X en la esquina superior izquierda.



Figura X. Ejemplo de sitios de verificación creados en Google Earth Pro para el 2014

Datos de mayor resolución y sobre el ROI



Las clases utilizadas para entrenar al software fueron los siguientes:

ID_MC	Nombre	Alias
1	Bosque templado	Bosque1
2	Selva baja caducifolia	Selva2
3	Matorral	Matorral3
4	Suelo desnudo	Suelo4
5	Cuerpo de agua	Agua5
6	Vegetación hidrófila	Hidrofila6
7	Agricultura de riego anual	RiegoAnual7
8	Agricultura de riego anual semipermanente	RiegoSemi8
9	Agricultura de temporada	AgriTemp9
10	Agricultura de temporada semipermanente	AgriTemSemi10
11	Invernadero	Invernadero11
12	Urbano	Urbano12
13	Pastizal	Pastizal13
14	Nubes	Nubes14

*Tabla X. Categorías o macro clases de clasificación, junto con ID\_MC (ID de la macro clase), nombre, alias en el código y código de color en el mapa.*

#### 2.2.4. Trabajo en campo

El proceso de clasificación de imágenes satelitales a través del entrenamiento de un modelo clasificatorio, han permitido identificar las categorías de uso de suelo en el área de interés; sin embargo, la corroboración de los sitios de entrenamiento son también una parte crucial del procedimiento, con motivo de afinar la exactitud del modelo. El primer objetivo de este trabajo en campo es la observación, comparación y creación de nuevos sitios de entrenamiento, como resultado de contrastar las imágenes satelitales con la realidad. Asimismo, el segundo objetivo es el contextualizar y documentar algunas de las prácticas importantes en predios de los cultivos pertinentes para este proyecto. Por ello, dentro de la implementación de la solución de este proyecto, se realizó una visita a las áreas y predios circundantes a Ciudad Guzmán.

Lugar en donde se pudieron observar de primera mano algunas huertas de aguacates e invernaderos de berries los cuales fueron accesibles a través del contacto establecido por un alumno del PAP que creció en la zona sur de Jalisco, el cual se comunicó con los agricultores durante varias llamadas donde acordaron detalles sobre el tema que se investigaría y cómo podrían colaborar mostrando mucho interés. Después de pactar una fecha y una hora para la visita, se llevaron a cabo las acciones necesarias para explorar las huertas e invernaderos el sábado 28 de octubre.

La herramienta de SIG utilizada en campo fue QField esto porque QGIS permite la exportación de ráster y vectores hacia la aplicación móvil predeterminada para uso en campo. Primeramente, se abrió un nuevo proyecto de QGIS y se importaron el ráster del Landsat 8 del 2022 recortado al área de estudio y los sitios de entrenamiento actuales. En el ráster, las bandas 7 (SWIR 2), 4 (Rojo) y 2 (Azul) se activaron, puesto que esta combinación de capas permite observar con claridad la diferencia entre las características del suelo.

A lo largo de la visita, se tuvo la oportunidad de comparar las áreas del ráster con las áreas visibles en carretera y dentro de dos predios: uno de cultivo de frambuesas orgánicas y otro de aguacates. La comparativa se hizo tomando en cuenta la diferencia en colores que surgió dada la combinación de bandas.

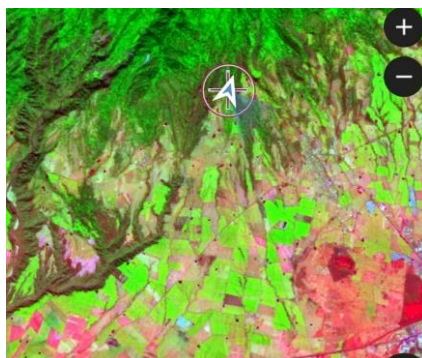


Figura X. Visualización de huertas de aguacate sobre una imagen de satélite Landsat 8.

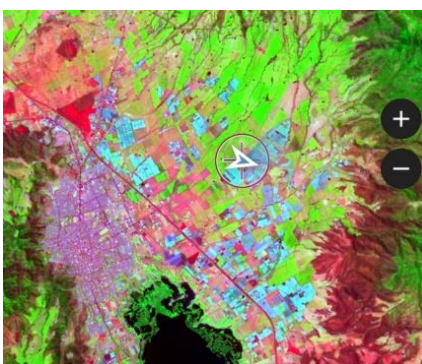


Figura XI. Visualización de huertos de berries sobre una imagen de satélite Landsat 8.

Los sitios en verde oscuro corresponden a bosques y usualmente los sitios en verde brillante entre los bosques, corresponden a plantaciones de aguacate. En cuanto al resto de áreas verdes brillantes, corresponden a lirios, plantíos de agave o plantíos de aguacate. Se observó que los colores verdes menos prominentes, incluyen a los cultivos jóvenes. Los colores amarillos, a pastizales o praderas; los marrones a selvas; los rojos y blancos a lugares desprovistos de vegetación; los azules marinos y negros a cuerpos de agua y los azules celestes a plásticos o toldos (la mayoría concordando a las áreas con plantaciones de berries).

Se observó y corroboró que los lugares seguían la misma clasificación del 2022, siendo las excepciones nuevos plantíos o recientes extensiones de campo de agricultura. Otro aspecto por tomar en cuenta fue el impacto de la precipitación y la humedad actual sobre el crecimiento de la vegetación en áreas antes desprovistas de ella, lo cual es congruente al considerar que las imágenes satelitales son de mayo y la visita a campo ocurrió en octubre, fecha en el que seguía el periodo de lluvia.

Dentro de QField se crearon nuevos polígonos con el objetivo de agregarlos a los sitios de entrenamiento, siempre y cuando los propietarios de los predios afirmaran que las áreas estaban presentes desde mayo del 2022. Esta función resultó ser de gran utilidad, pues posteriormente se exportaron e incluyeron para el entrenamiento del modelo de clasificación.

Mediante la clasificación del suelo en imágenes y la selección de puntos de entrenamiento para el modelo, se ha abordado el objetivo técnico de este trabajo de campo. Mas allá de la práctica técnica, la visita proporcionó contexto sobre los cultivos específicamente las frambuesas y aguacates. Fundamentalmente, se entrevistó a los propietarios de las productoras para obtener información que contribuye al conocimiento de las causas y consecuencias de los cultivos en las tierras y parcelas de Ciudad Guzmán. Además de este contexto, se indagó sobre las prácticas que se tienen para prevenir plagas, procedimientos para un buen uso del suelo, restricciones y lineamientos, consideraciones con los trabajadores y el mercado, tiempos de cosecha, entre otras.

El predio visitado pertenece a la productora Berrymex y la marca Driscoll's, específicamente para la producción de variedades de frambuesas orgánicas.

Driscoll's tiene un gran control y lineamientos sobre los procesos, dado su alcance internacional y posición como empresa líder a nivel mundial. Además, dado que la productora tiene cultivos orgánicos, el control que se tiene sobre los componentes químicos

de todo lo que entra en el predio es estricto y organizado. Por no mencionar todo el proceso detallado que se presentó, entre los aspectos de interés para este proyecto se mencionaron los temas del uso del suelo y agua. Se prohíbe el uso de químicos dañinos, adicionalmente dando un provecho al agua de las lluvias, que es filtrada apropiadamente. Por otro lado, la productora tiene un área dedicada sólo a la agricultura en donde hay rotación de ubicación de plantación de berries, con tal de otorgar al suelo un tiempo de reposo de al menos 2 años y conservar la calidad de éste

Otra de las prácticas relevantes, es la alternancia entre diferentes tipos de plantíos para mejorar la calidad de la tierra o la plantación de vegetación de diferente clase para alejar plagas del cultivo principal. La empresa para el predio es restrictiva en cuanto los tipos de plantas/cultivos que se podrían usar, pero es una tendencia para otras de las productoras de berries con menos restricciones. Esta información es útil a la hora de hacer análisis de las imágenes satelitales, puesto que el cambio de uso de suelo o cultivo puede ser intencional y realizada dentro de áreas que ya son consideradas únicamente para la agricultura.

El propietario de la productora menciona que existe una gran competencia por las tierras en Ciudad Guzmán, junto con una preocupación creciente del déficit de agua. El uso intensivo de recursos hídricos en la producción de berries plantea interrogantes sobre la sustentabilidad y sostenibilidad del uso del agua en regiones que ya enfrentan problemas de escasez.

En la aguacatera, se mencionó como las productoras que tenían grandes cantidades de hectáreas, han persistido entre aquellas con mayor área y crecido significativamente a comparación de productoras más pequeñas. La expansión de estos cultivos ha llevado a la deforestación y la pérdida de biodiversidad, siendo la tala ilegal de árboles y la modificación de la topografía del futuro predio, temas presentes al menos en un contexto local. Por otro lado, van en aumento las normas para el cuidado del medio ambiente y el consumidor, pero

el cumplimiento adecuado de estas cualificaciones sigue en progreso para los productores que no están asociados con marcas internacionales y dominantes del mercado.

Es crucial considerar que, si bien estos cultivos han generado beneficios económicos para los propietarios de las tierras y los inversionistas extranjeros, también han suscitado preocupaciones significativas. Entre los involucrados, plantea preguntas sobre el equilibrio de la producción agrícola con la conservación de los ecosistemas naturales. La utilización de pesticidas y químicos plantea preocupaciones sobre la salud y el impacto a largo plazo en el medio ambiente; además, la concentración de la producción en manos de pocos propietarios destaca la necesidad de políticas que fomenten la equidad en la distribución de la riqueza y el acceso a la tierra.

Los entrevistados mencionaron la búsqueda para la preservación de tradiciones agrícolas locales frente al carácter del agroextractivismo, junto con la consideración de costos, procesos y calidad con tal de que los productos finales sean equiparables. Teniendo en cuenta que la volatilidad de los mercados internacionales resalta la vulnerabilidad de los agricultores, se destaca la importancia del equilibrio entre la producción agrícola, la conservación del medio ambiente y el trabajo digno en el sur de Jalisco, a través de decisiones informadas que consideren los beneficios a largo plazo y en búsqueda de soluciones sostenibles para abordar de manera integral estos desafíos.

#### 2.2.5. Clasificación de áreas

Una vez definida el área de estudio, se procedió al entrenamiento del software, en este caso se utilizó el algoritmo de *Random Forest* de Google Earth Engine. Este proceso se logra a través una clasificación supervisada manual la cual consta de marcar puntos de interés en la imagen (haciendo uso de las áreas de entrenamiento) entrenando el software para que pueda nombrar el significado del área en la combinación de bandas.

Para realizar el proceso de clasificación de una imagen Landsat utilizando Google Earth Engine y con el algoritmo de Random Forest.

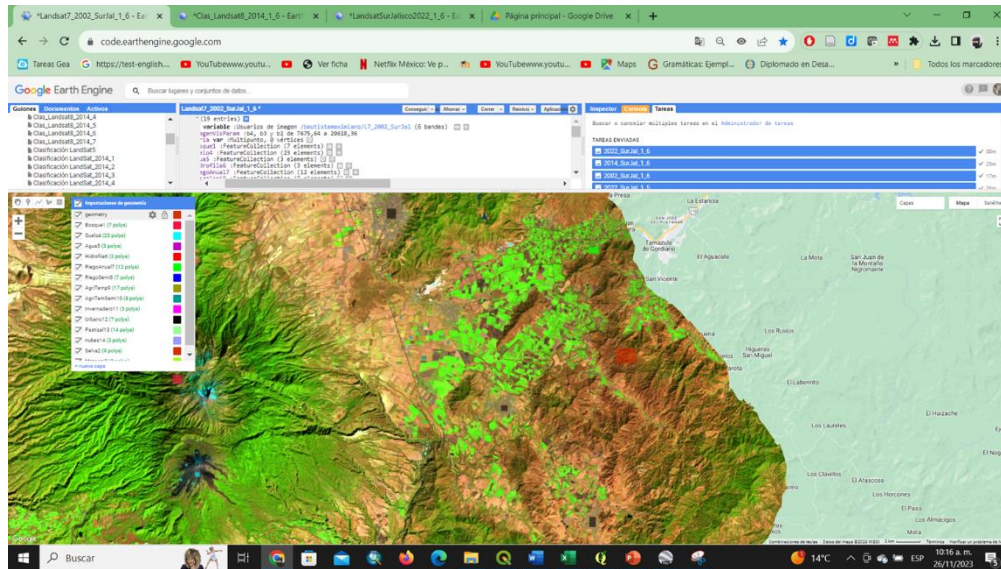


Figura XII. API de Google Earth Engine para la clasificación supervisada de imágenes de satélite.

Los sitios de entrenamiento se van agregando con el uso de Google Earth Engine con el uso de la herramienta de agregar geometrías, es importante considerar que no importa tanto la cantidad de sitios de entrenamiento si no la calidad de estos que se refleja en un índice Kappa igual o superior a .7.

Para realizar este proceso los pasos realizados fueron los siguientes:

### 1. Importar la imagen Landsat:

Utiliza la biblioteca Google Earth Engine para importar la imagen Landsat de interés. Puedes especificar la región y las fechas de interés, en este caso se utilizó una imagen ya recortada e integrada en un mosaico. El código utilizado para esta acción es el siguiente:

```
var L8= (image);
Map.addLayer(L8, {}, 'L8');
print(L8);
```

### 2. Crear regiones de interés para el entrenamiento:

Define regiones de interés (ROIs) en el área de estudio. Estas regiones deben representar las clases que deseas clasificar. El código utilizado para esta acción es el siguiente:

```

var muestras = Bosque1.merge(Selva2).
merge(Matorral3).merge(Suelo4).merge(Agua5).merge(Hidrofila6).merge(RiegoAnual7).merge(RiegoSemi8).
merge(AgriTemp9).merge(AgriTemSemi10).merge(Invernadero11).merge(Urbano12).merge(Pastizal13).mer
ge(nubes14);
var muestras =
Bosque1.merge(Selva2).merge(Matorral3).merge(Suelo4).merge(Agua5).merge(Hidrofila6).merge(RiegoAnu
al7).merge(RiegoSemi8).merge(AgriTemp9).merge(AgriTemSemi10).merge(Invernadero11).merge(Urbano1
2).merge(Pastizal13).merge(nubes14);

```

Si ya se cuenta con sitios de entrenamiento en formato de polígonos o puntos, estos se pueden agregar a Google Earth Engine para ser utilizados para crear ROI's con un grado más alto de confiabilidad. El código utilizado para esta acción es el siguiente:

```

Map.addLayer(aoi.draw ({color: 'black'}), aoi, 'Agave2017_2018_2019 AOI');

```

Otro caso fue el de los sitios de entrenamiento para huertas de aguacate o también llamada Agricultura Riego Anual Semipermanente. El código utilizado para esta acción es el siguiente:

```

Map.addLayer(geometry2.draw ({color: 'black'}), geometry2, 'Aguacate AOI');

```



Los sitios de entrenamiento y de verificación se establecieron utilizando imágenes de mayor resolución como Maxar (2002), Maxar (2014), Airbus (2022) cortesía de Google Earth.

### 3. Muestreo de datos para entrenamiento:

Utiliza las ROIs para muestrear los píxeles de la imagen Landsat y obtener datos de entrenamiento.

```

var entrenamiento = L8.sampleRegions(muestras, ['class'],30);
print(entrenamiento.size())

```

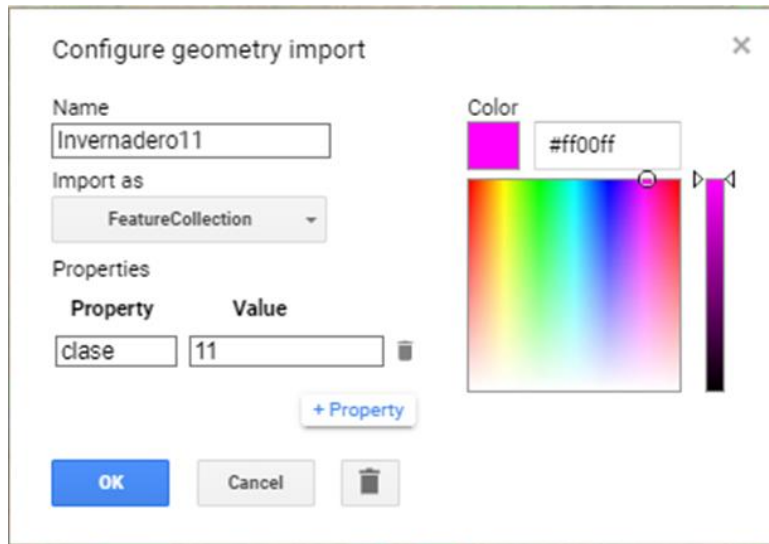


Figura XII. Herramienta de Google Earth Engine para generar sitios de entrenamiento también llamados ROI's.

Para generar los sitios de entrenamiento en Google Earth Engine de cada clase es conveniente crearla con las siguientes características:

- **Name:** De acuerdo con la clase correspondiente ya sea bosque, selva, matorral, agua. Se deben importar como FeatureCollection sobre las otras opciones
- **Value:** *Property Value* (valor de propiedad) debe ser “clase” y un valor único a cada clase que puede ser 1,2,3,4,5 según el número de clases que se haya decidido integrar a la clasificación supervisada.

#### 4. Seleccionar bandas relevantes:

Selecciona las bandas relevantes para la clasificación. Las bandas comunes incluyen el espectro visible, infrarrojo cercano y otros índices espectrales. El código utilizado para esta acción es el siguiente:

```
var Bandas = ['b1', 'b2', 'b3', 'b4', 'b5', 'b6', 'b7'];
```

## 5. Configurar el clasificador Random Forest:

Configura el algoritmo Random Forest con las opciones deseadas. El código utilizado para esta acción es el siguiente:

```
var Clasificacion = ee.Classifier.smileRandomForest(100).train(entrenamiento,'clase',Bandas);
```

## 6. Aplicar la clasificación al conjunto de datos completo:

Utiliza el clasificador entrenado para clasificar toda la imagen Landsat.

```
var image =L8.classify(Clasificacion);
```

## 7. Visualizar el resultado:

Visualiza la imagen clasificada y las regiones de interés. El código utilizado para esta acción es el siguiente:

```
Map.addLayer(L8,imageVisParam,'L8');  
Map.addLayer(image,{min:1,max:14,palette:['green','purple','orange','red','cyan','yellow','brown','pink','white','black','gray','silver','blue','indigo'],'clasificado');
```

## 8. Exportar el resultado (opcional):

Si es necesario, puedes exportar la imagen clasificada. El código utilizado para esta acción es el siguiente:

```
Export.image.toDrive({image:L8.classify(Clasificacion),description: 'clasificado',scale:30})
```

### 2.2.6. Elaboración de mapas clasificatorios

Las imágenes clasificadas obtenidas están en escala de grises, por lo que se realizaron modificaciones a la simbología de los mapas para darles una mayor claridad. El proceso consistió en importar las imágenes dentro de QGIS, en donde al dar click derecho sobre un ráster, se accedió a la ventana de propiedades. Dentro de la ventana, la sección de *Symbology* (simbología) incluye el apartado *Band rendering* (renderización de las bandas) en donde se cambió la opción de *Render type* (tipo de render) a *Palette/Unique values*. Esto permite asignarle un color y nombre en específico a cada una de las categorías en el mapa.

Después de cambiar el tipo de render, aparecerá un cuadro con un botón *Classify* (clasificar), que automáticamente creará la división entre las 14 categorías. Se tomó en cuenta la creación automática de la categoría 0, que consiste en el área alrededor del contorno del área de estudio. Este se descartó al seleccionar la categoría 0 y dar click sobre el botón de menos.

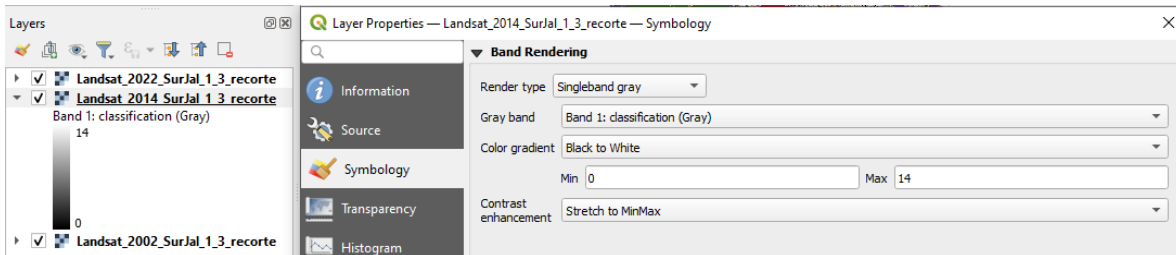


Figura x. Propiedades de simbología previas al cambio de tipo de render

Al hacer doble click sobre un valor en las columnas de *Color* y *Label* (etiqueta), se permite la modificación de dicho campo. Para cada categoría, se le asignó el nombre y color en mapa correspondiente con aquella en la *Tabla X*, incluida en la sección 2.2.3. *Entrenamiento del Modelo Clasificador*. Al finalizar, se aplicaron los cambios con *Apply* y guardó la simbología de colores y etiquetas a través de la opción mostrada en la Figura X. Gracias a este archivo creado, para los siguientes rásters de clasificación no se repitió el proceso completo de asignación de simbología correcta.

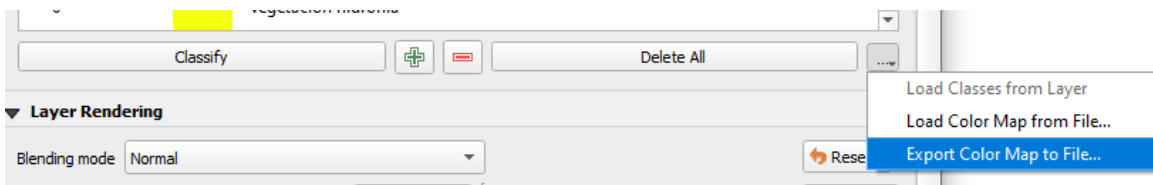


Figura X. Exportación de simbología (colores y etiquetas)

Para importar la simbología en los siguientes 2 rásters, únicamente se repitió hasta el paso de hacer click en *Classify* para la creación de las categorías y se seleccionó la opción mostrada en la Figura x.

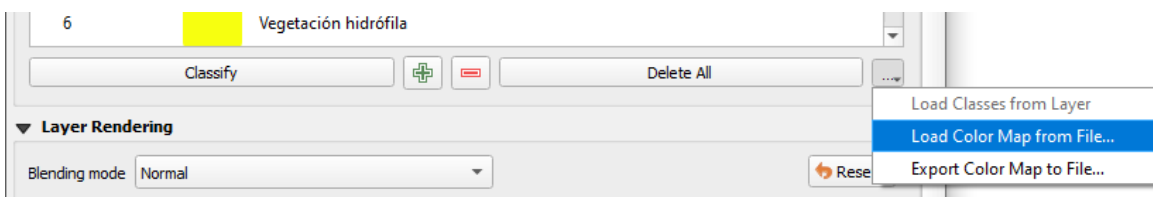


Figura x. Importación de simbología (colores y etiquetas)

Este proceso dará como resultado el cambio en colores de las imágenes clasificatorias, junto con la simbología correcta por cada una de las imágenes.

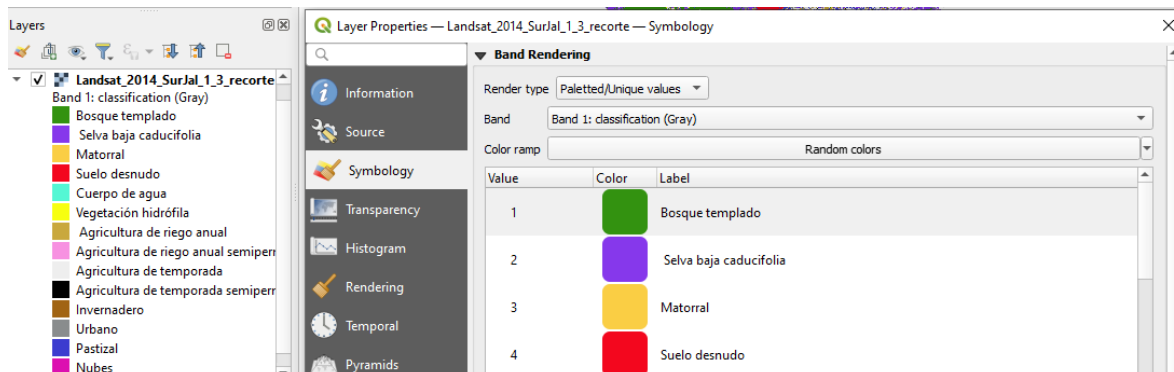


Figura x. Propiedades de simbología con la simbología de categorías/macro clases correcta

En seguida, se generaron los mapas con su simbología correspondiente a través de la opción *New Print Layout*. La opción despliega una nueva ventana, desde la cual se añadió un nuevo mapa con su leyenda, textos, barra de escala, etc (estas herramientas en la barra lateral). Al terminar el mapa del año 2002, se guardó a plantilla con la opción *Layout, Save as Template* y se exportó como imagen PNG de 600dpi.

La plantilla permite usar la misma configuración del mapa, pero reemplazar el ráster de clasificación según el seleccionado en la ventana principal de QGIS. A través del *Layout Manager* en la barra de herramientas superior, se seleccionó la opción *Specific* dentro del apartado *New from Template*, en donde se proporcionó el archivo de la plantilla de mapa y se creó una copia con el ráster actualizado después de dar click en *Create...*

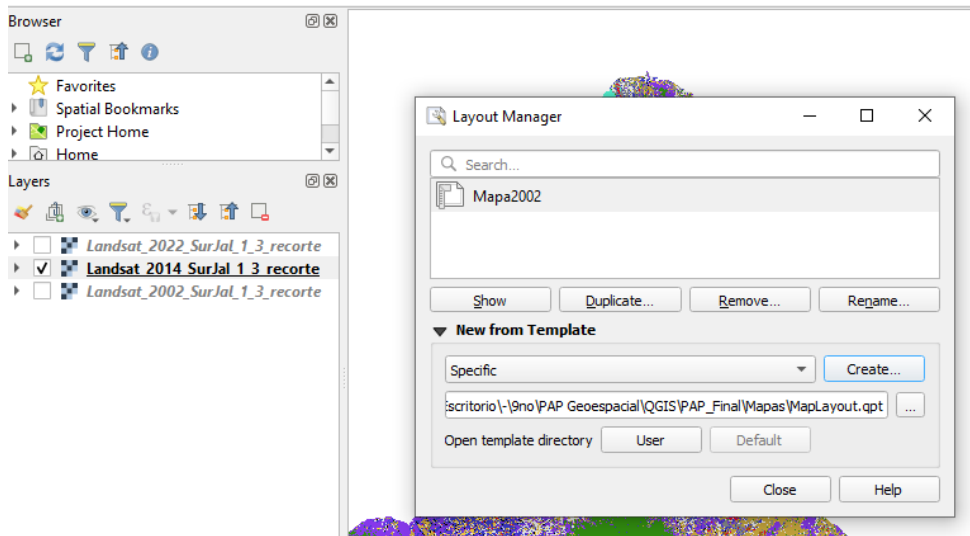


Figura x. Creación de un nuevo layout de mapa a través de una plantilla previamente guardada

### 2.2.7. Verificación de calidad en clasificación

Se verificó la calidad de la clasificación realizada para cada año (2002, 2014, 2022), a través del plugin *Semi-Automatic Classification (SCP)* en el apartado de *Postprocessing*. La herramienta de *Accuracy* permite comparar los resultados de un ráster clasificado con sitios de verificación en formato vectorial.

Primeramente, se importaron tanto la imagen clasificada, como los sitios de verificación que fueron creados desde Google Earth Pro para el año de la imagen de la que se corroborará la clasificación. Los sitios de verificación consisten en una carpeta comprimida zip, con los elementos que deben acompañar a un shapefile: .shp, .dbf y .shx; esta carpeta se importa a QGIS desde *Layer, Add Layer y Add Vector Layer*.

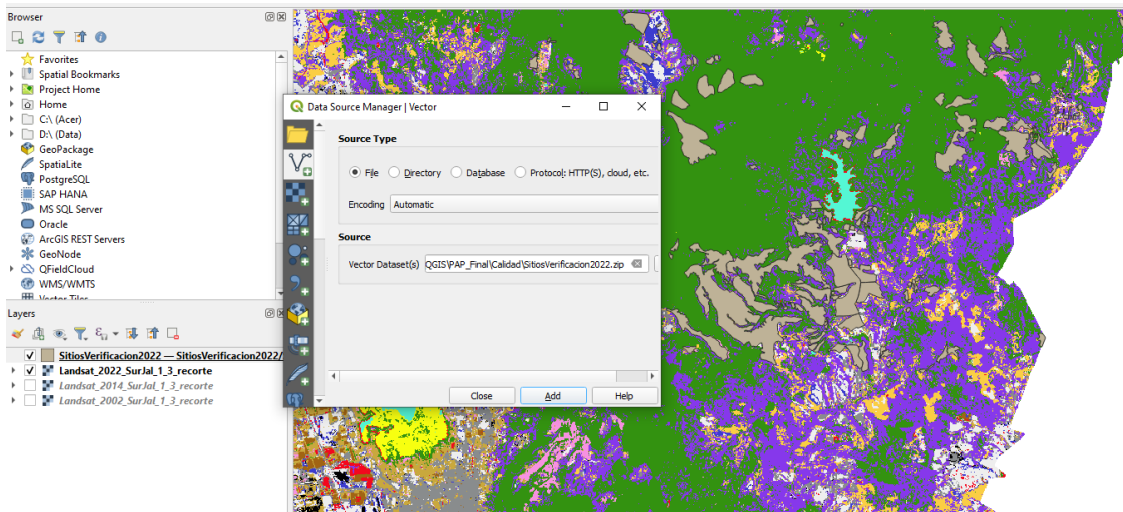


Figura X. Importación de sitios de verificación para el 2022, en donde los polígonos de los sitios de verificación se aprecian en un color gris sobre el mapa de clasificación

Dentro de la herramienta de *Accuracy*, se seleccionó el ráster de clasificación y el sitio de verificación correspondiente al año en evaluación. Dentro de *Vector Field*, se corroboró la identificación de *ID\_Clase*, que se necesita para identificar las mismas categorías para el ráster y el vector. Dando click a *Run* empieza el algoritmo de verificación. Se repitió este mismo proceso de verificación múltiples veces, con tal de obtener mejores resultados a partir de cambios en los sitios de entrenamiento para el modelo clasificatorio.

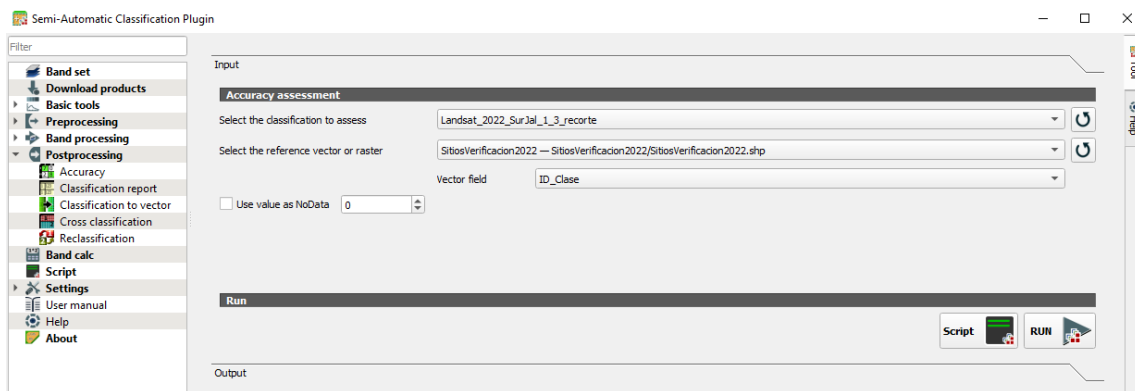


Figura X. Entradas para medición de precisión en la clasificación

Los resultados finales de esta verificación de calidad fueron los siguientes:

- Landsat 7 2002
  - Precisión total [%] = 94.0971
  - Clasificación Kappa = 0.9255
- Landsat 8 2014
  - Precisión total [%] = 67.7321
  - Clasificación Kappa = 0.6139
- Landsat 8 2022
  - Precisión total [%] = 91.8968
  - Clasificación Kappa = 0.9020

La precisión se refiere a las veces en las que el modelo clasificatorio acertó en identificar los sitios de verificación en su clase correcta, mientras que la clasificación en kappa otorga una medida que identifica la concordancia en el análisis; es decir, que tan fiable es que, al realizar múltiples pruebas de verificación, el modelo clasificatorio siga manteniendo la precisión obtenida. Valores de kappa mayores a 0.75 se obtuvieron para las clasificaciones del 2002 y 2022, por lo que, bajo la regla empírica general de kappa,

Se ha de mencionar que la clasificación del 2014 no cuenta con una precisión ni nivel de kappa tan altos como los valores obtenidos para las clasificaciones del 2002 y 2022. La razón de esto son los problemas a los que se enfrentaron en el proceso de creación de sitios de entrenamiento para este año, pues las imágenes contaban con interferencia en nubes y concordancia exacta de áreas entre los satélites utilizados. Para futuras implementaciones o consideraciones, se aconseja la búsqueda de diferente fuente de imágenes para la creación de una mayor cantidad de sitios de verificación y entrenamiento precisos.

## 2.2.8. Recursos para comparación de cambios

### 2.2.8.1. Elaboración de matrices transición

Dadas las imágenes clasificadas de buena calidad por cada uno de los años a evaluar, este paso en el procedimiento consiste en analizar los cambios del uso del suelo a través de estas imágenes. Con este propósito en mente, dentro de QGIS se usa el plugin MOLUSCE (*Modules for Land Use Change Evaluation*). Este módulo permite analizar los cambios en el suelo; sin embargo, se debe instalar la última versión de QGIS compatible (2.18.10). A través de la siguiente liga, es posible descargar esta versión pasada de QGIS. (<https://download.qgis.org/downloads/windows/2/>)

Al tener el QGIS 2.18.10, se creó un nuevo proyecto en donde se importaron las 3 imágenes clasificadas (Landsat8 en 2002, 2013 y 2022) como ráster. El *plugin* de MOLUSCE se busca en la librería de *plugins* e instala, creando un acceso a la herramienta dentro de la pestaña de *Ráster*.

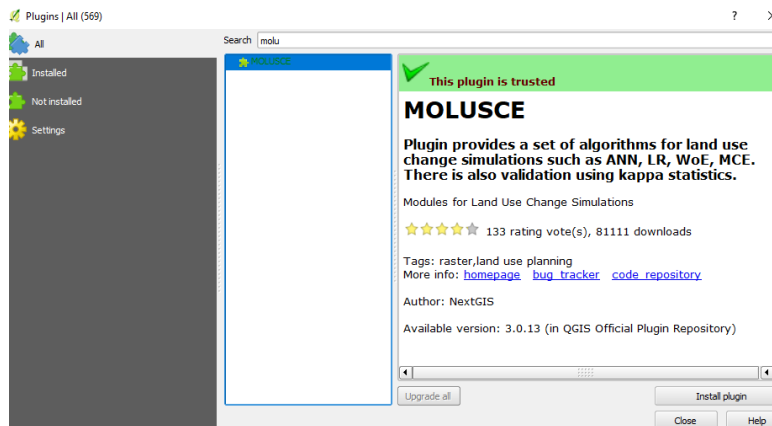
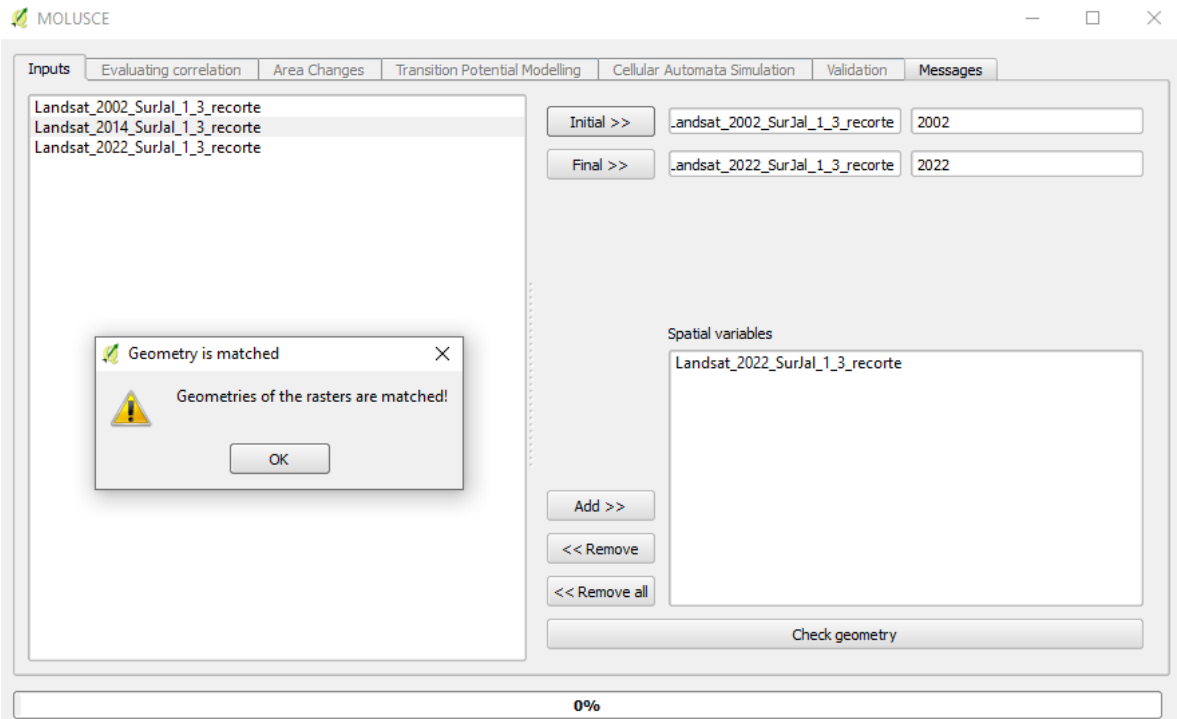
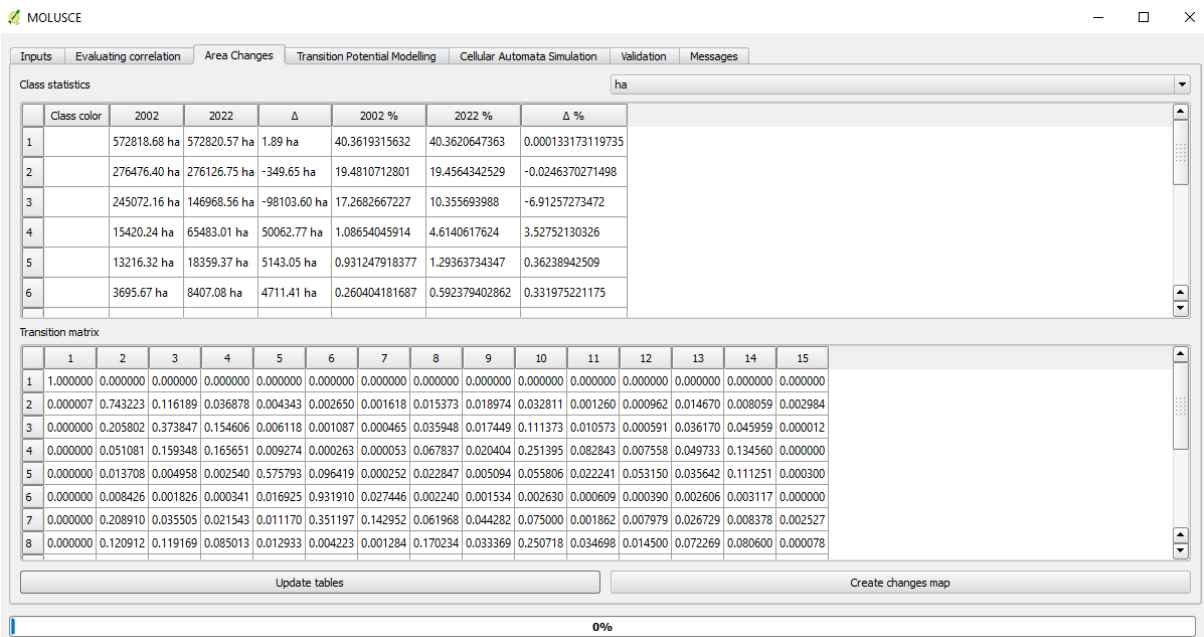


Figura x. Instalación de plugin de MOLUSCE

La herramienta de MOLUSCE se encuentra en *Ráster*, *MOLUSCE*. En ella primeramente se agregaron como *Inputs* (entradas) el par de rásters de los que se desea obtener las matrices de transición. Estos pares son [2002,2014], [2014,2022] y [2002,2022] en donde el primer año se selecciona como *Initial* y el segundo como *Final*. Dentro de *Spatial variables*, se agrega una copia de alguno de los rásters que se comparará

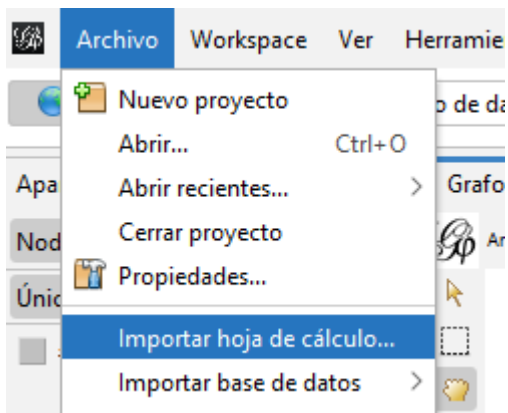


Checa si coinciden exactamente las imágenes en territorio, además de que las clasificaciones sean las mismas



Para la elaboración de grafos, se utilizó el software GEPHI.

- Archivo Importar Lista de cálculo
- Lista de adyacencia en UTF8
- Tipo de grafo dirigido



#### *2.2.8.1. Elaboración de grafos de transición*

#### *2.2.7. Predicción*

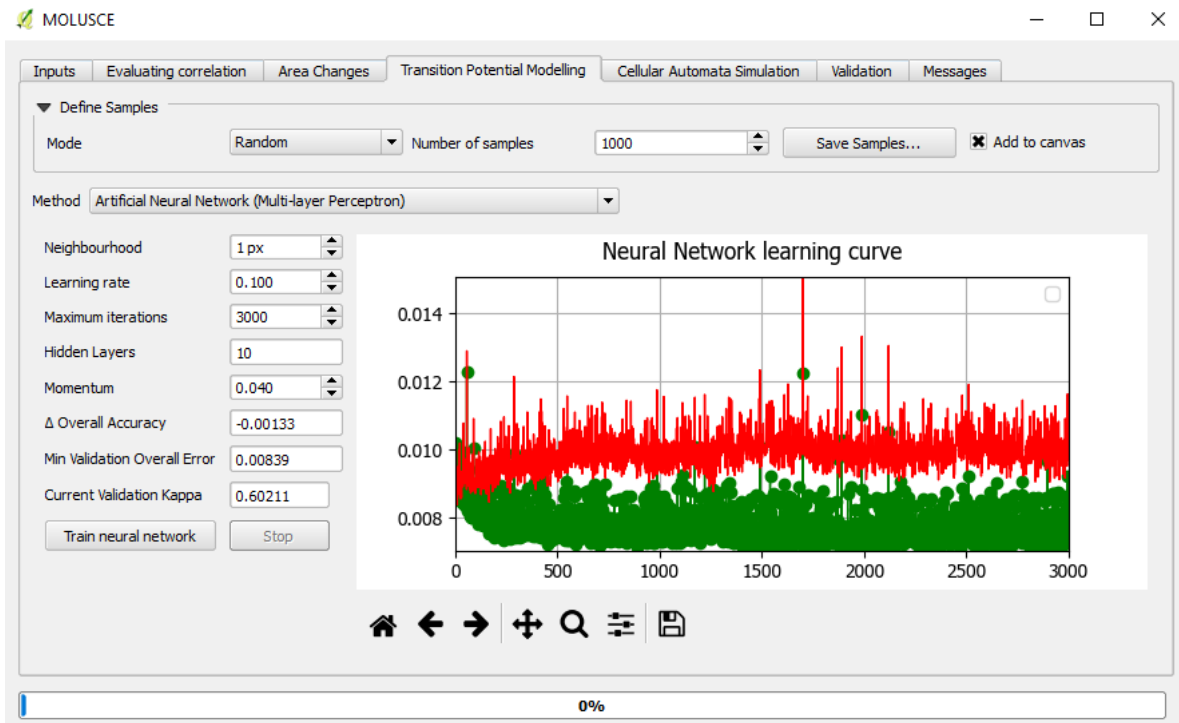
Se llevaron a cabo pruebas de predicción tanto usando las redes neuronales proporcionadas por MOLUSE como usando el mismo Random Forest que usamos para clasificar las imágenes en Google Earth Engine, ambos dando resultados negativos con muy baja fiabilidad, en concreto las clases que andamos analizando tienen muchos errores, siendo el principal problema que los modelos predicen de forma contraria lo esperado en varias de las clases, es decir que donde se espera un crecimiento en alguna clase, el programa lo decrece y viceversa, esto debido a problemas con el preentrenamiento, problemas con los modelos, entre otros factores se decidió omitir esa parte en la investigación. (Cabe mencionar que fueron pruebas sin resultados concretos).

MOLUSCE permite el entrenamiento de un modelo de aprendizaje máquina para realizar una predicción o posibles resultados a partir de los datos de transición entre ráster. Con tal

de lograr una predicción hacia el 2042, se seleccionaron como entradas las imágenes clasificadas del 2002 y 2022, cuya diferencia es de 20 años y por ello proyectando resultados 20 años después del 2022. El propósito de la sección de *Transition Potential Modelling* es seleccionar y entrenar un modelo predictivo en base a los datos actuales. MOLUSCE ofrece 4 métodos de aprendizaje: *Artificial Neural Network (Multi-layer Perceptron)*, *Weights of Evidence*, *Multi Criteria Evaluation* y *Logistic Regression*.

Dada la naturaleza del aprendizaje máquina, no existe previamente un método o combinación de hiperparámetros que directamente den los mejores resultados y nivel de kappa; es decir, se deben realizar varias iteraciones con métodos e hiperparámetros hasta encontrar los adecuados para el caso en específico que se analiza. Esto resulta en un proceso arbitrario; sin embargo, para este proyecto el proceso consistió en correr múltiples veces cada método con ligeros cambios en un hiperparámetro a la vez. A continuación, se presentan los mejores resultados de Kappa para cada uno de los 4 métodos disponibles en MOLUSCE.

Artificial Neural Network (Multi-layer Perceptron)							
N	LR	Iterations	Hidden Layers	Momentum	$\Delta$ Overall Accuracy	Min Error	Kappa
1px	0.100	3000	10	0.040	-0.00133	0.00839	0.60211
1px	0.100	3000	10	0.050	-0.00106	0.00879	0.57786
1px	0.100	3000	10	0.045	-0.00117	0.00921	0.54777
1px	0.100	3250	10	0.050	-0.00209	0.00896	0.53221
1px	0.100	3000	10	0.065	-0.00230	0.00878	0.49915
1px	0.100	3000	10	0.045	-0.00365	0.01048	0.49888
1px	0.100	3000	10	0.030	-0.00225	0.00885	0.47814
1px	0.100	3000	20	0.050	-0.00232	0.01072	0.42931

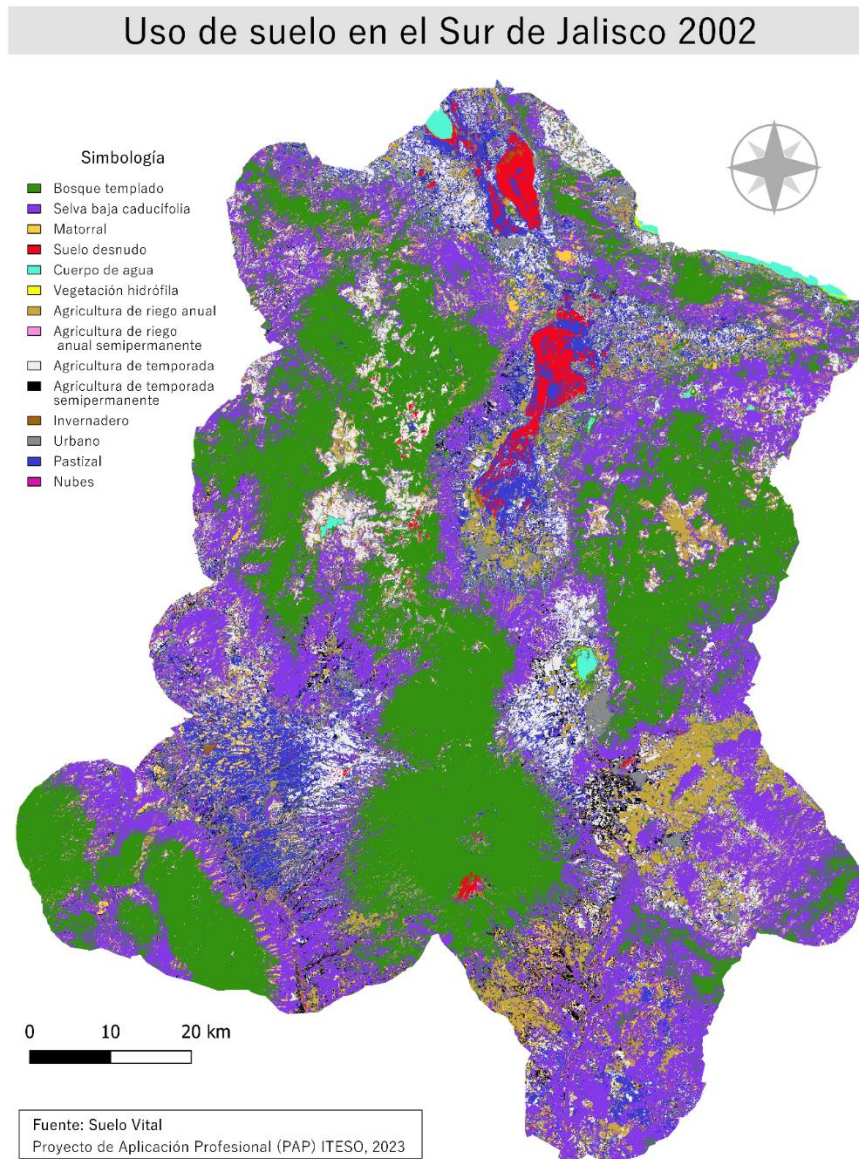


Luego de entrenar el software, analizamos el cambio de estos colores presentes en las imágenes tomadas en el 2002, 2014 y 2022 para pronosticar el cambio de uso de suelo en el 2042 utilizando random forest. Utilizamos esta metodología de predicción ya que esta relaciona el peso de las variables entre variables por medio de los coeficientes de las similitudes entre sí, en otras palabras, se crea una comparativa de cada variable y se asimila al que más se parezca, en base a esta relación se crea el pronóstico.

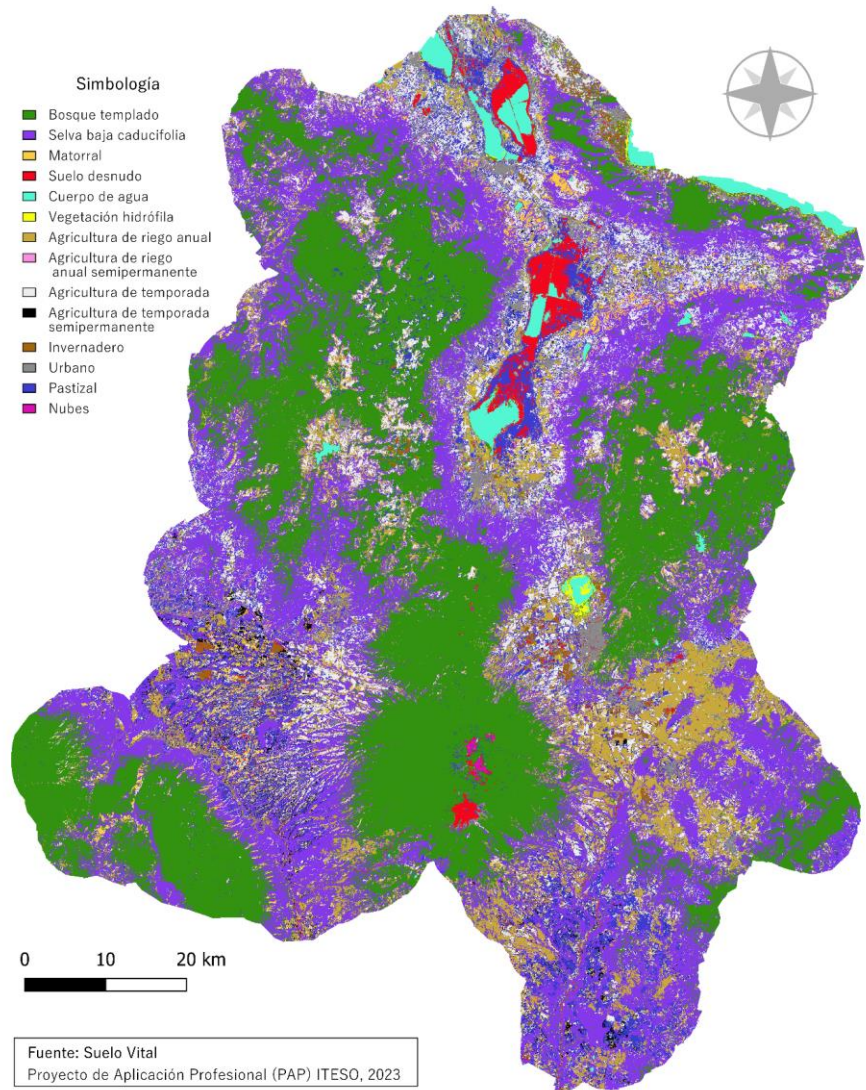
### 3. Resultados del trabajo profesional

A continuación, se presentan los resultados del procedimiento descrito anteriormente para los años 2002, 2014 y 2022, siendo las imágenes clasificadas de cada año, los cambios representados a través de las matrices de transición y grafos, junto con otros gráficos e interpretaciones la predicción futura queda para trabajos posteriores de este PAP.

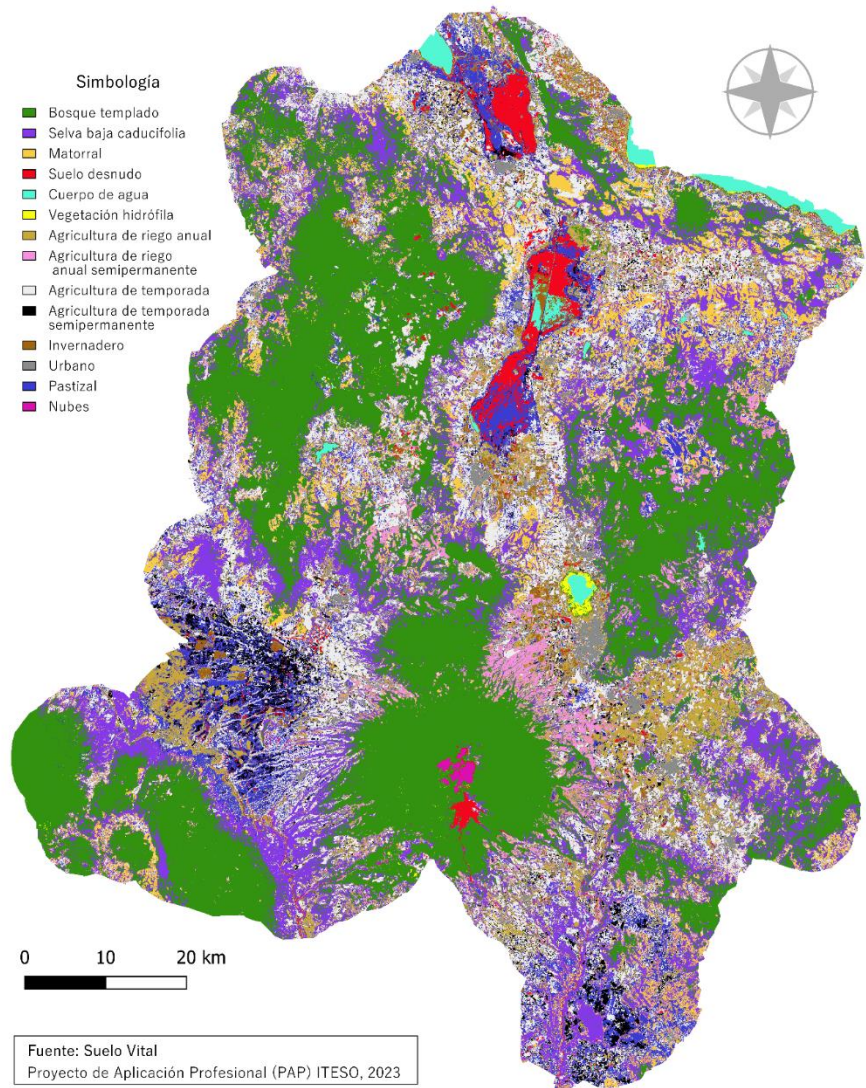
#### 3.1. Imágenes Landsat clasificadas



# Uso de suelo en el Sur de Jalisco 2014



# Uso de suelo en el Sur de Jalisco 2022



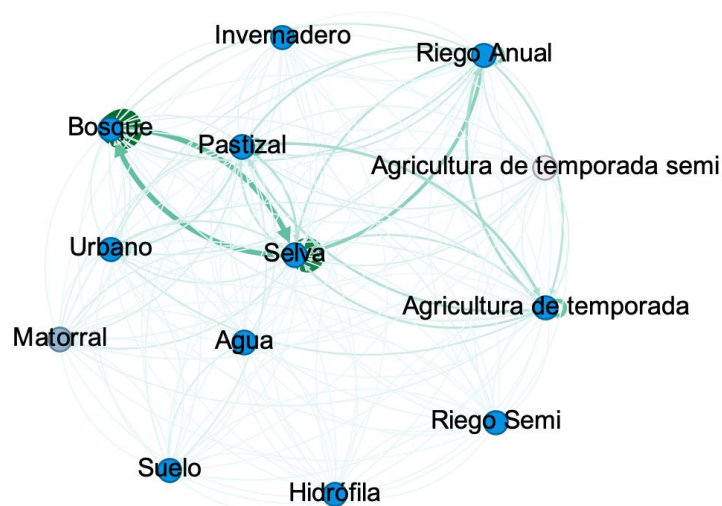
### 3.2. Análisis de cambios

Con el propósito de enriquecer el análisis del cambio de uso de suelo, se visualizaron los datos de la matriz de transición utilizando grafos. Esto permite observar fácilmente los cambios en el uso de suelo por cada periodo. Las matrices de transición se encuentran como Anexo #, en donde las diagonales representan aquellas hectáreas que han permanecido sin cambio alguno a lo largo del periodo de tiempo en cada matriz. Verticalmente se indica el crecimiento de las hectáreas de otras categorías, sobre la categoría en su columna correspondiente (la categoría en fila creció sobre dicha categoría en columna). Mientras que, horizontalmente se indica hacia dónde se distribuyeron las hectáreas de la categoría en una fila (la categoría en columna creció sobre dicha categoría en fila).

En los grafos, las flechas indican hacia qué tipo de territorio hubo un cambio entre los años de estudio. La escala de colores de los nodos representa el *in-degree* de los nodos. El valor *in-degree* es la cantidad de relaciones que apuntan a un nodo, es decir, entre mayor el valor de la escala, mayor es la cantidad de transiciones que hubo a ese tipo de territorio. De igual manera, el color y el grosor de las flechas, que son las relaciones entre los nodos, representa la cantidad de hectáreas que cambiaron de ecosistema.

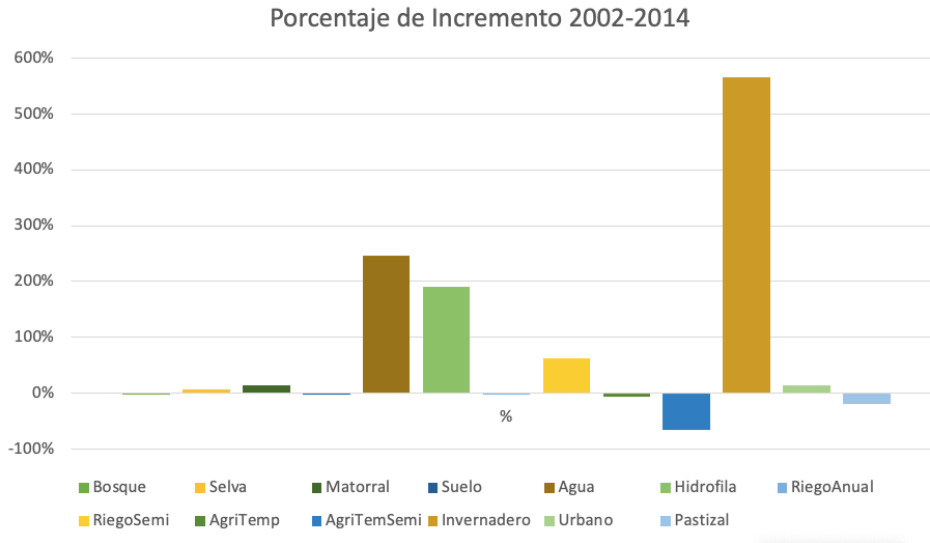
#### Cambios de 2002 a 2014

[Matriz de cambios 2002-2014]

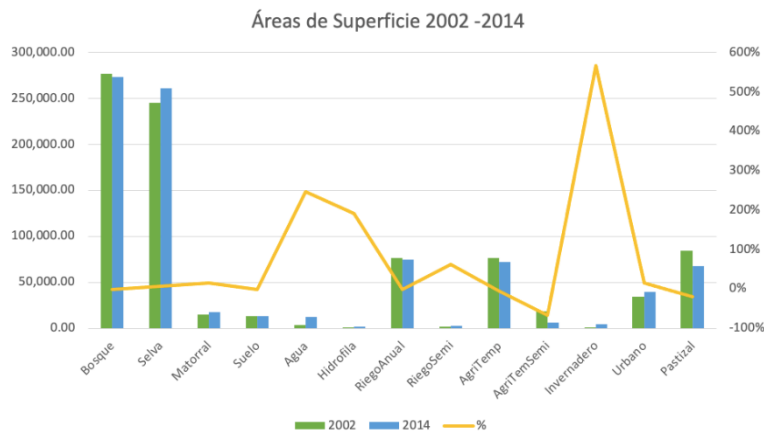


Nodos:  Relaciones: 

En este grafo se puede observar que del año 2002 al 2014 hubo una transición importante de la selva al bosque, del bosque a la selva, de selva y pastizal a riego anual, y de pastizal a agricultura de temporal. Adicionalmente, para visualizar el cambio de uso de suelo se realizó una gráfica del porcentaje de incremento de cada clase del año 2002 al 2022.



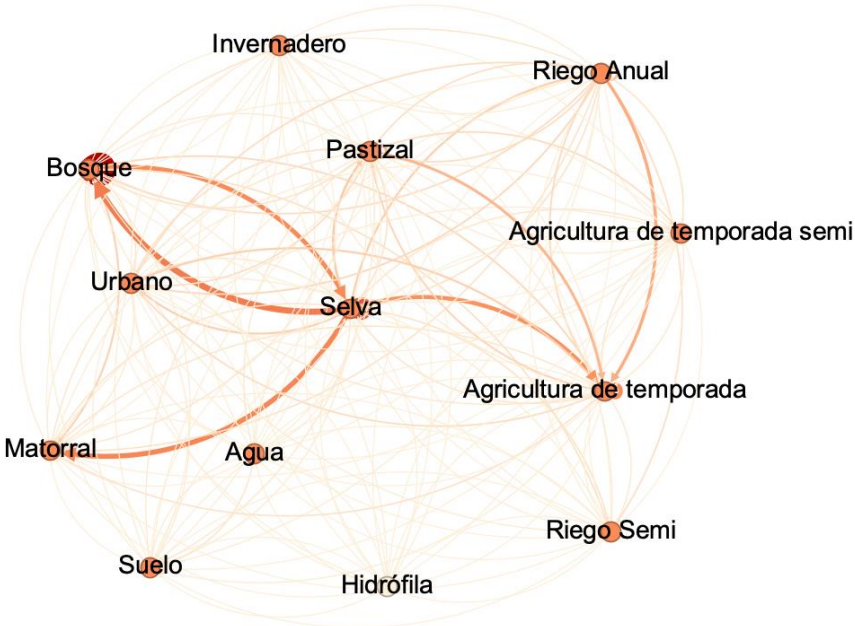
En esta gráfica se puede observar que del año 2002 al 2014 los mayores porcentajes de incremento lo tuvieron el invernadero (565.65%), la superficie de agua (191.48%), y la hidrófila (191.48%). También se realizó una gráfica donde se puede observar la cantidad de hectáreas de cada clase que había en el 2002 y cuántas había en el 2022, además se muestra el porcentaje de incremento del cambio que hubo en cada clase.



Esta gráfica muestra que del año 2002 al 2014 se redujo la superficie de los boques, riego anual, agricultura de temporal, agricultura de temporal semi, y del pastizal. Incrementó la superficie de la selva, el matorral, el agua, y la zona urbana.

*Cambios de 2014 a 2022*

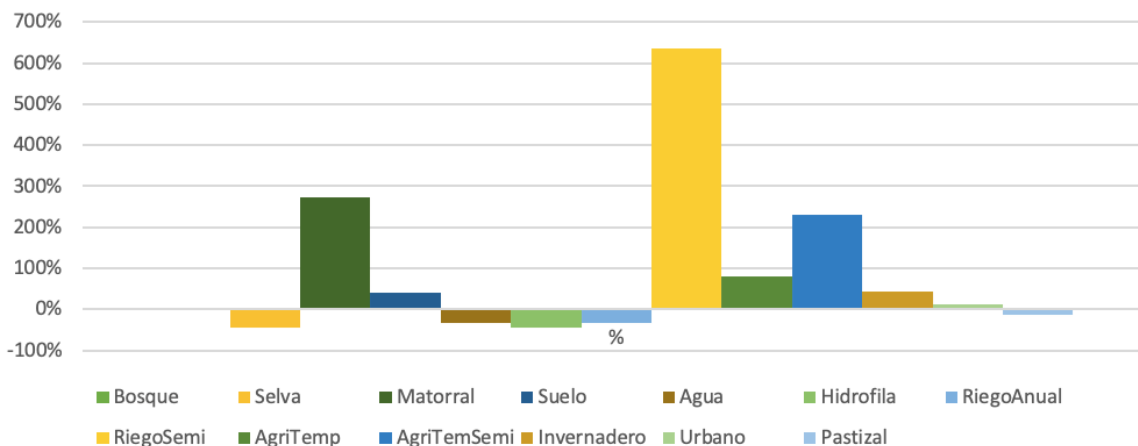
[Matriz de cambios 2014-2022]



Nodos: Relaciones:

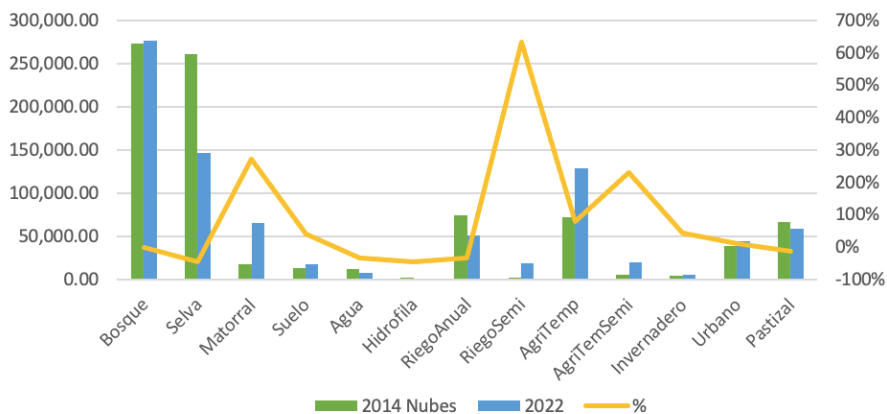
En este grafo se puede observar que las transiciones más importantes entre el año 2014 al 2022 fue de selva a bosque, agricultura de temporal, y matorral, de bosque a selva, y de pastizal y riego anual a agricultura de temporal.

### Porcentaje Incremento 2014- 2022



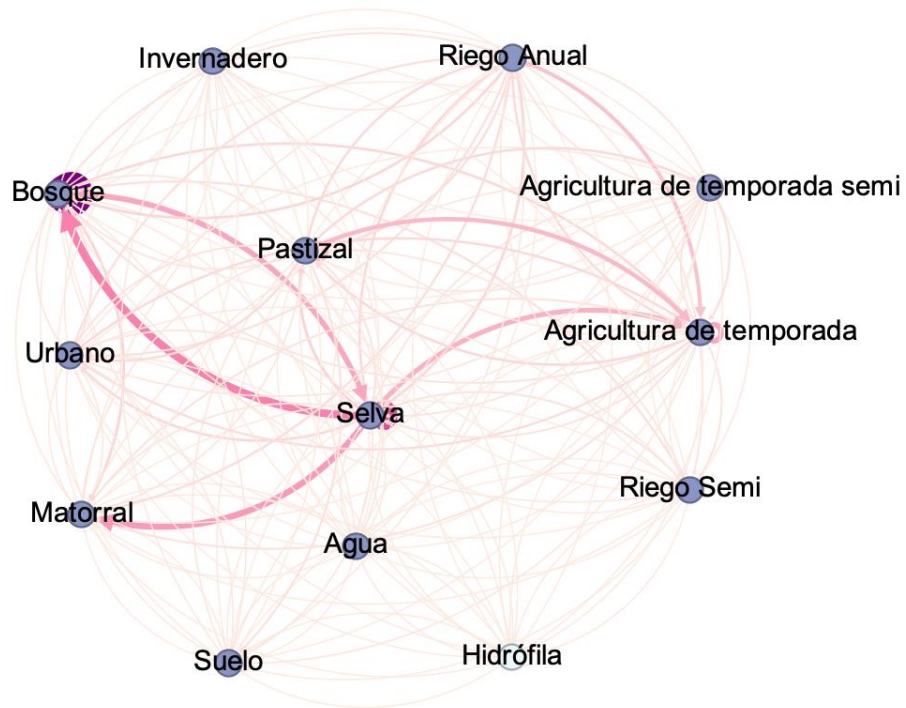
Del año 2014 al 2022 los mayores porcentajes de incremento de superficie lo tuvieron el Riego Semi (634.65%), el matorral (272.1%), y la agricultura de temporal semi (230%), que son los cultivos de aguacate.

### Áreas de Superficie 2014 - 2022



En esta gráfica se puede observar que del 2014 al 2022 hubo un aumento en la superficie de bosque, de matorral, de suelo, de riego semi, de agricultura de temporal de agricultura de temporal semi, y de la zona urbana. Se redujo la superficie de selva, agua, riego anual, y de pastizal.

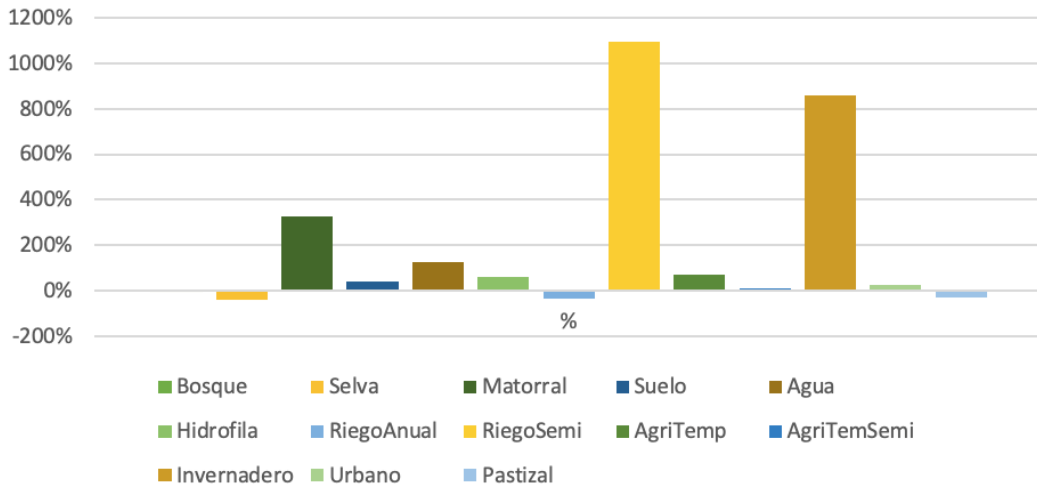
[Matriz de cambios 2002-2022]



Nodos:  Relaciones: 

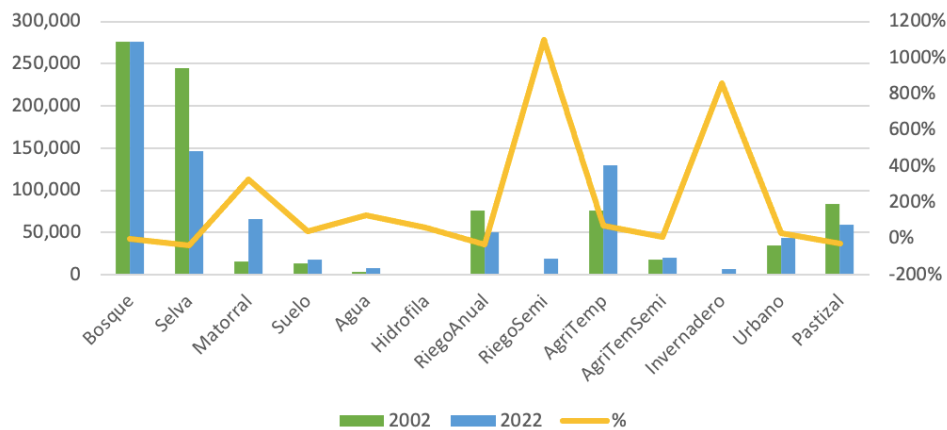
En este grafo se puede observar que las transiciones más importantes del año 2002 al 2022 fue de selva a bosque, matorral, y agricultura de temporada, de bosque a selva, de selva, pastizal, y riego anual a agricultura de temporal.

### Porcentaje Incremento 2002 - 2022



Del año 2002 al 2022 los mayores porcentajes de incremento de superficie lo tuvieron el riego semi (1096.80%), que son los cultivos de aguacate, de invernaderos (856.84%), y matorral (324.87%).

### Áreas de Superficie 2002 - 2022



Esta gráfica muestra que del 2014 al 2022 hubo un aumento en la superficie de matorral, suelo, agua, riego semi, agricultura de temporal, agricultura de temporal semi, invernaderos, y zona urbana. Se redujo la superficie de selva (40%), riego anual (33.3%), y pastizal (29.77%). La superficie de bosque se mantuvo prácticamente igual, solo se redujo un 0.10%. Desde el 2002 al 2022 la selva ha crecido sobre el bosque un total de 50,436.3

hectáreas, mientras que el bosque ha crecido 32,123.5 ha sobre la selva y la selva ha crecido 37,889.6 hectáreas sobre los matorrales. Estos datos se pueden apreciar en el grafo, en donde la anchura de las flechas representa una mayor cantidad de hectáreas involucradas en el cambio de suelo.

La agricultura de riego anual semipermanente reconocida en los sitios de entrenamiento como huertas de aguacate creció de 2002 a 2022 en 17,679.23 de las que 9,836.76 hectáreas (55.6%) avanzaron sobre vegetación forestal integrada por bosques templados, selva baja caducifolia y matorrales, es decir sí hubo deforestación.

Los invernaderos crecieron de 2002 a 2022 en 6,085.04 hectáreas de las cuáles 4,784.05 hectáreas crecieron sobre áreas ya intervenidas como suelo desnudo, riego anual y agricultura de temporal, destacando que 1,103 hectáreas de riego se convirtieron a invernadero mientras que 1,617 hectáreas provienen de agricultura de temporal anual.

En cuanto al agave, reconocido en los sitios de entrenamiento como Agricultura de Temporal Anual Semipermanente, se observa un aumento de 18,099.64 hectáreas en 2002 a 19,845.84 hectáreas en 2022. Aunque la diferencia en superficie no es significativa, cabe destacar que el agave ha experimentado una reubicación notable, concentrándose principalmente en el municipio de San Gabriel, en la región conocida en el libro de Juan Rulfo como el Llano en llamas, donde ha sustituido 7,822.60 hectáreas de pastizales naturales.

## 4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto

### 4.1 Aprendizajes profesionales

#### **Montserrat Ortiz Pontes:**

El enfoque multidisciplinario del proyecto fue, a mi parecer, una parte crucial al momento de desarrollar competencias necesarias para cualquier profesión. Los aprendizajes más importantes fueron la capacidad para colaborar como profesionales de distintas disciplinas al momento de integrar los conocimientos propios de cada carrera, así como la importancia de considerar las dimensiones sociales en la implementación de prácticas agrícolas.

#### **Marian Michelle Romo Martínez**

De manera general, el PAP al ser multidisciplinario fue fundamental en la integración de conocimientos debido a las diversas disciplinas, ha sido una experiencia enriquecedora que ha dejado una marca significativa en mi crecimiento profesional y personal. Encontré que la flexibilidad y la capacidad de adaptación son competencias cruciales en entornos multidisciplinarios, ya que las soluciones no siempre son evidentes y requieren un enfoque innovador.

#### **Claudia Celeste Castillejos Jáuregui**

El aprendizaje más importante dentro del contexto fue como entre cultivos tiene diferentes formas de distribución. Nos dimos cuenta de que la mayoría de nuestros cultivos son enviados a varios países principalmente en Estados Unidos. Los saberes que he puesto a prueba en el proyecto fue analizar las imágenes satelitales y acerca las matrices de cambio para después analizar el cambio de uso de suelo que se ha presentado durante el paso del tiempo.

#### **Rodolfo de Jesús López Álvarez**

Ya que mi carrera es ingeniería en sistemas computacionales, los aprendizajes profesionales con los que me quedo son más orientados a programas específicos que se utilizaron en el

transcurso de este Proyecto de Aplicación Profesional, el aprender a utilizar QGIS fue algo nuevo e interesante sin duda, ya que nunca había tenido un acercamiento al procesamiento y análisis de imágenes satelitales. Considero que el tener conocimiento sobre este ámbito y este tipo de herramientas brindan un enriquecimiento general y podrían ser de gran ventaja en un futuro en relación con la ingeniería en sistemas.

### **María Guadalupe Toledo Valadez**

El trabajo colaborativo con mis compañeros de diversas ingenierías y mis profesores capacitados en el tema me permitió aproximarme a conocimientos técnicos mediante el uso de herramientas avanzadas como QGIS, Google Earth Pro y Google Earth Engine. De esta experiencia, concluyo que la comprensión que adquirí sobre la aplicación de machine learning y modelos de predicción en el procesamiento de imágenes satelitales, específicamente con Landsat 7 y 8, son habilidades que se pueden desarrollar para el trabajo y gestión de proyectos tecnológicos con un enfoque ambiental. También soy consciente del desafío que me implica desarrollar aún más estas capacidades profesionalmente para proyectos similares en el futuro. La gestión de flujos de trabajo, el manejo de datos provenientes de fuentes confiables y la capacidad de explicarlos son aspectos que considero valiosos para la gestión de proyectos tecnológicos.

### **Ana Rosaura Zamarrón Álvarez**

Este proyecto me ha ayudado a profundizar en aspectos clave de mi carrera, Ingeniería y Ciencia de datos, ampliando mis conocimientos en el análisis de imágenes satelitales y en el uso del aprendizaje automático en los sistemas de información geográfica. Los SIG son muy importantes en la ciencia de datos porque integran la dimensión espacial en el análisis y la interpretación de los datos; es por eso por lo que este proyecto fue muy valioso para mi perfil profesional.

### **Fernando Vázquez Ibarra**

En lo personal creo que desde el principio me di cuenta de que yo era la persona menos preparada para el PAP. Este PAP fue un reto anormal para mí ya que me tocó convivir con gente de otras carreras las cuales a lo largo de mi carrera nunca tuve mucha interacción, sin embargo, esto me ayuda a fortalecerme ya que una persona tiene que saber de todo y este PAP me reto salirme de mi zona de confort para lograr terminarlo.

A lo largo del semestre aprendí procesar imágenes satelitales, lo cual es algo que nunca en mi vida creí manejar, también reforcé y aplique mis conocimientos de machine learning. Esto es valioso para mí y mi vida profesional ya que “la liebre salta hacia uno menos se lo espera” y este PAP me aventó un cubetazo de incierta realidad a la que me afrontare el día de mañana. Agradezco la trayectoria y los conocimientos obtenidos que para mí representan una preparación mi vida profesional.

### **César Raúl Palomino Escobedo**

Por la parte profesional este PAP me sirvió para perfeccionar las áreas de programación con inteligencia artificial que en el caso de la materia se queda bastante pobre, así también como el uso de nuevas tecnologías al yo ser el encargado de la programación y obtención de resultados utilizando Google Earth Engine, por la parte multidisciplinaria fue de mucha ayuda conocer las áreas de estudios proporcionadas por el profesor Max Bautista porque sin ese conocimiento no se podría hacer dicho entrenamiento para obtener los resultados deseados, ya que carezco de conocimiento de los uso de suelo y de la zona sur en general, sin duda los aprendizajes obtenidos en el PAP me ayudaran para ampliar mis conocimientos y hacer portafolio para futuras ofertas de trabajo ya que el área de inteligencia artificial tiene un claro crecimiento como área de trabajo tanto para investigación como para uso comercial.

## 4.2 Aprendizajes sociales

La aplicación profesional colaborativa en el ámbito social tuvo un impacto significativo y multifacético al emplear teledetección y Sistemas de Información Geográfica para analizar cambios en el uso del suelo en el sur de Jalisco. Esta iniciativa demostró creatividad e innovación al abordar problemas ambientales y sociales complejos con tecnologías avanzadas. El espíritu emprendedor se evidenció en la planificación y ejecución de un proyecto destinado a mejorar la calidad de vida social al comprender y abordar los desafíos en el uso del suelo en la región.

Se adquirieron habilidades sólidas para la preparación, dirección y evaluación de proyectos, con un enfoque claro en la mejora social. La capacidad de tomar decisiones informadas se desarrolló a lo largo del proyecto, desde la descarga de imágenes satelitales hasta la evaluación de los resultados clasificatorios. La innovación social se manifestó en la identificación de 14 clases prioritarias para comprender la dinámica del agroextractivismo, permitiendo un análisis más preciso de la interacción entre los usos del suelo y los ecosistemas.

Los impactos de la aplicación profesional se evidenciaron en la identificación y cuantificación de cambios en el uso del suelo, proporcionando evidencia concreta de la evolución en la región. Algunos impactos eran esperados, como la mejora en la comprensión de los patrones de uso del suelo a lo largo del tiempo, mientras que otros resultaron sorprendentes, revelando aspectos no previstos inicialmente.

El proyecto benefició directamente a comunidades locales al proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en torno al uso sostenible del suelo. Nuestros servicios profesionales generaron bienes de carácter público al ofrecer datos accesibles y comprensibles sobre la dinámica del suelo. Además, pueden contribuir al mejoramiento de la economía local al respaldar decisiones informadas sobre el uso agrícola y la planificación

urbana. La combinación de teledetección y SIG es transferible a otros contextos, permitiendo abordar problemas medioambientales y sociales.

El seguimiento a la aportación social del proyecto puede mantenerse mediante la vigilancia continuada del uso del suelo y la colaboración constante con las comunidades locales, mientras que la experiencia transformó la visión del equipo sobre la capacidad de la tecnología para catalizar un cambio positivo en la sociedad.

#### 4.3 Aprendizajes éticos

##### **Colectiva:**

Durante la experiencia profesional del PAP, las principales decisiones que se tomaron fueron centradas en la aplicación de tecnologías innovadoras, como la teledetección y SIG, para abordar desafíos ambientales y sociales. Estas decisiones se basaron en la necesidad de utilizar herramientas avanzadas y creativas para comprender y abordar problemáticas complejas. Las consecuencias fueron la identificación de cambios en el uso del suelo, la generación de información valiosa para la toma de decisiones y la contribución al entendimiento de dinámicas socioambientales.

Esta experiencia nos lleva hacia un compromiso continuo con la aplicación de conocimientos y tecnologías en la resolución de problemas ambientales y sociales. La vivencia del PAP nos invita a seguir explorando enfoques innovadores y tecnológicos para contribuir al bienestar de la sociedad y al manejo sostenible del entorno.

##### **Montserrat Ortiz Pontes:**

A nivel personal, el PAP me ha proporcionado un conocimiento más profundo sobre mis habilidades para aplicar la teledetección y SIG en proyectos prácticos. Además,

me ha dado la oportunidad de conocer y reconocer las complejidades de la sociedad y las interacciones entre las actividades humanas y el entorno natural.

El PAP ha sido fundamental para mi proyecto de vida al enseñarme a aplicar mis conocimientos de manera práctica y significativa. He aprendido la importancia de combinar la teoría con la acción y la necesidad de abordar los desafíos ambientales de manera integral.

### **Claudia Celeste Castillejos Jáuregui**

Desde mi perspectiva, el proyecto final fue altamente gratificante. La utilización de imágenes satelitales demostró ser especialmente relevante para mi campo profesional, donde el manejo de datos ocupa un lugar central en la elaboración de proyectos de cualquier índole. Incorporar este tipo de conocimiento en mi formación ha aportado un valor sustancial y práctico. Entre las actividades del PAP, destaco la visita de campo como una experiencia sumamente enriquecedora. Este enfoque práctico no solo amplió nuestra comprensión más allá del ámbito del software, sino que también nos permitió observar directamente los ecosistemas que estábamos estudiando y clasificando. La conexión entre la teoría y la realidad se fortaleció, proporcionando una perspectiva completa y aplicada a nuestro aprendizaje, lo cual considero fundamental para mi crecimiento profesional.

### **Marian Michelle Romo Martínez**

Mis conocimientos a lo largo del PAP fueron puestos a prueba de manera constante a lo largo del proyecto, he adquirido una mayor conciencia de la importancia de considerar no solo los aspectos técnicos de mi profesión, sino también su impacto social y ambiental. A nivel personal, esta experiencia fortaleció mi compromiso con la ética profesional y la responsabilidad en el manejo de la información y la toma de decisiones.

### **Rodolfo de Jesús López Álvarez**

Este proyecto como tal va dirigido hacia un bien común y una ganancia general ya que la preservación del agua y la restauración de zonas naturales es vital hoy en día y en un futuro. Al estar involucrado en este proyecto aprendí más sobre el entorno en el que estamos y el trasfondo que hay en cuanto a problemas y abusos que han existido gracias a distintas instituciones y distintas situaciones.

### **María Guadalupe Toledo Valadez**

Mi reflexión ética se fundamenta en las ideas de Aldo Leopold, un estadounidense destacado en la ética de la tierra (1887-1948) que consideraba que para que exista una posibilidad evolutiva se requiere fomentar un pensamiento ecológico y abandonar la mirada antropocéntrica. Este proceso implica un profundo respeto por la naturaleza, limitándonos como seres humanos en nuestras acciones para preservar a los demás. Para regular esta relación, según Leopold se tiene que trabajar por aumentar el sistema de protección de las áreas naturales. Partiendo de esta postura, existe una invitación al cambio sobre el agroextractivismo en Jalisco de cultivos de aguacate, berries y agave, ya que, en la reflexión ética, asumimos responsabilidades y renunciamos al libertinaje, reconociendo el derecho a existir y la obligación de regenerar los daños causados.

La interconexión de los ecosistemas se hace evidente al contemplar cómo el agroextractivismo a gran escala puede perturbar el equilibrio ecológico natural. También Leopold reconocía que hemos causado daño a la naturaleza debido a la combinación de la sobrepoblación y la eficacia de las herramientas y si él pudiera presenciar los desafíos ambientales actuales, es probable que se pronunciara en contra del agroextractivismo y buscaría soluciones viables. Para concluir, considero que la conciencia ecológica se manifiesta cuando el ser humano amplía su conciencia social hacia la tierra, abandonando la percepción de esta como de su propiedad y comenzando a tratarla como una comunidad a la que pertenece, al asumir la responsabilidad de nuestro trato hacia la tierra y su conservación.

### **Ana Rosaura Zamarrón Álvarez**

En este PAP aprendí que hay muchos conflictos ambientales y sociales provocados por el agroextractivismo en la producción de agave, berries, y aguacate. Gracias a las herramientas tecnológicas que usamos logramos ver la dimensión del problema al saber exactamente los porcentajes del cambio de uso de suelo en el sur de Jalisco. La magnitud del problema es grande y más personas deberían de estar informadas al respecto.

### **César Raúl Palomino Escobedo**

Por mi parte yo tengo familiares cercanos que trabajan en la industria tequilera (tanto en el consejo regulador del tequila como en empresas importantes) y sé que por mano propia el problema de la regulación del agave es un problema grave que inclusive afecta a dichas empresas, los resultados obtenidos deberían aplicarse no para denigrar o afectar a dichas empresas, sino más bien para buscar practicas sustentables y eficaces para la obtención de materia prima sin afectar el medio ambiente, cosa que varias empresas aplican.

### **Fernando Vázquez Ibarra**

Durante este último semestre he aprendido a que no vinimos al mundo a cambiarlo sino a entenderlo. Viendo la manera injusta en la que se maneja este y otros sectores me queda claro que yo solo no podré cambiar al mundo, sin embargo, aunque no pueda hacerlo, puedo generar un bien en la vida de las personas a las que me rodean. Probablemente no pueda cambiar la manera injusta en la que la riqueza se distribuya, ni lograr generar una economía justa, pero sí creo poder crear un negocio que practique y fomente estas buenas prácticas.

#### 4.4 Aprendizajes en lo personal

##### **Montserrat Ortiz Pontes:**

El PAP ha concedido valiosas lecciones en mi vida al proporcionar no solo conocimientos técnicos y habilidades profesionales, sino también lecciones valiosas sobre comprensión social y convivencia en la diversidad. La colaboración con profesionales de diferentes disciplinas y la necesidad de considerar aspectos económicos, ambientales y sociales han fomentado la apertura a perspectivas diversas. La gestión de la pluralidad en ideas y enfoques ha fortalecido mi habilidad para trabajar en equipo, valorando la diversidad como una fuente de enriquecimiento y creatividad. Estas experiencias se traducen en aprendizajes que orientan y enriquecen mi proyecto de vida profesional y personal.

##### **Claudia Celeste Castillejos Jáuregui**

Considero que el Proyecto de Aplicación Profesional (PAP) se presenta como una herramienta esencial para explorar y comprender las habilidades de mis compañeros en relación con la carrera que están cursando. A lo largo de las clases, he experimentado un respaldo constante tanto por parte de los profesores como de mis compañeros, lo cual ha contribuido significativamente a mi desarrollo personal.

##### **Marian Michelle Romo Martínez**

La colaboración interdisciplinaria me ha permitido reconocer la importancia de considerar diversas perspectivas y entender cómo las decisiones profesionales pueden afectar a comunidades y el medio ambiente. He desarrollado una conciencia más profunda de la responsabilidad social relacionada a mi profesión y cómo mi trabajo puede contribuir al bienestar colectivo. El aprendizaje sobre convivencia en la pluralidad y la diversidad ha sido uno de los aspectos más enriquecedores del PAP.

### **Rodolfo de Jesús López Álvarez**

Este proyecto me permitió tener un acercamiento a temas ambientales y conocer la importancia de estos. Durante este periodo conocí la importancia de colaborar con estudiantes de distintas disciplinas que cuentan con distintos conocimientos, creo que esto fue de gran ayuda para mí y para el proyecto también ya que se crea un aura de conocimiento más completa y más enriquecedora.

### **María Guadalupe Toledo Valadez**

El trabajo en favor del medio ambiente es complicado, ya que los intereses económicos, las diversas formas de defender a la naturaleza y la convivencia de las personas con estos espacios son difíciles de abordar o llegar a un acuerdo de paz. Considero de suma importancia este tipo de proyectos y su metodología a favor del medio ambiente, pero reconozco que aún hay mucho camino por recorrer. Solo quiero creer que existirán proyectos, activismo y leyes para que se respete esto, manteniendo la esperanza de que México y el mundo detengan el abuso ambiental y haya una conciencia universal al respecto. Por eso, es algo que seguiré respaldando y siempre que pueda aportar algo desde el ámbito en el que me desenvuelvo, lo haré.

### **Ana Rosaura Zamarrón Álvarez**

Este PAP me ha permitido reflexionar sobre los problemas ambientales, económicas, y sociales que existen en el sector agrícola en Jalisco y me ha permitido empatizar con las personas afectadas a causa de ello. También he reflexionado sobre lo útil que es mi carrera para entender e intentar resolver problemas tanto sociales como ambientales. Por otro lado, obtuve conocimientos tecnológicos que son muy valiosos para mi perfil académico y profesional.

### **César Raúl Palomino Escobedo**

Aunque en el pasado yo había cursado materias donde tenía que trabajar con compañeros de otras carreras con el objetivo de lograr un objetivo, esta vez a diferencia de otras ocasiones no hubo conflictos que nos obstaculizaran y que afectaras dicho trabajo, en general considero que a diferencia de aquellas ocasiones tanto los compañeros como los profesores nos apoyamos en cualquier cosa que se necesitara.

### **Miguel Helú Pérez**

Solemos vivir nuestro día a día con mucha cotidianidad, no nos damos la oportunidad de reflexionar de las decisiones que tomamos como consumidores todos los días. No analizamos como puede repercutir de forma positiva o negativa los productos que consumimos. Como estos benefician y afectan las vidas de otras personas, regiones, economías y culturas. Este PAP me hizo reflexionar sobre la importancia de ser cognitivos con nuestro entorno, entender y adéntranos en el origen de lo que consumimos. Crecimos en una cultura rica en biodiversidad, alimentos y fauna por ser mexicanos. Pero no comprendemos como ciudadanos el hecho de que un simple fruto o vegetal pueden estar terminando con miles y millones de hectáreas de tierra.

Nuestro PAP nos ha brindado información cuantitativa sobre la realidad de los ecosistemas de la región del Sur de Jalisco. Y específicamente como la industria agrícola de los berries, aguacate y agave. Están afectando desde los más pequeños, microorganismos o insectos hasta los más grandes como puede ser un cuerpo de agua de millones de metros cúbicos. Nos han hecho reflexionar como un lago o presa pueden estar perdiéndose por un simple fruto con una alta demanda en el mercado. Para ser consumidores responsables, debemos fomentar al cuidado del medio ambiente, buscar fortalecer a las personas locales para crear economías circulares y entender el papel que juegan todos los actores detrás una caja de fresas frescas en el supermercado. Hay locales, extranjeros, ecosistemas, agrónomos, financieros, jornaleros, corporaciones, firmas legales, gobiernos, impuestos, millones de litros de agua, contaminación, pesticidas, plagas de insectos, bacterias, inversiones y mucho

más detrás de todo lo que nos aguarda en el supermercado listos y fresco para ser llevados a casa por un consumidor.

**Fernando Vázquez Ibarra**

Creo que este PAP me ayudo a darme cuenta de que en mi vida me encontraré con gente de todo tipo, gente que me caiga bien, gente que no, gente con la cual se me facilite convivir, gente con la que no... y esto no es algo que deba preocuparme, sino que como me enseñó el PAP aprender a trabajar en equipo, sacando lo mejor de cada uno de los miembros de un equipo para generar resultados de cualquier actividad realizada.

## 5. Conclusiones

En conclusión, la situación agrícola en Jalisco, México, revela un escenario complejo marcado por el agroextractivismo, especialmente en cultivos como aguacate, berries y agave. Este modelo, aunque ha impulsado el crecimiento económico y la expansión de la frontera agrícola, conlleva una serie de desafíos interconectados en los ámbitos económico, social y ambiental.

La sobreexplotación del suelo, la deforestación y la pérdida de ecosistemas asociadas a la expansión agrícola, particularmente en el caso del aguacate, ilustran los impactos ambientales negativos. Además, la industrialización y la demanda internacional, ejemplificadas en el caso del tequila, han generado prácticas agroextractivistas que crean oligopolios, limitando el acceso de pequeñas empresas al mercado y contribuyendo a desigualdades económicas.

A pesar de generar empleo y divisas, el modelo agroextractivista basado en el agave también ha desencadenado una serie de problemas ambientales, desde la deforestación hasta la contaminación del suelo, agua y aire. Estos desafíos ambientales se suman a las desigualdades sociales, ya que este modelo tiende a concentrar la riqueza y limitar las oportunidades para pequeñas empresas y agricultores locales.

La introducción de la teledetección en el análisis del cambio en el uso del suelo en la región Sur de Jalisco representa un paso significativo hacia la comprensión y monitoreo de estos fenómenos. La utilización de imágenes satelitales, como Landsat 7 y 8, y la combinación con Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen una herramienta valiosa para evaluar y abordar los impactos del agroextractivismo en la región.

En resumen, existe la necesidad urgente de abordar estos desafíos de manera integral, considerando no solo la rentabilidad económica, sino también la sostenibilidad ambiental y la equidad social. La implementación de prácticas agrícolas sostenibles, la diversificación de

la economía agrícola y el compromiso con la responsabilidad social y ambiental son esenciales para lograr un desarrollo equitativo y sostenible en la región de Jalisco.

De la percepción de los productores entrevistados se puede concluir que observan claramente que hay una interconexión entre la producción agrícola, la conservación ambiental y las preocupaciones sociales particularmente en Ciudad Guzmán, con desafíos que incluyen la gestión del agua, el impacto ambiental de los cultivos y la necesidad de políticas que promuevan la equidad y la sostenibilidad y la preservación de tradiciones agrícolas frente al agroextractivismo.

## 6. Bibliografía

- “Bandas Del Landsat 8: Funcionamiento Y Combinaciones.” *Eos.com*, 18 June 2021, eos.com/es/blog/bandas-landsat-8/. International Trade Centre (ITC). “Trade Map - Trade Statistics for International Business Development.” *Trademap.org*, 2023, [www.trademap.org/Index.aspx](http://www.trademap.org/Index.aspx).
- Agave tequilero: el difícil camino a la sustentabilidad. (2023, May 14). *Brunoticias*. <https://brunoticias.com/agave-tequilero-dificil-camino-sustentabilidad/>
- Aguacates, frescos o secos. Product Trade, Exporters and Importers | Observatorio de Complejidad Económica. (s. f.). <https://oec.world/es/profile/hs/avocados-fresh-or-dried>
- Bento, C. (2021, September 30). *Multilayer Perceptron explained with a real-life example and python code: Sentiment Analysis*. Medium. <https://towardsdatascience.com/multilayer-perceptron-explained-with-a-real-life-example-and-python-code-sentiment-analysis-cb408ee93141>
- Blueberries Around the Globe – Past, Present, and Future* | USDA Foreign Agricultural Service. (2021, October 21). Fas.usda.gov. <https://fas.usda.gov/data/blueberries-around-globe-past-present-and-future>
- Braulio Carbajal y Juan Carlos Partida, E. y. C. (2022, July 6). *Graves daños en el ambiente por el cultivo extensivo de “berries.”* La Jornada. <https://www.jornada.com.mx/notas/2022/07/06/recursos/graves-danos-en-el-ambiente-por-el-cultivo-extensivo-de-berries/>
- Buitrago, B. (2020, September 22). *Redes Neuronales - Perceptrón Multicapa I*. Medium. <https://medium.com/iwannabedatadriven/redes-neuronales-perceptr%C3%B3n-multicapa-i-d8c05a88857e>
- Cardellino, F. (2021, March 22). *Tutorial para un clasificador basado en bosques aleatorios: cómo utilizar algoritmos basados en árboles para el aprendizaje automático*. freecodecamp.org. <https://www.freecodecamp.org/espanol/news/random-forest-classifier-tutorial-how-to-use-tree-based-algorithms-for-machine-learning/>

Caribe, C. E. P. A. L. Y. E. (2022, 31 mayo). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47904-Lo-rural-lo-urbano-Mexico>. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47904-lo-rural-lo-urbano-mexico-nueva-caracterizacion-partir-estadisticas-nacionales>

Chuvieco, E. (2010). Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Ariel Ciencia

Colín, S., Oviedo, P., López-López, L., & Barrientos-Priego, A. (n.d.). *HISTORIA DEL A GUACATE EN MÉXICO*. [https://www.avocadosource.com/journals/cictamex/cictamex\\_1998-2001/cictamex\\_1998-2001\\_pg\\_171-187.pdf](https://www.avocadosource.com/journals/cictamex/cictamex_1998-2001/cictamex_1998-2001_pg_171-187.pdf)

Conabio. (2021). Bosques Templados | Biodiversidad mexicana. Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bosqueTemplado>

Conabio. (2022). Pastizales Biodiversidad mexicana. Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/pastizales>

Cuenca hidrológica Laguna de Sayula B Humedales, informe técnico. (2019). INEGI.ORG.MX. Recuperado 20 de noviembre de 2023, de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825188443.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825188443.pdf)

Cuerpos de agua – agua.org.mx. (2023, 8 agosto). Agua.org.mx. <https://agua.org.mx/cuerpos-de-agua/>

de cartografía. Uso del suelo y vegetación.

[https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/usosuelo/metadatos/guia\\_int\\_erusosuelov.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/usosuelo/metadatos/guia_int_erusosuelov.pdf)

de cartografía. Uso del suelo y vegetación.

[https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/usosuelo/metadatos/guia\\_int\\_erusosuelov.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/usosuelo/metadatos/guia_int_erusosuelov.pdf)

de cartografía. Uso del suelo y vegetación.

[https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/usosuelo/metadatos/guia\\_int\\_erusosuelov.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/usosuelo/metadatos/guia_int_erusosuelov.pdf)

- Del Castillo, A. (2020, 12 abril). Nevado de colima: Salvar un bosque con la ayuda de las comunidades. Verdebandera. <https://verdebandera.mx/nevado-de-colima-salvar-un-bosque-con-la-ayuda-de-las-comunidades/>
- Díaz Castellanos, R. (2021). mercado mundial de aguacate: 60 años del liderazgo de El aguacate, joya y fruto de México para el mundo. (2023, febrero 10). Unilever Food Solutions. <https://www.unileverfoodsolutions.com.mx/tendencias/de-mexico-para-el-mundo/ingredientes/el-aguacate.html>
- El clima de la selva baja caducifolia en México. (s. f.). scielo.org.mx. Recuperado 20 de noviembre de 2023, de <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n39/n39a3.pdf>
- El Economista. (2023). Se desploma el precio del agave azul. *El Economista*. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Se-Desploma-el-precio-del-Agave-Azul-20230705-0036.html>
- Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. (2023, 31 agosto). Gobierno de México. Recuperado 20 de noviembre de 2023, de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Temporal Tecnificado. (2021, 1 enero). Comisión Nacional del Agua. Recuperado 20 de noviembre de 2023, de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/SGIH-1-23%20Estad%20C3%ADsticas%20Agr%20C3%ADcolas%20de%20los%20Distritos%20de%20Temporal%20Tecnificado%202021-2022.pdf>
- Gephi | EduTools. (s. f.). <https://edutools.tec.mx/es/colecciones/tecnologias/gephi>
- Hernández, E. (2023, April 24). *Berries Superan a la cerveza y el tequila: Son El Alimento mexicano con más ventas al mundo*. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/berries-superan-a-la-cerveza-y-el-tequila-son-el-alimento-mexicano-con-mas-ventas-al-mundo/>
- Housni, F. E., Lares-Michel, M., Aguilera-Cervantes, V. G., Guízar Mateos, I., Bracamontes Del Toro, H., & Michel Nava, R. M. (2018). Impact of berries production on the eating behavior in a population of Jalisco, Mexico / Impacto de la producción de berries

- sobre el comportamiento alimentario en una población de Jalisco, México. *Revista Mexicana de trastornos alimentarios [Mexican journal of eating disorders]*, 9(1), 11–23. <https://doi.org/10.22201/fesi.20071523e.2018.1.463>
- Intelaplite. (2017, 28 agosto). MOLUSCE de QGIS. INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL TERRITORIO. <https://intelaplite.wordpress.com/2017/08/28/molusce-de-qgis/>
- María Elena Galindo-Tovar, Amaury M. Arzate-Fernández, Nisao Ogata-Aguilar, and Ivonne Landero-Torres "The Avocado (*Persea Americana*, Lauraceae) Crop in Mesoamerica: 10,000 Years of History," *Harvard Papers in Botany* 12(2), 325-334, (1 December 2007).
- Matriz de confusión — Aprendizaje automático — DATA SCIENCE*. (n.d.). Datascience.eu. Retrieved November 27, 2023, from <https://datascience.eu/es/aprendizaje-automatico/matriz-de-confusion/>
- Medios, C. (2023, October 4). *Crece la exportación de berries, aguacate y tequila*. El Informador :: Noticias de Jalisco, México, Deportes & Entretenimiento. <https://www.informador.mx/economia/Crece-la-exportacion-de-berries-aguacate-y-tequila-20231004-0019.html>
- México - Características del entorno urbano y localidad. (2023, 28 marzo). <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/331#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20el%20Marco%20Geoestad%C3%ADstico,el%20lugar%20donde%20se%20asientan>
- México SE Posiciona Como el Segundo Productor Mundial de Berries*. Chilealimentos. (2023, July 2). <https://chilealimentos.com/mexico-se-posiciona-como-el-segundo-productor-mundial-de-berries/>
- México y su impacto en la próxima década. *The Anáhuac Journal*, 21(2), 12–49. <https://doi.org/10.36105/theanahuacjour.2021v21n2.01>
- N+. (2023). Sobreproducción de agave para tequila en México enciende alertas climáticas. N+. <https://www.nmas.com.mx/nacional/agave-para-tequila-en-mexico-enciende-alertas-sobreproduccion-activa-crisis-climatica>

Noguez, R. (2023, July 25). *Industria tequilera certifica sus agaves para evitar mayor impacto ambiental*. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/industria-tequilera-certifica-sus-agaves-para-evitar-mayor-impacto-ambiental/>

ORDENAMIENTO. (s. f.).

<https://siga.jalisco.gob.mx/moet/subsistemaproductivo/Pecuario/forraje.htm>

Perceptrón Multicapa. (2023, August 4). <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=networks-multilayer-perceptron>

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (2020, 23 marzo). Importancia de los Ecosistemas Forestales. [www.gob.mx](http://www.gob.mx). Recuperado 20 de noviembre de 2023, de <https://www.gob.mx/profepa/articulos/importancia-de-los-ecosistemas-forestales-especies-de-los-bosques-y-selvas?idiom=es>

PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLOGICO REGIONAL DE LA JUNTA INTERMUNICIPAL DE LA CUENCA DEL RIO COAHUAYANA Y DOS MUNICIPIOS DE LA REGION SURESTE DEL ESTADO DE JALISCO. (2015, 16 diciembre). SEMADET JALISCO. Recuperado 20 de noviembre de 2023, de [https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/6\\_caracterizacion\\_0\\_3.2\\_jirco.pdf](https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/6_caracterizacion_0_3.2_jirco.pdf)

Reporte Anual, restringida, O. P., de instrumento, N. T., extranjera:, A. E., Caso, N. E. su, & la dependencia parcial o total:, D. (2022). *[411000-AR] Datos generales - Reporte Anual*. [Com.mx](http://www.cuervo.com.mx). Recuperado el 16 de octubre de 2023, de <https://www.cuervo.com.mx/documents/informes-anales/2022/Reporte%20Anual%20Becl%20es%20-%20XBRL.pdf>

Reyes, L. (2017, November 16). Seguridad en la movilización del agave. *Casasauza.com*. <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/seguridad-movilizacion-agave>

Ricardo. (2023, 17 junio). ¿Cómo funciona un sistema de riego para invernaderos? - Cobosa. Cobosa. <https://www.cobosa.com.mx/riego-invernaderos/#:~:text=Un%20invernadero%20es%20una%20estructura,producci%C3%B3n%20durante%20todo%20el%20a%C3%B1o.>

- Rodríguez Contreras, F. E., Martínez Rivera, L. M., & Palomera García, C. (2017). Contextualización socioambiental del agave en Tonaya, Jalisco, México. *región y sociedad*, 29(70), 71–102. <https://doi.org/10.22198/rys.2017.70.a406>
- RPubs - Random Forest. (n.d.). Rpubs.com. Retrieved November 29, 2023, from <https://rpubs.com/jigbadouin/randomforest1>
- Rubiales, E. (n.d.). *Kappa de Cohen – SAMIUC*. <https://www.samiuc.es/estadisticas-variables-binarias/medidas-de-concordancia/kappa-de-cohen/>
- Saura, S. L. (2023, 27 septiembre). Invernaderos: qué son y para qué tipos de cultivo se utilizan. Mundoriego. <https://mundoriego.es/invernaderos-que-son-y-para-que-tipo-de-cultivos-se-utilizan/>
- Secretaría De Agricultura Y Desarrollo Rural (2023) Hoja 1 de 2 Escenario Mensual de Productos Agroalimentarios [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/817517/Aguacate\\_Marzo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/817517/Aguacate_Marzo.pdf)
- Secretaría De Agricultura Y Desarrollo Rural, S. (2022) *Escenario mensual de productos agroalimentarios*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/732618/Aguacate\\_Mayo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/732618/Aguacate_Mayo.pdf)
- Secretaría De Agricultura Y Desarrollo Rural, S. (2023, febrero 11). *Refrenda México liderazgo internacional en producción sustentable y exportación de aguacate*. gov.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/refrenda-mexico-liderazgo-internacional-en-produccion-sustentable-y-exportacion-de-aguacate?idiom=es>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016, 24 octubre). Gobierno de México. Recuperado 20 de noviembre de 2023, de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/tipos-de-cultivo-estacionalidad-y-ciclos#:~:text=Temporal%3A%20La%20producci%C3%B3n%20de%20estos,el%20li m%C3%B3n%20y%20el%20sorgo>
- Secretaría De Medio Ambiente Y Recursos Naturales (2018). Bosques templados de México, riqueza forestal y belleza escénica. gov.mx. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/bosques-templados-de-mexico-riqueza-forestal-y-belleza-escenica>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022). *El tequila ha generado una industria económicamente muy activa*. Gob.Mx. Retrieved November 14, 2023, from <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-tequila-ha-generado-una-industria-economicamente-muy-activa?idiom=es>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022, March 19). *El tequila ha generado una industria económicamente Muy Activa*. gob.mx. <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-tequila-ha-generado-una-industria-economicamente-muy-activa?idiom=es>

Tadeo M, (2019), Principios básicos de la percepción remota, material de curso básico.

Tetreault, D., McCulligh, C., & Lucio, C. (2022). Producción extractiva de agave y tequila en Jalisco, México. In B. M. McKay, A. Alonso-Fradejas, & A. Ezquerro-Cañete (Eds.), *Extractivismo agrario en América Latina* (pp. 305–342). CLACSO. <https://doi.org/10.2307/j.ctv3142tqn.12>

Vegetación hidrófila. (2012, 14 noviembre). Sistema de información bibliotecario de ECOSUR. Recuperado 20 de noviembre de 2023, de <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-authoritiesdetail.pl?authid=8721#:~:text=Los%20principales%20tipos%20de%20esta,promedio%20es%20de%204%20m>

Vegetación. Cuéntame de México. (s. f.-b).

<https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/vegetacion/pastizal.aspx?tema=T>

Zonas relevantes en Jalisco. (s. f.).

<https://siga.jalisco.gob.mx/moet/subsistemanatural/Fauna/sitiosjal.htm>