

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño



Maestría y Doctorado en
Ciencias e Ingeniería



**"ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA VARIACIÓN EN LA COBERTURA
VEGETAL PRESENTE EN LA SUBCUENCA "EL MOGOR", MUNICIPIO DE
ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO"**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para
obtener el grado de

MAESTRA EN INGENIERÍA

Presenta

DANIELA VEGLIANTE ARRIETA

Director de tesis

Dr. ALVARO ALBERTO LÓPEZ LAMBRAÑO

Ensenada, Baja California, octubre del 2019.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD ENSENADA

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LAS VARIACIONES EN LA COBERTURA
VEGETAL PRESENTE EN LA SUBCUENCA "EL MOGOR", MUNICIPIO DE
ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

TESIS

Que para obtener el grado de maestría en ingeniería presenta:


DANIELA VEGLIANTE ARRIETA

Aprobada por:




Dr. Alvaro Alberto López Lambrano

Director de Tesis




M.Sc. Alvaro Alberto López Ramos

Miembro del Comité



Dr. Jorge Octavio Mata Ramirez

Miembro del Comité



M.C. Gustavo Alfonso Rascón Heimpel

Miembro del Comité



Dr. José Juan Villegas León

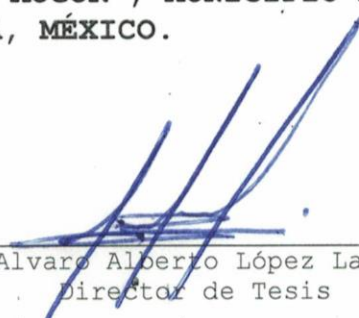
Miembro del Comité

Ensenada, Baja California, octubre del 2019.

Resumen de la tesis de Daniela Vegliante Arrieta, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (MYDCI) de la UABC. Ensenada Baja California, México, octubre del 2019.

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LAS VARIACIONES EN LA COBERTURA VEGETAL PRESENTE EN LA SUBCUENCA "EL MOGOR", MUNICIPIO DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.

Resumen Aprobado por:



Dr. Alvaro Alberto López Lambrano
Director de Tesis

Se presenta el análisis detallado de los cambios espacio temporales de la vegetación presente en la subcuenca "El Mogor", utilizando herramienta de sistemas de información geográfica y sensores remotos para el periodo 2009-2018. Basados en el análisis de imágenes de alta resolución espacial RapidEye y un modelo de elevación tipo LIDAR, se obtuvo los mapas del índice de borde rojo normalizado (NDRE), y los atributos fisiográficos del terreno, para la posterior reclasificación y aplicación del análisis multicriterio, así como la obtención de la tendencia de crecimiento de la vegetación. El análisis multitemporal consistió en el cálculo del NDRE para un total de 87 imágenes que posteriormente fueron comparadas por medio del estadístico Mann Kendall, con el que se registró los cambios anuales, estacionales y mensuales de la cobertura vegetal. Por otra parte, se realizó el análisis espacial que requirió como criterios de decisión la obtención de datos fisiográficos como la pendiente, la orientación de las laderas y la altitud de la cuenca, lo que permitió corroborar una diferencia en la distribución espacial de la vegetación tipo chaparral según la orientación norte o sur de la ladera. Finalmente se procedió a verificar estos resultados en campo con la metodología de transectos de Gentry (1982), para la caracterización y posterior obtención de las especies vegetales con mayor índice de importancia (IVI); de estas se obtuvieron los parámetros ecofisiológicos y ecomorfológicos con los que se pueden hacer modelaciones hidrológicas aplicando el análisis Suelo-Planta-Atmosfera (SVAT) para coberturas vegetales de clima semiárido-mediterráneo con especies similares a las encontradas en el presente trabajo.

Palabras clave: Variación espacio-temporal, Índices de vegetación, Imágenes RapidEye, Cobertura vegetal, SIG, Análisis multicriterio.

DEDICATORIA

A mis padres,

Irma Elena Arrieta Ferrer

y

Esteban Vegliante Vergara

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California, por permitirme ser parte de ella y desarrollarme bajo sus aulas con el apoyo de sus profesores. A la Facultad de Ingeniería, por aceptarme como estudiante y facilitarme los medios para culminar la maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su programa de becas, que sustentó económicamente el trayecto de mi posgrado y que fue esencial para alcanzar este logro.

Al Dr. Alvaro López-Lambraño, por creer en mí y por el apoyo brindado. Gracias por su tiempo, dedicación, consejos de vida, motivación, por ayudarme a realizar mi trabajo de campo, a culminar con éxito mi trabajo de tesis y a obtener el título de maestría.

A mis sinodales, Dr. José Juan Villegas, M.C. Gustavo Alfonso Rascón y Dr. Jorge Octavio Mata. Por ser parte de mi comité, por su tiempo y recomendaciones durante el desarrollo de la tesis.

A Nathalia Badan, por toda su disponibilidad, interés y por permitirme realizar el trabajo de investigación en el rancho El Mogor.

A mis compañeros(as) de posgrado Luisa Elvira Martínez Acosta, Juan Francisco Durango Grisales, Darío Aranda Pérez, Juan Pablo Medrano Barboza, Geraldine Serpa Usta y Ena Del Carmen Gámez Balmaceda; por su compañerismo y conocimientos brindados en este tiempo. .

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	ANTECEDENTES.....	7
3	OBJETIVOS.....	12
3.1	Objetivo general.....	12
3.2	Objetivos específicos.....	12
4	MARCO TEÓRICO.....	14
4.1	Hipótesis.....	15
5	ÁREA DE ESTUDIO.....	17
6	MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
6.1	Atributos fisiográficos del terreno.....	19
6.1.1	Pendiente.....	21
6.1.2	Orientación de laderas.....	22
6.2	Correcciones de imágenes satelitales.....	22
6.2.1	Imágenes RapidEye.....	22
6.2.2	Corrección radiométrica.....	23
6.2.3	Corrección atmosférica.....	23
6.3	Índice Borde Rojo Normalizado (NDRE).....	24
6.4	Análisis multitemporal.....	25
6.5	Análisis de la distribución espacial de la cobertura vegetal en la zona de estudio.....	26
6.5.1	Análisis multicriterio.....	27
6.6	Determinación de las especies vegetales de mayor valor de importancia en el área de estudio.....	30
6.6.1	Muestreo.....	30

6.7 Obtención de parámetros para la modelación hidrológica modelo SVAT

30

7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
7.1	Atributos morfométricos de la subcuenca "El Mogor".....	31
7.2	Obtención del índice de borde rojo normalizado.....	36
7.3	Análisis multitemporal.....	37
7.3.1	Análisis estacional.....	37
7.3.1.1	Época seca.....	39
7.4	Análisis Espacial.....	40
7.5	Composición y estructura florística.....	42
8	CONCLUSIONES.....	45
9	REFERENCIAS.....	47
	ANEXO A. ATRIBUTOS DE LAS IMÁGENES RAPIDEYE.....	55
	ANEXO B. CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES RAPIDEYE UTILIZADAS PARA ESTIMAR LOS CAMBIOS ESPACIO-TEMPORALES DE LA VEGETACIÓN.....	56
	ANEXO C. ESTADÍSTICOS DE LOS VALORES OBTENIDOS DEL ÍNDICE DE BORDE ROJO NORMALIZADO.....	58
	ANEXO D. DESCRIPCIÓN DE LOS RASGOS FÍSICAS DE LAS ESPECIES VEGETALES PRESENTES EN LA SUBCUENCA "EL MOGOR".....	60
	ANEXO E. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DEL ÍNDICE PARA CADA IMAGEN ANALIZADA.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio. Subcuenca "El Mogor", Valle de Guadalupe, Baja California, México.....	18
Figura 2 Diagrama de flujo de la delimitación de las corrientes y obtención de las unidades hidrográficas (Cuenca y subcuencas).	20
Figura 3. Mapa de orientación del terreno de la subcuenca "EL Mogor".....	32
Figura 4. Mapa de distribución de pendientes de la Subcuenca "El Mogor", Baja California, México.....	33
Figura 5 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 26 de abril 2009.....	36
Figura 6 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 14 mayo 2009.....	36
Figura 7 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 14 de julio 2009.....	36
Figura 8 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 24 de septiembre 2009.....	36
Figura 9 Gráfico de frecuencia del valor de NDRE para la imagen satelital con fecha 28 de febrero 2018.....	37
Figura 10. Valor de tendencia del test de Mann-Kendall aplicado en el índice NDRE.....	39
Figura 11. Mapa de coberturas de suelo presente en la subcuenca "El Mogor"; tipos CMN - chaparral montaña norte, CMS- chaparral montaña sur, CCN- chaparral costero norte, CCS- chaparral costero sur.....	40
Figura 12. Efecto de ladera expuesta a mayor cantidad de horas a la radiación. Ladera Norte y Ladera Sur.....	41
Figura 13. Registros fotográficos de especies de plantas encontradas en el sitio de estudio. Fuente: propia, 2018...	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios para la determinación de la composición espacial de la cobertura vegetal presente en la subcuenca "El Mogor"	27
Tabla 2. Valores cualitativos derivados del MDE.....	34
Tabla 3 Cuantificación de la superficie por rangos de pendiente y tipo de terreno.....	35
Tabla 4. Orientación de la pendiente del terreno de la subcuenca "El Mogor".....	35
Tabla 5. Registro de precipitaciones totales para el periodo 2009-2018 de la estación de la estación Valle de Guadalupe.....	38
Tabla 6. Estadísticos de los valores de precipitación.....	38
Tabla 7. Índice de valor de importancia.....	43

1 INTRODUCCIÓN

Las escasas e irregulares precipitaciones anuales de las regiones mediterráneas del mundo, así como los veranos secos y calurosos, la alta demanda de evaporación, y las temperaturas frías de invierno son los principales factores climáticos que influyen en la composición y estructura de la flora exclusiva de estas regiones (Vennetier et al., 2008). La vegetación ha desarrollado estrategias adaptativas para sobrevivir a la poca o nula disponibilidad de agua; desde cambios morfológicos a escala de individuo, hasta asociaciones de organismos de diferentes especies lo que con lleva a la conformación de comunidades que aprovechan eficientemente el recurso y determinan la composición del paisaje (Aydin, Yang, Kurt, & Yano, 2005).

La dinámica del paisaje integra diversos elementos, bióticos y abióticos, que convergen entre ellos y forman un arreglo espacial, tanto vertical como horizontal (Durán & García, 2011). El análisis de la integración de estos elementos ha sido de mucho interés en la aplicación de las herramientas de sensores remotos para caracterizar mediante datos indirectos, la composición del paisaje, por medio de la producción de indicadores espectrales que evidencian las propiedades biofísicas de los objetos en el espacio y en el tiempo (Gómez, 2019). Algunos estudios que se abordan mediante el uso de sensores remotos están relacionados al dinamismo de la cubierta del suelo para evidenciar patrones de respuesta de la vegetación a los cambios fenológicos, a la estimación de biomasa (aérea y radicular), procesos biogeoquímicos como fotosíntesis y captura de carbono (Li, Huffman, McConkey, & Townley-Smith, 2013), la composición estructural de los grupos funcionales de la vegetación para, evidenciar los mecanismos fisiológicos de las especies a través de los cuáles le permiten adaptarse a condiciones

extremas de poca disponibilidad de recursos (suelo y agua) y en general a los efectos del cambio climático (Shoshany, 2000). Adicionalmente, la gama de aplicaciones para las imágenes remotamente obtenidas, se diversifican para obtener datos base de factores abióticos como temperatura, humedad ambiental, dirección y velocidad del viento, lluvia, contenido de gases en la atmósfera, etcétera, los cuáles permiten evidenciar su gradiente y que a través de modelos demuestran que en conjunto con variables del terreno y geomorfológicas, determinan la distribución geográfica de las comunidades bióticas y su dinamismo espacial y temporal. En este sentido, el espacio geográfico puede considerarse como la unidad base para la caracterización de las interrelaciones de los individuos que comparten espacio, tiempo y recursos en un ecosistema (Urquijo & Bocco, 2011).

La aplicación del análisis utilizando herramientas de sensores remotos y sistemas de información geográfica (SIG) abarcan el desarrollo de índices de vegetación (IV). Un índice es un número que cualifica la intensidad de un fenómeno cuando éste es muy complejo para ser descompuesto en parámetros conocidos (Gómez, 2019). Los índices de vegetación son mediciones cuantitativas que indican el verdor de la vegetación y se obtiene de las combinaciones de principalmente dos o tres canales espectrales que amplifican la información espectral de alta importancia para una distinción de diferentes clases de cobertura del suelo. Estos muestran una mejor sensibilidad que las bandas espectrales individuales para la detección de biomasa (Luna toledo, E.S., & Figuerola, 2016), por lo que constituyen un método notable para la detección de cambios en el uso del suelo y evaluación de la densidad de la cobertura vegetal.

Sin embargo, dentro de lo que concierne a la calidad de los datos obtenidos de las imágenes puede arrojar una alta similitud espectral de las clases discriminadas, no obstante, esta problemática se puede abordar mediante la selección de las partes más significativas del espectro de reflectancia, así como, el análisis de imágenes con una resolución espaciales menor.

La mayoría de los índices de vegetación se centran en la región espectral entre el rojo y el infrarrojo cercano, la radiación visible en el rojo (630 - 690nm) es absorbida por la clorofila, mientras la radiación en el infrarrojo cercano (760 - 900nm) es fuertemente reflejada por las estructuras celulares de las hojas. Al examinar la curva de reflectancia general de la vegetación, la diferencia observada entre el rojo y el infrarrojo cercano constituye una variable sensible a la presencia de vegetación verde (Schmidt y Skidmore, 2003). Es por esto que la combinación de estas dos bandas espectrales permite diferenciar vegetación de entre los elementos del suelo, y determinar la biomasa fotosintéticamente activa a través de la densidad de cobertura vegetal (Huete et al., 1985). Algunos sensores (p. Ej., RapidEye, Sentinel-2) tienen canales de borde rojo adicionales entre las partes del espectro rojo e infrarrojo cercano, y varios estudios demostraron el potencial de la información de reflectancia del borde rojo para aumentar las precisiones de clasificación de la cobertura del suelo (Adelabu, Mutanga, & Adam, 2014).

Si bien, los índices derivados de la información capturada por sensores remotos han traído un gran avance a las investigaciones actuales de la dinámica de la vegetación, Troll (1963) afirma que las imágenes aéreas por sí sola no pueden mostrar todas las condiciones de un lugar (por lo que resulta imprescindible la inspección ecológica terrestre) pero sí brinda una amplia imagen

de las asociaciones de plantas, del color del terreno, de las unidades geomorfológicas etc., con la cual se puede conocer o imaginar determinadas relaciones de los factores paisajísticos, que deberán aclararse posteriormente mediante el reconocimiento terrestre.

Llegados a este punto, cabe resaltar la complejidad de la dinámica de los ecosistemas terrestres en el mundo, debido a la dependencia entre la disponibilidad del agua, el clima, las propiedades del suelo y las características de la vegetación (Ivanov, Bras, & Vivoni, 2008). En este contexto, el agua es un factor limitante en el crecimiento y composición de la vegetación (Combourieu-Nebout et al., 2015), y en conjunto con las propiedades del suelo y las variables climáticas controlan su distribución espacial y temporal (Laio, Porporato, Fernandez-Illescas, & Rodriguez-Iturbe, 2001); a su vez, la vegetación es un elemento que determina la cantidad y distribución de la lluvia que llega a la superficie terrestre al asemejarse a una barrera semipermeable que controla el paso de la lluvia (López-Lambraño, Fuentes, González-Sosa, & López-Ramos, 2017), convirtiéndose así en un importante intermediario entre la atmósfera y el suelo (Larcher, 2003).

La mayoría de los modelos hidrológicos pueden representar adecuadamente los procesos dados en el ciclo del agua en una cuenca, sin embargo, suelen considerar la vegetación como un parámetro estático y omiten la mayor parte de las interacciones con la vegetación y la dinámica de la misma; por lo que en las últimas décadas el empleo de modelos Suelo-Planta-Atmósfera (SVAT) ha sido de gran ayuda debido a sus múltiples acercamientos a la simulación real de procesos como la intercepción (Shao, Coenders-Gerrits, Judge, Zeng, & Su, 2018), transpiración (Chebbi et al., 2018) y la sensibilidad de las plantas a la variación de la humedad del suelo

(Loizu et al., 2018), así como la regulación del escurrimiento superficial en grandes cuencas (Galindo, Reynoso, Menes, Granados, & Berber, 2017).

La zona de interés en este estudio corresponde a la subcuenca "El Mogor"; esta área ha recobrado un alto grado de interés para la región mediterránea del estado de Baja California debido a los aportes en el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales (Alcázar Ortega, 2017). Se han registrado su importancia en el ámbito hidrológico (Del Toro-Guerrero, Kretzschmar, & Hinojosa-Corona, 2014), en la conservación de habitats, explotación agropecuaria y turística (Flores Zavala, 2016), así como en el ámbito investigativo (Villarreal Rodríguez, 2012).

La subcuenca es considerada un laboratorio al aire libre debido al aprovechamiento investigativo que se le ha dado a consecuencia de sus características topográficas (Del Toro-Guerrero, Hinojosa-Corona, & Kretzschmar, 2016), a la importancia de las plantas endémicas encontradas (Flores Zavala, 2016), a su aportación a la recarga del acuífero y al cauce principal del arroyo Guadalupe (Del Toro-Guerrero, Vivoni, Kretzschmar, Bullock, & Vázquez-González, 2018).

El área de interés pertenecen al consorcio Mexicano de sitios que emplea la técnica de eddy-covarianza: Mexflux para conocer el comportamiento del flujo del carbono con un periodo de registro de datos climatológicos mayor a 15 años (Villarreal Rodríguez, 2012); a su vez, hace parte del área de ordenamiento del corredor turístico de San Antonio de las minas (Secretaría de protección al ambiente gobierno del estado de Baja California, 2006) y del valle con mayor importancia vitivinícola en México al producir el 95% de los vinos nacionales. Las características climatológicas de tipo semiáridas-

mediterráneas hacen que esta área este propensa a problemas ambientales de escasas hídrica, sequias y desertificación (Del Toro-Guerrero & Gunter Kretzschmar, 2016), agravando la situación la constante exposición a continuos cambios en la cobertura del suelo, provocando consecuencias en la sobreexplotación de los recursos, degradación del suelo y pérdida de cobertura vegetal endémica de la región.

Teniendo en cuenta lo anterior, se optó por la utilización del índice de borde rojo normalizado (NDRE) derivado de la información espectral de las imágenes RapidEye, para un análisis espacio-temporal de las variaciones en la cobertura vegetal presente en la zona de estudio. A su vez se aplicó el índice de valor de importancia (IVI) a partir de datos recolectados en campo, con la finalidad de determinar las especies dominantes en la subcuenca.

Lo anteriormente planteado permitió la obtención de mapas de suelo que son determinantes en los análisis hidrológicos, la delimitación de áreas para el ordenamiento territorial, así como para definir estrategias de mitigación y prevención a problemáticas ambientales como son la escasez hídrica, sequia, los incendios y la desertificación. Se pudo corroborar los cambios estacionales y anuales de la cobertura vegetal mostrando la importancia del análisis a escala de paisaje, y se recopilaron los datos ecomorfológicos de las especies dominantes en la zona de interés necesarios en el análisis hidrológico de un modelo Suelo-Planta-Atmósfera.

2 ANTECEDENTES

En las últimas cuatro décadas, se ha visto un marcado incremento en el desarrollo y uso de índices de vegetación derivados de sensores remotos. El sentido más básico detrás del desarrollo y uso de esos índices, es que algunas combinaciones algebraicas de bandas espectrales detectadas remotamente, pueden revelar información valiosa respecto a la estructura de la vegetación, el estado de la cobertura vegetal, la capacidad fotosintética, distribución y densidad del follaje, deficiencias minerales y da evidencias de enfermedad por plagas (Hmimina, 2013; Kerr y Ostrovsky, 2003).

Los índices de vegetación (IV) permiten distinguir los diferentes tipos de cobertura vegetal gracias a su comportamiento espectral único. Al examinar la curva de reflectancia general de la vegetación, la diferencia observada entre el rojo y el infrarrojo cercano constituye una variable sensible a la presencia de vegetación verde (Schmidt y Skidmore, 2003). Es por esto que la combinación de estas dos bandas espectrales permite diferenciar vegetación de entre los elementos del suelo, y determinar la biomasa fotosintéticamente activa a través de la densidad de cobertura vegetal (Huete et al., 1985).

Rouse et al. (1974) describen por primera vez el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) utilizando observaciones del Earth Resourser Technology Satellite (ERTS-1). Estos autores mostraron que el NDVI es un índice muy sensible a la presencia de vegetación verde. Desde entonces y a la fecha, el NDVI ha sido empleado para describir la dinámica de la cobertura vegetal y es el índice de vegetación más utilizado (Bannari, 1995; Xue y Su, 2017). El NDVI es uno de los

índices de vegetación más utilizados a la hora de estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, por lo que es un indicador clave del estado de la vegetación y un parámetro útil en estudios de cobertura vegetal y ha sido ampliamente utilizado en los estudios de teledetección para reflejar la dinámica regional y global de la vegetación (Wang et al., 2014).

Con el fin de comprender los patrones de la cobertura vegetal en la cuenca del río amarillo en China, Jiang et al. (2015) utilizaron datos de series de tiempo de 11 años, para describir las características de la distribución espacial del NDVI. Encontrando que ciertos tipos de vegetación, como bosques, pastizal inundable y los cultivos tienen un alto valor de NDVI, mientras que los pastos tienen un valor bajo. Posteriormente hacen una descripción general de la cobertura vegetal en la cuenca, señalando a las zonas de mayor altitud como las áreas con valores más altos de NDVI y el efecto contrario en zonas bajas. Mencionan que para el periodo de estudio (2000 a 2010) los valores promedio de NDVI, fluctúan en el rango de 0.3 a 0.4 para toda la cuenca.

Hmimina et al. (2013), describen cambios estacionales de la vegetación en un bosque de robles en Fontainebleau, Francia. Utilizando mediciones de NDVI de satélite e in situ y la definen como fenología. En dicho trabajo describen eventos estacionales, como el brote y senescencia de las hojas y los asocian a los valores para hacer una regionalización de la vegetación de la península, con respecto a los valores promedio de NDVI, una técnica multivariada de K-medias y regionalizaciones previas. Identificando 6 grupos o regiones, para las que describe patrones estacionales y lo relaciona con las comunidades vegetales dominantes para cada grupo. Adicionalmente, realizó un análisis de correlación cruzada entre los datos de series de tiempo y el Índice

de Oscilación del Sur, obteniendo una relación positiva general entre las dos variables.

En el noroeste de México, Salinas (2003) en su tesis de doctorado, evaluó la respuesta de la vegetación a la variabilidad climática, para lo cual utilizó los rendimientos de trigo invernal y el NDVI derivado del sensor AVHRR para el periodo 1981 a 2000, encontrando ocho patrones estacionales asociados a los tipos de vegetación dominante de cada región. También menciona que la variación interanual de los ocho grupos muestra señales armónicas probablemente asociados al fenómeno climático ENSO. Adicionalmente, realizó una correlación entre las series de tiempo de NDVI y un indicador del ENSO, concluyendo que existe una respuesta diferencial, dado que sus resultados mostraron que la relación entre el ENSO y el NDVI es más fuerte y persistente en los patrones de vegetación asociados a la región mediterránea. Finalmente, presenta los resultados derivados de un análisis de probabilidad condicional entre las dos fases del ENSO (cálida-fría) y dos condiciones del NDVI (valores altos-valores bajos), obteniendo que cuando se presenta la fase cálida del ENSO (El Niño) se registran valores elevados de NDVI en la época de estiaje del siguiente año.

Otro índice de vegetación derivado de imágenes multiespectrales, el cual ha sido aplicado con imágenes RapidEye y Sentinel-2 debido a la presencia de sensores que captan la longitud de onda en la que se registra la banda de borde rojo (RedEdge) es el índice de borde rojo normalizado quien Barnes et al. (2000) propusieron por primera vez, al registrar que este índice determinaba con mayor certeza el grado de perturbación de dos cultivos sometidos a estrés por falta de agua y nutrientes.

Posterior a este estudio Gärtner, Förster, & Kleinschmit (2016) se apropian esta técnica para monitorear el grado de afectación que presenta un bosque ribereño a la degradación por la defoliación, en el que los autores recalcan un aumento en la detección de la perturbación de hasta un 48%. Por otra parte, Godinho, Guiomar, & Gil (2017) realizan un monitoreo de la cobertura arbórea en sistemas silvopastoriles semiáridos y áridos, estos autores afirman la importancia de comprender los patrones y tendencias espaciales de la cobertura arbórea. este estudio demostró la utilidad de las bandas espectrales estrechas proporcionadas por el sensor Sentinel-2A para estimar con precisión el CCP del árbol (por ejemplo, Red Edge1 - B5 - para PSRI y NIR2 - B8a - para el cálculo de NDVI).

Por otra parte, la subcuenca "El Mogor" ha sido registrado en diversos trabajos y al hablar en el ámbito de análisis de variables meteorológicos se han adelantado investigación donde se contabilizan y analizan los registros estacionales y espaciales de las variables de evaporación y transpiración, teniendo en cuenta diferentes tipos de cobertura encontrados en la subcuenca, de igual Florez Zavala, (2016) llego a realizar comparaciones de los registros de evapotranspiración real entre dos áreas semiáridas con patrones de precipitación distintos en el que considero el área del Mogor debido a que hace parte de la red de estaciones medidoras del flujo de CO₂ en México (Mexflux); dicho estudio concluye que debido al patrón de lluvia dado en el lugar se registran pérdidas de hasta 77% de las precipitaciones que se registran en el área.

Otro de los estudios realizados con anterioridad por Alcázar Ortega (2017) quien en su trabajo de tesis realiza un análisis de la sustentabilidad que posee el rancho el Mogor como un rancho autosustentable y diversificado, debido a las diversas actividades que en este se realiza; desde aprovechamiento agropecuario, hasta

los usos sociales (restaurante y vinícola) así como la conservación de áreas de vegetación nativa y la cosecha de agua lluvia; dicho trabajo aporta diversas estrategias de manejo sustentable de los recursos que son aprovechados en este lugar a su vez; el autor hace énfasis en la importancia que tiene este modelo de producción diversificada del rancho para que sea aplicado en otras regiones; así como el hecho de que esta área se sigan realizando trabajos de seguimiento que sirvan como evaluación del estado en que se encuentre los diversos indicadores de sustentabilidad.

Finalmente, otro de los estudios que se realizó en la microcuenca fue la determinación del balance hidrológico del año 2010-2011 en el que se analizó de manera superficial las entradas y salidas del sistema, para poder concluir los meses de superávit y déficit de la microcuenca (Del Toro-Guerrero et al., 2014).

Los anteriores trabajos realizados en esta región integran una gran base de datos que pueden ser consolidados para un fin común como es la determinación del balance hidrológico de la microcuenca el Mogor donde se determinen las proporciones reales de todo el subsistema que integran al ciclo hidrológico, analizando los flujos de masas y energía dados en un modelo SVAT y se registra la importancia de la vegetación a escala de paisaje.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- Determinar la dinámica espacio-temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca "El Mogor", B.C., México, aplicando los índices de vegetación derivados de sensores remotos y procesamiento en campo, para la obtención de mapas de cobertura, uso y tipo de suelo utilizados en la gestión del recurso hídrico.

3.2 Objetivos específicos

- Calcular los atributos fisiográficos del terreno, a partir del análisis del modelo digital de elevación (MDE) de la subcuenca "El Mogor" para la realización del análisis multicriterio de la cobertura, uso y tipo de suelo.
- Realizar las correcciones radiométricas y atmosféricas en las imágenes RapidEye (Planet Labs), mediante el algoritmo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes), para garantizar los valores de reflectancia de la información satelital utilizada en la investigación.
- Obtener el índice borde rojo normalizado (NDRE, por sus siglas en inglés) combinando las bandas multiespectrales de las imágenes satelitales, para determinar la distribución espacio-temporal de la cobertura vegetal en la zona de interés.
- Comparar los cambios multitemporales de la cobertura vegetal, analizando la serie de tiempo (anual, mensual y estacional) del índice NDRE, con la finalidad de obtener la tendencia del crecimiento de la vegetación en el área de estudio entre el periodo 2009 -2018.

- Determinar la distribución espacial de la vegetación presente en la zona de interés, mediante la aplicación del análisis multicriterio (AMC) de los atributos fisiográficos y de la información satelital, para la clasificación de la cobertura, uso y tipo de suelo.
- Caracterizar la composición y estructura florística presente en las laderas de la subcuenca "El Mogor", mediante la realización de inventarios por transectos, para la determinación de las especies y estadios dominantes.
- Identificar las especies vegetales dominantes en la zona de estudio, mediante la aplicación del índice de valor de importancia (IVI), para obtener los valores ecomorfológicos y ecofisiológicos utilizados en un modelo SVAT
- Construir una base de datos de los parámetros ecomorfológicos y ecofisiológicos, a partir de las especies dominantes encontradas en la subcuenca "El Mogor", para la aplicación de un modelo SVAT.

4 MARCO TEÓRICO

El uso del SIG se convierte entonces en una herramienta fundamental para el estudio de la morfometría de cuencas al permitir el procesamiento de grandes cantidades de información, lo que implica que se pueden determinar los parámetros morfométricos de una cuenca en menor tiempo y hacer estudios hidrológicos de forma más eficiente, siempre y cuando se cuente con MDE de una resolución superior a la cartografía convencional disponible (Sreedevi, Owais, Khan, & Ahmed, 2009)

Los parámetros de la red de drenaje y de relieve son importantes porque permiten determinar qué tan bueno es el drenaje de la cuenca, o lo que es lo mismo, que tan rápido escurre ante un evento de precipitación. Además, en conjunto con los parámetros de forma permiten hacer inferencias relacionadas con la litografía y la geología, dado que existen correlaciones entre la cobertura vegetal, tipos de suelo y pendientes del terreno con los valores de los parámetros morfométricos (Wilson, Chandrasekar, & Magesh, 2012). A su vez, estos parámetros son cruciales en la distribución espacial de la cobertura arbórea, pues bien esta está determinada a la disponibilidad de agua (humedad del suelo), así como a la profundidad y tipo de suelo (Del Toro-Guerrero et al., 2016).

En cuanto lo que concierna al tipo de vegetación presente en la subcuenca Cooper (1922; en Epling y Lewis, 1942), define al chaparral como una comunidad arbustiva, dominada por muchas especies pertenecientes a géneros no relacionados taxonómicamente, pero con un tipo ecológico constante; las más importantes características son el sistema de raíces extenso (más grande), en proporción al tamaño de la planta, ramificaciones rígidas y densas, y las hojas prominentes las cuales son siempre verdes, pequeñas,

gruesas, y altamente cutinizadas. Muchas especies son endémicas al chaparral de California en sitios con características específicas, que hacen que estén bien adaptados a esta comunidad (Keeley y Keeley, 1988) En general, los principales factores que se consideran para explicar la distribución del chaparral son altitud, suelo, exposición de la ladera y, claro está, el fuego. Este último como el factor más importante en la biología y regeneración del chaparral. Para el Análisis de Comunidades Vegetales (ACV), tres aspectos básicos deben de considerados: composición florística, formas biológicas y/o de vida y estructura de la vegetación. Composición florística: representado por los taxa (familias, especies, subespecies y/o variedades) registrados en los sitios de muestreos, incluyendo aquellos taxa fuera de los cuadrantes, y que son elementos representativos de la composición florística del área. El método de transecto en línea de Küchler es el más útil y rápido para conocer la composición florística complementaria a los sitios de muestreo. Composición de las formas biológicas: para determinar las formas biológicas y/o de vida, se seguirán las clasificaciones de Raunkier (1934, tabla 1) y Dansereau (1957, tabla 2). Estructura de la vegetación: es el arreglo espacial, horizontal y vertical, de las especies y sus individuos, y por la abundancia de los mismos. Dependiendo de la topografía, la forma de las áreas de muestreo puede ser rectangular, circular o cuadrada, y su tamaño depende de las características fisonómicas y estructura de la vegetación.

4.1 Hipótesis

Las hipótesis de la presente investigación son:

1. El uso del modelo digital de elevaciones tipo LIDAR de 5X5m en conjunto con las herramientas de modelación del relieve en

- el SIG permite calcular los atributos fisiográficos del terreno.
2. Realizar las correcciones atmosféricas y radiométricas a las imágenes RapidEye permite obtener valores de reflectancia adecuados para la determinación del índice NDRE.
 3. El índice borde rojo normalizado (NDRE, por sus siglas en inglés) describe los valores de las diferentes coberturas presente en el área de estudio.
 4. Las series de tiempo, anual, mensual y estacional, del índice NDRE, describen la tendencia de crecimiento de la vegetación.
 5. La metodología del análisis multicriterio planteada en conjunto con los criterios obtenidos del modelo digital de elevación y de la información satelital permiten clasificar la cobertura espacial del terreno.
 6. La información recolectada en campo en conjunto con la metodología de Gentry (1982) logra representar la composición y estructura de la vegetación presente en la subcuenca el "Mogor".
 7. El índice de valor de importancia logra determinar las especies vegetales dominantes en la subcuenca "El Mogor".
 8. Con las especies dominantes de la subcuenca "El Mogor" se logra recolectar los datos ecofisiológicos y ecomorfológicos más utilizados en el análisis hidrológico suelo-planta-atmósfera.

5 ÁREA DE ESTUDIO

La investigación es realizada en la subcuenca "El Mogor", ubicada en el Valle de Guadalupe a 26 km al noroeste de la ciudad de Ensenada, Baja California, México (Del Toro-Guerrero et al., 2014). La subcuenca dispone de un área total ~21km² y es delimitada por las coordenadas geográficas 32° 4' 14.77" - 32° 1' 15.73" norte y 116° 38' 3.09" - 116° 30' 33.04" oeste (Figura 4).

El área de interés se caracteriza por un gradiente altitudinal que abarca desde los 300 hasta los 1300 msnm; un 15 % del área total son planicies o áreas de inclinación menor al 5% de pendiente, aprovechadas para el desarrollo de cultivos de uva, olivo, hortalizas y frutales, mientras que 85% restante son áreas de alta pendiente o escarpadas (>5%) cubiertas de chaparral mixto (Del Toro-Guerrero et al., 2016). En la parte alta de dicha cuenca se encuentra zonas de suelo desnudos donde se aprecia el tipo de roca que conforma el subsuelo de esta región, encontrando laderas con dirección sureste caracterizadas por rocas sedimentarias y hacia la porción noroeste rocas ígneas (Leyva & Espejel, 2013). El suelo de esta región se caracteriza por ser superficial y de tipo xerosol háplico, con una textura areno-limosa, siendo 75% arena, 14% limo y 11% arcilla (Franco-vizcaíno & Sosa-ramirez, 1997), y una densidad del suelo de 0.93 g/cm³ (León de la Luz, Domínguez-Cadena, & Medel-Narváez, 2012).

La subcuenca "El Mogor" se encuentra en una región de clima semiárido - mediterráneo (BSks), donde se registra temperatura promedio de 16°C y precipitación anual de 276 mm, marcada por una estacionalidad de lluvias entre los meses de noviembre a marzo (Del Toro-Guerrero et al., 2016).

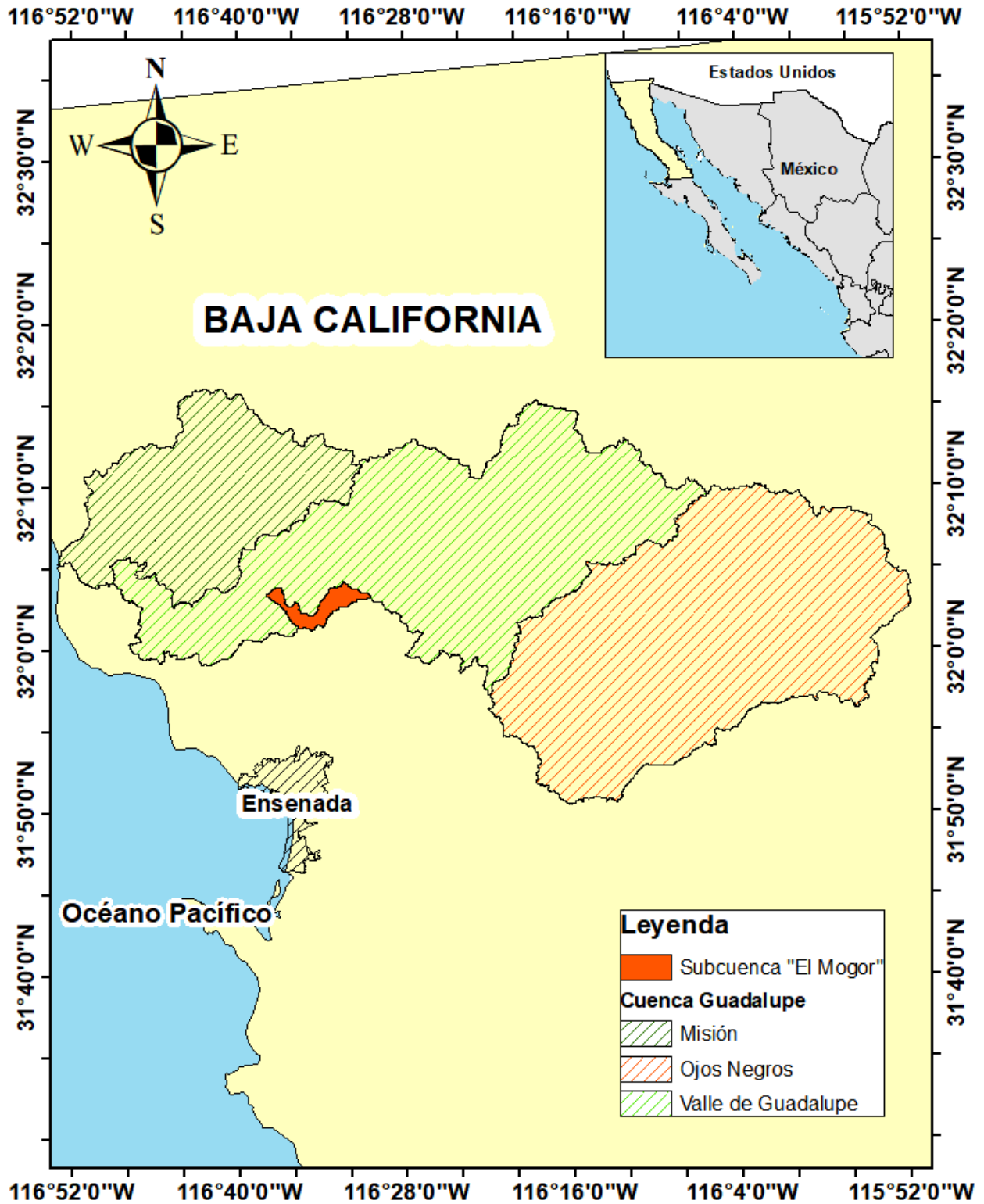


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Subcuenca "El Mogor", Valle de Guadalupe, Baja California, México

El Mogor es atravesado por cauces con corrientes de tipo efímero que exhiben flujo superficial en tiempo de lluvia (Del Toro-Guerrero et al., 2014), y se unen a un colector principal con una longitud aproximada de 18 km, el cual descarga sus aguas al arroyo Guadalupe en la parte baja del cauce principal.

6 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Atributos fisiográficos del terreno

Para la obtención de los atributos fisiográficos del terreno, se requirió el uso de un Modelo Digital de Elevación (MDE), el cual, de acuerdo con Kozlov y Ghebrehiwot (2019), es definido como la representación digital de los cambios continuos de la elevación de un terreno, a escala espaciales, que se derivan de mapas topográficos e imágenes satelitales; dicho de otro modo, son matrices resultantes del cálculo de la altitud media en cada celda. Para esta investigación se utilizó un modelo digital de elevación de alta resolución Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging (LiDAR), desarrollado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía de México (INEGI), con una resolución (tamaño de celda) de 5m x 5m.

La metodología usada para la delimitación de la subcuenca "El Mogor", obtención de cursos de aguas y subdivisiones hidrológicas, mediante el uso de SIG, se especifica en la Figura 2 Diagrama de flujo de la delimitación de las corrientes y obtención de las unidades hidrográficas (Cuenca y subcuencas). donde se muestran en color gris (hexágonos) los parámetros de entrada, en amarillo (rectángulos) los procedimientos realizados a la información y en azul (óvalos) los nombres de los archivos generados en cada paso.

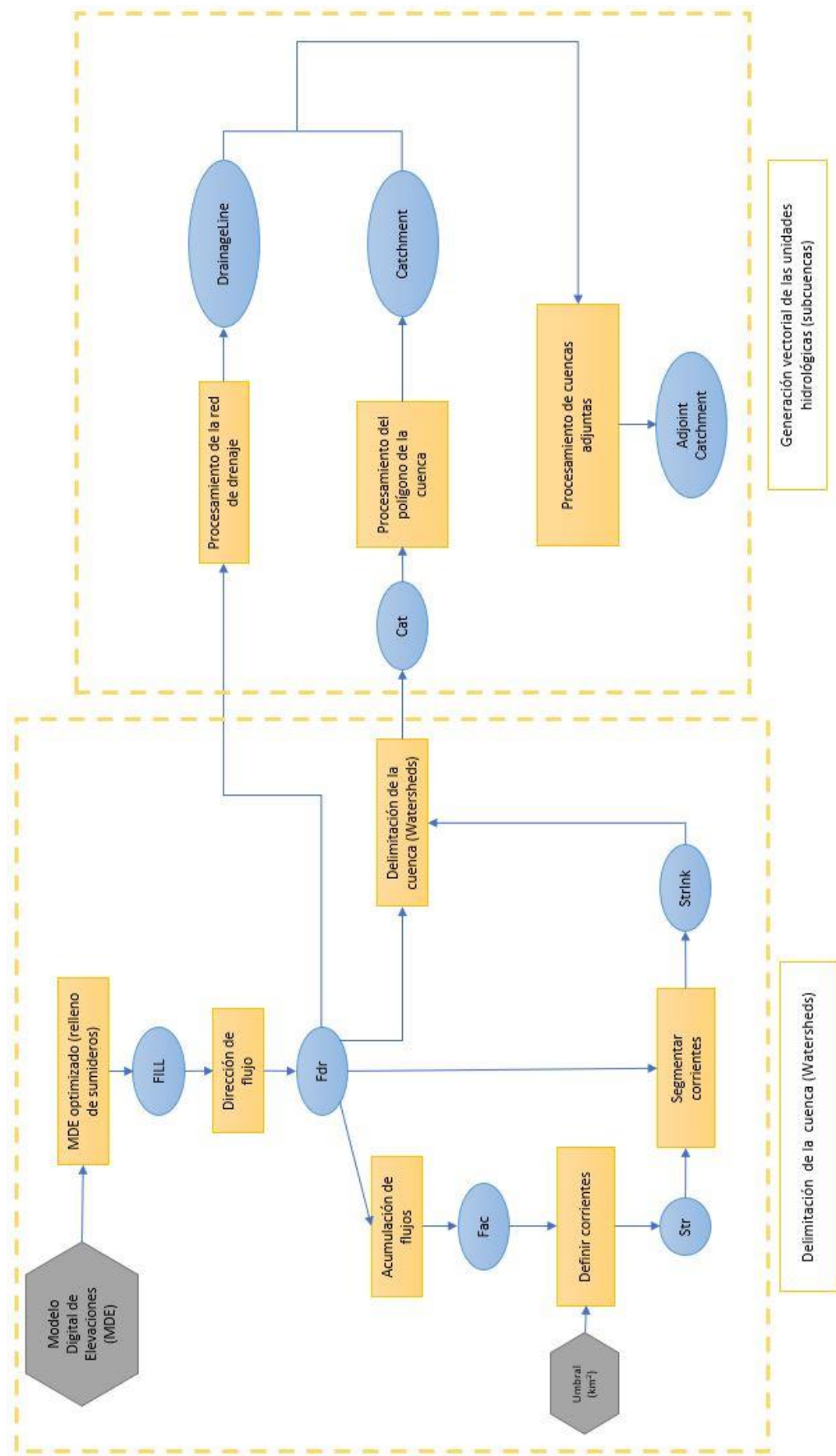


Figura 2 Diagrama de flujo de la delimitación de las corrientes y obtención de las unidades hidrográficas (Cuenca y subcuencas).

La metodología utilizada abarca desde la optimización del MDE, la determinación de la dirección y acumulación de los flujos, la segmentación de las corrientes, lo que conlleva a delimitar la cuenca; concluido estos procesos se generala la red de drenaje, se editan las cuencas adjuntas y finalmente se generan un polígono con los cauces y las subcuencas.

Una vez realizada la delimitación del área de la subcuenca, se pasó a calcular las características fisiográficas de interés para esta investigación, con la finalidad de reclasificar los valores y utilizarlos según la literatura como criterios de decisión en el AMC de la vegetación. Las características son definidas a continuación:

6.1.1 Pendiente

Para la obtención del mapa de pendiente se aplica el algoritmo implícito en la mayoría de los softwares de SIG; según Ritter (1987) la pendiente es la tasa máxima de cambio en elevación sobre cada celda y sus ocho vecinas. El comando pendiente toma de entrada un ráster de superficie (MDE) y calcula un ráster de salida que contiene la pendiente en cada celda. Mientras menor sea el valor de la pendiente, más plano será el terreno; mientras más alto sea este valor, más empinado será el terreno. El ráster de pendiente de salida se puede calcular con valores de porcentaje o grado de pendiente (Ritter, 1987). Esta característica de la cuenca tiene una relación importante con la distribución de la vegetación, la definición de áreas para el desarrollo de cultivos (Espejel, Fischer, Hinojosa, García, & Leyva, 1999), los fenómenos de infiltración, escurrimiento superficial, humedad del suelo y con la contribución del agua subterránea al flujo de los cauces (Díaz Delgado, Mamadou Bâ, Iturbe Posadas, Esteller, & Reyna Sáenz, 1999).

6.1.2 Orientación de laderas

La orientación o aspecto del terreno es definida como las diferentes direcciones geográficas en las que se encuentran distribuidas las pendientes del terreno (Díaz Delgado et al., 1999). Este parámetro interviene en el número de horas que la cuenca es favorecida por la radicación solar, factor que delimitante el crecimiento de la vegetación en las zonas mediterráneas (Badano, Cavieres, Molina-Montenegro, & Quiroz, 2005), y a su vez, influye en el cálculo de la evaporación potencial y la humedad del suelo. El algoritmo utilizado para la obtención del mapa de orientación del terreno, requiere de un MDE como ráster de entrada, y arroja un nuevo ráster de salida con información para cada celda que indican la dirección de brújula a la que apunta la superficie en esa ubicación. Se mide en el sentido de las agujas del reloj en grados de 0 (hacia el norte) a 360 (hacia el norte, nuevamente), formando un círculo completo. Las áreas planas que no tienen dirección de pendiente descendente tienen un valor de -1 (Ritter, 1987).

6.2 Correcciones de imágenes satelitales

6.2.1 Imágenes RapidEye

La información satelitales utilizadas para el análisis espacio-temporal de la cobertura, uso y tipo de suelo se basa en imágenes de tipo RapidEye, descargadas en la plataforma de la compañía Planet Labs (<https://www.planet.com/markets/education-and-research/>) con un nivel de procesamiento 3A, que provee imágenes georreferenciadas, con píxeles ortorectificado de 5m X 5m, con correcciones geométricas, y de sensor (Tyc, Tulip, Schulten, Krischke, & Oxfort, 2005). Así mismo, el conjunto de imágenes

analizadas comprende el periodo 2009-2018, y tienen una proyección UTM, datum WGS84, y zona 11 norte en formato Geotiff, entre otras especificaciones registradas en el Anexo A.

6.2.2 Corrección radiométrica

Chander & Markha (2003) indican que el cálculo de la radiación es el paso fundamental para poner los datos de imagen de múltiples sensores y plataformas en una escala radiométrica común. Durante la calibración radiométrica, los valores de píxel a partir de datos de imágenes en bruto, sin procesar se convierten en unidades de radiancia absoluta utilizando cálculos de punto flotante de 32 bits. Los valores de radiancia son entonces escalados a valores de 8 bits, por medio de la ecuación **Error! Reference source not found.**, que representan números digitales calibrados.

$$\text{Radiancia (L)} = \text{ND} * \text{Factor de escala radiométrica} \quad (1)$$

Para ello, se utiliza la herramienta band math, de del programa ENVI, en la cual se multiplica los niveles digitales (ND) de cada banda de la imagen por el factor de escala radiométrico (radiometricScaleFactor) que se extrae de los metadatos disponibles para las imágenes (Aguilar et al., 2014), ver ANEXO B.

6.2.3 Corrección atmosférica

Posterior a esto se realizó una corrección atmosférica para sustraer los efectos de las interferencias atmosféricas como aerosoles o la humedad relativa, y obtener valores de reflectancia; para ello se utilizó el algoritmo Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH) y la información de los metadatos de cada imagen los cuales se encuentran en la tabla Anexo B. Por último, debido a que los valores de reflectancia obtenidos

por los algoritmos anteriores se encontraron en una escala 1000 se procedió a la aplicación de la siguiente ecuación

$$(b1 \leq 0) * 0 + (b1 \geq 10000) * 1 + (b1 > 0 \text{ and } b1 < 10000) * \text{float}(b1) / 10000 \quad (2)$$

Donde:

b1=banda 1

le = less and equal (menor o igual)

ge= greater and equal (mayor o igual)

gt = greater than (más grande que)

Para la aplicación de la fórmula en todas las bandas se usó la opción "Map variable to input file" y se seleccionó el archivo generado de reflectancia. Con la herramienta "Spectral profile", se pudo comprobar que los valores de reflectancia varían entre 0 y 1. Este proceso se realizó con cada una de las imágenes RapidEye utilizadas para esta investigación.

6.3 Índice Borde Rojo Normalizado (NDRE)

Para calcular los valores de índice de vegetación utilizando las imágenes satelitales en este caso se aplicó el índice (NDRE) con la finalidad de poder determinar y clasificar los tipos de coberturas presente en la zona de estudio, para ello se utilizó la calculadora de mapas aplicando la ecuación

$$NDRE = \frac{NIR - (Red-Edge)}{NIR + (Red-Edge)} \quad (1)$$

Donde:

NIR= banda infrarroja cercana.

RED= banda borde rojo.

Adaptando la formula a las bandas correspondientes para las imágenes satelitales RapidEye obtendríamos la siguiente ecuación:

$$NDRE = \frac{\text{banda5} - \text{banda4}}{\text{banda5} + \text{banda4}} \quad (2)$$

6.4 Análisis multitemporal

La diferencia entre imágenes es uno de los métodos utilizados junto con el cociente de imágenes, para la detección de cambios en las imágenes. Este método trata de comparar aritméticamente bandas procedentes de dos fechas que sean equiparables radiométricamente, es decir en las mismas bandas del espectro electromagnético. Las zonas estables presentarán valores cercanos a cero en el caso de la diferencia y cercanos a 1 en el caso del cociente. Mientras las zonas en las que se presenten cambios en la imagen presentaran valores completamente diferentes a estos. (Martin y Chuvieco, 1995). Las imágenes diferencia presentan generalmente histogramas con un perfil gaussiano, como el que se observa en la siguiente imagen. Obteniendo las máximas frecuencias en las zonas próximas zonas a 0 (donde no se producen variaciones), quedando los cambios recogidos en los lados del histograma, dependiendo del signo de cambio (González, 2016).

El estudio de este histograma permite determinar los umbrales que separarán las áreas estables de las dinámicas. Lo difícil en estos casos es determinar con exactitud el umbral de cambio, esto se puede hacer mediante trabajo de campo, datos de apoyo auxiliares o visualmente. Pero debido a la dificultad de exactitud en este umbral será importante considerar los posibles errores de comisión u omisión en función del valor estimado para este umbral. Para determinar este umbral se han realizado diferentes pruebas

ajustando en cada caso el umbral con el que mejores resultados se han obtenido.

Este método se puede emplear a nivel de reflectancia, índices de vegetación o parámetros texturales. También es muy importante seleccionar la banda espectral, IV o parámetro textural a utilizar para comparar las imágenes entre sí. Lo mejor sería utilizar el parámetro o la banda que ofrezca mayor separabilidad para la detección de los cambios en la vegetación.

Por lo que se procedió de la siguiente manera:

1. Cálculo de histogramas: Se han calculado los histogramas de cada imagen diferencia obtenida para delimitar el umbral de cambio para cada una de ellas. Después se han superpuesto los histogramas de todas las imágenes diferencia para hacer un análisis más detallado de estos.
2. Tablas de estadísticas básicas para cada imagen diferencia, se realiza una tabla para imagen con sus valores mínimos, máximos, media, desviación estándar y el coeficiente de variación.

6.5 Análisis de la distribución espacial de la cobertura vegetal en la zona de estudio

Para el análisis de la distribución espacial de la cobertura vegetal se estipularon los criterios fisiográficos y los rangos del NDRE para cada uno de los posibles tipos de coberturas presente en la subcuenca "El Mogor".

Tabla 1. Criterios para la determinación de la composición espacial de la cobertura vegetal presente en la subcuenca "El Mogor"

Tipo de cobertura	Valor del Índice de Vegetación	Altitud (msnm)	Orientación de ladera	Porcentaje de pendiente (%)	Otros criterios
Suelo desnudo	< 0.15	-	-	-	-
Cultivos	>0.4	<400	Norte	<5	-
Chaparral costero norte	>0.24	<600		>5	-
Chaparral costero sur	>0.19	<600	Sur	>5	-
Chaparral de montaña norte	>0.24	>600	Norte	>5	-
Chaparral de montaña sur	>0.19	>600	Sur	>5	-
Bosque ribereño	>0.4	-	-	-	Buffer 10 metros

6.5.1 Análisis multicriterio

El método empleado en la determinación de la ocupación espacial de cada tipo de cobertura en la subcuenca, se basó en la denominada teoría de la decisión, fundamentada en la lógica según la cual una decisión es la elección entre varias alternativas. Estas alternativas pueden ser acciones, o hipótesis sobre un fenómeno u objeto a incluir en conjunto.

Las bases para evaluar una decisión son los criterios. Estos pueden ser de dos tipos: factores y restricciones. Un factor es un criterio que realza o reduce la viabilidad de una alternativa específica y se expresa en una escala continua. Una restricción es un criterio de exclusión que permite limitar las alternativas bajo consideración y adopta únicamente dos valores 0 y 1 es decir SI o NO.

A los criterios determinados se les aplica una regla de decisión, que es el proceso por el cual los criterios son seleccionados y combinados para conseguir una evaluación determinada, donde se proporciona un orden de importancia para cada criterio.

Las reglas de decisión deben estructurarse en el contexto del objetivo específico perseguido, que en el caso del presente estudio se limita a la determinación de sitios que cumplan los criterios expuestos en la Tabla 1 para la representación espacial de la cobertura de la zona de estudio.

Según los criterios resumidos en la Tabla 1 se procedió a la obtención de los mapas maya de pendiente, altitud, NDRE, orientación de laderas y buffer de los cauces de la subcuenca.

Para esto se aplicó la siguiente metodología:

- Paso 1: posterior a la obtención del mapa de pendiente elaborado con la metodología explicada en el capítulo de obtención de atributos fisiográficos del terreno, se procedió a realizar la reclasificación para cada tipo de cobertura dependiendo del rango de pendiente en el que se distribuye, colocando como valor de salida el número 1 si se cumple el criterio o 0, si no se cumple en cada celda del maya analizado.
- Paso 2: La obtención de los mapas reclasificados de la orientación geográfica del terreno, se realizó una vez analizado el MDE con el comando SURFACE (opción Aspect). Según los criterios para cada tipo de cobertura se reclasifico el mapa utilizando la herramienta calculadora de mapas que posee el software QGIS. Los valores de cada

pixel de salida fueron puestos en comando binario 0 y 1 dependiendo el criterio de decisión (no o sí).

- Paso 3: La reclasificación del mapa obtenido del análisis del NDRE derivado de la imagen satelital del 25 de marzo del 2017, se realizó para cada tipo de vegetación y con su respectivo criterio referenciado.
- Paso 4: Para la determinación de la vegetación presente a la ribera de los arroyos se realizó un mapa tipo maya que registrara un rango de cobertura de 10 metros a cada lado del cauce. Para esto se realizó un buffer de longitud 10 m a cada lado para todos los arroyos. Posteriormente se realizó una reclasificación de 0 o 1 si se presentaba dentro del área del buffer o fuera del área.

Una vez reclasificado todas las mayas, fueron combinados usando la herramienta de calculadora de mapas, obteniendo el mapa final donde se mostraban los sitios en donde se podían presentar el tipo de vegetación analizada.

Por último, se procede a agrupar todos los mapas utilizando la herramienta combine del software SIG, que ajusta múltiples mayas maya para que se asigne un valor de salida único a cada combinación exclusiva de valores de entrada de las mayas para cada tipo de cobertura. Esta herramienta funciona con valores enteros y sus tablas de atributos asociadas. Si los valores en la entrada son de punto flotante es decir puede coincidir con varios valores de entrada, se truncan automáticamente, se probará su unicidad con la otra entrada y se enviarán a la tabla de atributos de salida.

6.6 Determinación de las especies vegetales de mayor valor de importancia en el área de estudio

6.6.1 Muestreo

Se realiza el inventario rápido aplicando la metodología de Gentry 1982, en el que se establece un área de trabajo en forma de línea recta con una medida total de 50 metros y 10 metros a cada lado de

6.7 Obtención de parámetros para la modelación hidrológica modelo SVAT

Se realizó una revisión bibliográfica de los parámetros fisiológicos de las especies vegetales que se encontraron en la zona de estudio dicha recopilación se encuentra en la tabla (x).

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Atributos morfométricos de la subcuenca "El Mogor"

Mediante el uso del SIG y del MDE, se pudo conocer la distribución espacial de las elevaciones del terreno en la zona de estudio y, a partir de esto, calcular las pendientes y orientación de las laderas. De esta manera, usando el SIG fue posible determinar las direcciones de los flujos, la delimitación de las subcuencas y la esquematización de las corrientes que la drenan, la unión con el cauce principal del arroyo Guadalupe y por tanto el punto de salida y aportación de aguas al cauce.

Para la obtención de los mapas, se realizó un relleno de los sumideros para corregir los errores que se pudieran presentar debido a la resolución de los datos o el redondeo de elevaciones al valor entero más cercano, y, una vez se tuvo un MDE sin sumideros, se determinó la dirección del flujo a partir de las diferencias de elevación y pendientes (Jenson & Domingue, 1988).

Posteriormente, con el fin de esquematizar los cursos de agua que drenan la cuenca al cauce principal del arroyo Guadalupe, se calculó la acumulación del flujo, que no es más que el número de celdas en pendiente que fluyen hacia cada celda y se procedió a definir las corrientes. Para esto último, fue necesario determinar el umbral, es decir, los valores de celda que se considera que tienen suficiente acumulación para ser clasificado como una corriente, por lo que se probaron distintos umbrales hasta definir que usando un umbral de 1 km² se obtenía una red drenaje que representa adecuadamente la realidad de la zona de estudio.

Una vez realizado lo anterior, se estableció el orden de las corrientes usando el sistema de clasificación de Horton (1945), para posteriormente, generar los polígonos de las subcuencas y a

hacer correcciones manuales para afinar el modelo, los resultados de los parámetros calculados a partir de la caracterización con umbral de 5 km², por lo que los valores de área total de la cuenca que equivalen a ~21km² no resulta con los anteriores artículos donde se distinguen áreas de 16 a 19 km² (Del Toro-Guerrero et al., 2016; Flores Zavala, 2016).

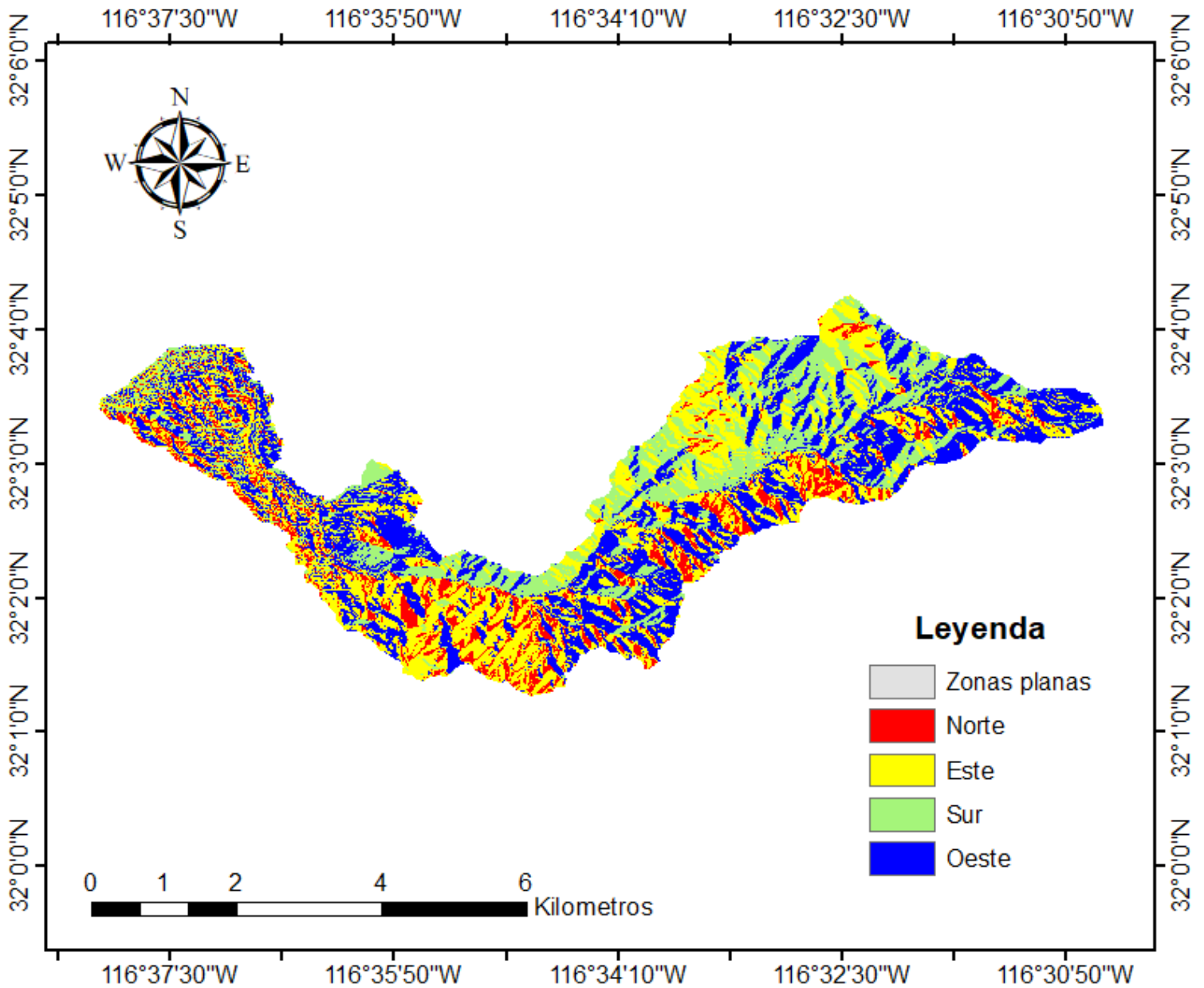


Figura 3. Mapa de orientación del terreno de la subcuenca "EL Mogor".

Así mismo varía el largo total del cauce principal y la distribución inicial de los pequeños cauces que se encuentran cerca de la salida de la subcuenca, la resolución espacial del MDE

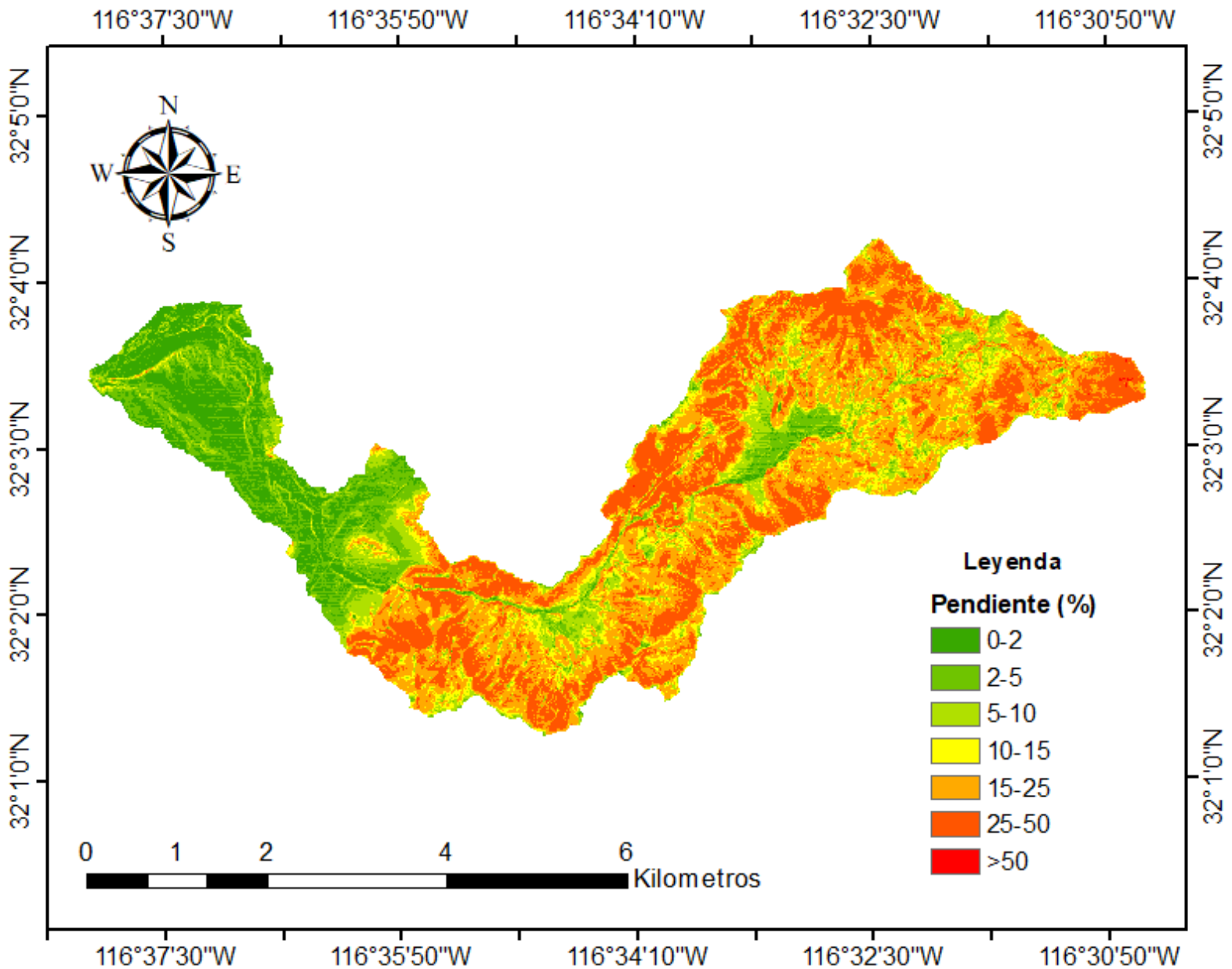


Figura 4. Mapa de distribución de pendientes de la Subcuenca "El Mogor", Baja California, México.

Tabla 2. Valores cualitativos derivados del MDE

Rangos de altitud (msnm)	Porcentaje del área total (%)	Superficie (km ²)
300-400	38.51	8.259869
400-600	43.17	9.260506
600-700	14.81	3.17762
700-800	2.71	0.582946
800-1200	0.78	0.167333

Los mapas obtenidos de pendiente y orientación de laderas arrojaron que más del 70% del área total del terreno se caracteriza por áreas con una altitud entre los 300 a 600 msnm (Figura 4. Mapa de distribución de pendientes de la Subcuenca "El Mogor", Baja California, México.

Tabla 2), que en su mayoría son zonas de aprovechamiento agrícola, ya que a su vez se conjuga con zonas llanas o menores al 5% de valor de pendiente. Sin embargo, esta subcuenca tiene un número mayor de kilómetros cuadrados, 55% del área total, en el que se registran pendientes fuertemente accidentadas o escarpadas con una inclinación que supera al 15%, las zonas con pendientes más inclinadas son propicias para el crecimiento de la vegetación nativa del lugar. Debido a que la mayor parte del terreno es cubierta por vegetación nativa a con llevado a que sea una zona de conservación y aprovechamiento de los recursos naturales (Alcázar Ortega, 2017) que por él efecto antropogénico ha degradado los paisajes, y modificado el uso de suelo para seguir el aprovechamiento agrícola, industrial y turístico (Espejel et al., 1999).

Por otra parte, El 32% del área total de la subcuenca se compone de laderas que se ubican geográficamente hacia el sur; teniendo en cuenta los estudios que se han realizado en el hemisferio norte,

se reporta que este tipo de orientación de la ladera recibe por mayor tiempo la radiación solar y es conocida como ladera solana (Del Toro-Guerrero & Gunter Kretzschmar, 2016; González Hidalgo, Bonet, & Echeverría, 1996).

Tabla 3 Cuantificación de la superficie por rangos de pendiente y tipo de terreno.

Rangos de pendientes (%)	Tipo de terreno	Superficie (km ²)	Porcentaje del área total (%)
0-2	Llano	2.197547	10.21
2-5	Suave	2.607069	12.12
5-10	Accidentado medio	2.388223	11.10
10-15	Accidentado	2.367668	11.0
15-25	Fuertemente accidentado	6.757652	31.41
25-50	Escarpado	5.183473	24.09
>50	Muy escarpado	0.006771	0.031

El estar expuesto a la radiación un mayor número de horas hace que la evaporación de la humedad del suelo se mayor que en la ladera norte, a su vez, este fenómeno de exposición de ladera se explica con mayor detalle en el capítulo donde se realiza los análisis multicriterio basados en la metodología.

Tabla 4. Orientación de la pendiente del terreno de la subcuenca "El Mogor"

Dirección de la pendiente (grados)	Área (km ²)	Porcentaje del área total (%)
Zonas planas	0	0
Norte 315°-45°	6.296107	29.27
Este 45°-135°	3.463612	16.1
Sur 135°-225°	7.059914	32.82
Oeste 225°-315°	4.6887	21.79

7.2 Obtención del índice de borde rojo normalizado

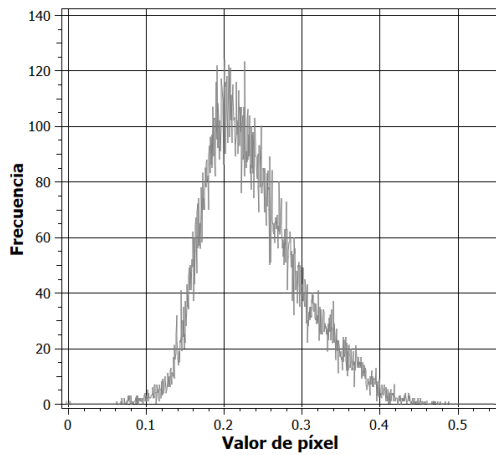


Figura 5 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 26 de abril 2009.

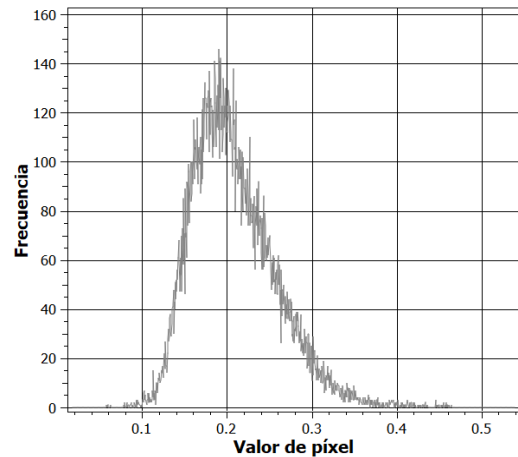


Figura 6 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 14 mayo 2009.

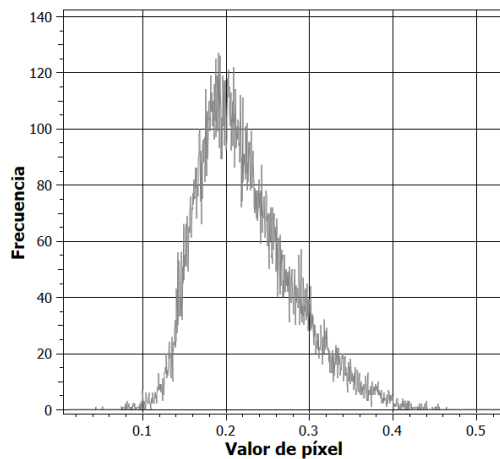


Figura 7 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 14 de julio 2009.

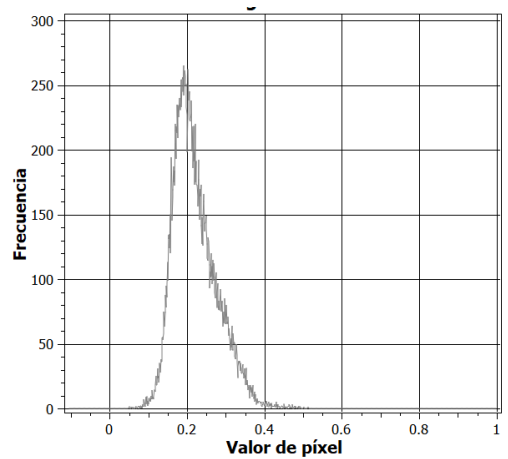


Figura 8 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 24 de septiembre 2009.

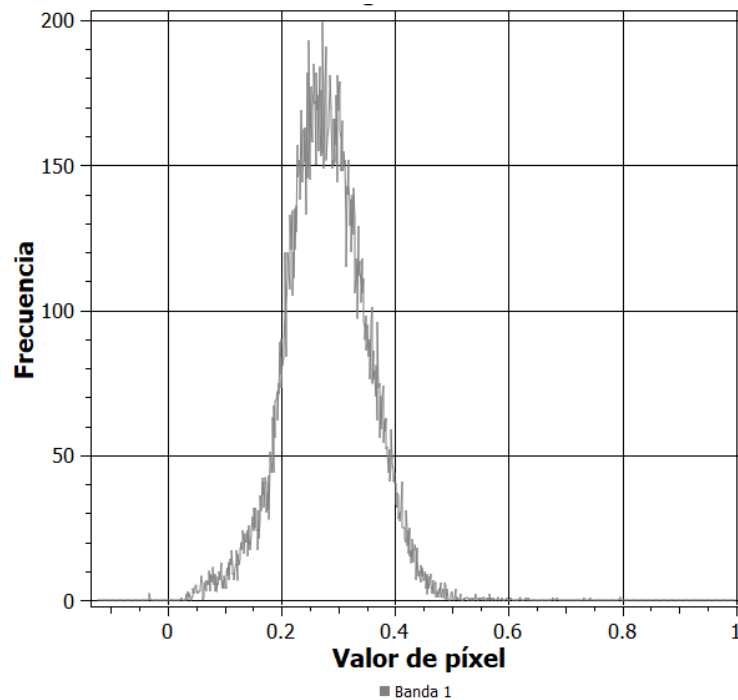


Figura 9 Gráfico de frecuencia del valor de NDRE para la imagen satelital con fecha 28 de febrero 2018.

7.3 Análisis multitemporal

7.3.1 Análisis estacional

El análisis de los cambios multitemporales de la vegetación fue realizado en un periodo de temporalidad anual, mensual y estacional. La estacionalidad de los periodos de lluvias registrados en la subcuenca fue determinando según el análisis de la precipitación desde 2009 a 2018, los estadísticos registrados de la estación automática de la red climatológica del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) ubicada en el Valle de Guadalupe muestra que los meses en los que se registran lluvias entra en un rango de diciembre a marzo. Mientras que los registros donde se presentan ausencia de lluvias son los meses de julio a octubre.

Tabla 5. Registro de precipitaciones totales para el periodo 2009-2018 de la estación de la estación Valle de Guadalupe.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Enero	2	206.5	12.6	9.6	44.8	5.4	14.6	79.4	117.8	31	523.7
Febrero	93.1	102.8	134.5	36.4	20.6	30	9.2	0	92.6	12.6	531.8
Marzo	0.8	28.1	43	43.6	29.4	19.8	46	0	12.2	5.4	228.3
Abril	8.1	31.1	13.9	44.8	3.2	8	4	21.4	0	0	134.5
Mayo	0.9	0.6	9.2	3.6	10.4	0	21.6	9.8	7.4	2.4	65.9
Junio	1.9	2.3	2.3	0.4	0.6	0	0	0	0	0.4	7.9
Julio	0.3	4.1	0	0.2	1.8	0.8	0	0	0	0.4	7.6
Agosto	1.2	0.8	0.4	1.8	5	0.4	0	0	6.4	0	16
Septiembre	0	5	0.4	4.8	0.2	0	1.8	9.4	1	0	22.6
Octubre	0	43.3	6.4	5	19	0	0.4	0.2	0.4	3.8	78.5
Noviembre	22.5	26.1	65.4	6.6	4	6	6.4	18.8	5.2	11	172
Diciembre	107.7	99.4	26.6	50.4		42.4	23.4	97	0.6	28	475.5
Total	238.5	550.1	314.7	207.2	139	112.8	127.5	236	243.6	95	2264.3

Tabla 6. Estadísticos de los valores de precipitación

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Valor máximo	70.0	64.1	53.7	23.0	29.6	18.4	36.0	20.4	40.4	9.6
Valor mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Media	19.9	45.8	26.2	17.3	11.6	9.4	10.6	19.7	20.3	7.9
Desviación estándar	4.5	6.3	4.4	2.2	2.2	1.7	2.4	3.0	3.9	1.2
Coefficiente de variación	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Los valores promedios de la precipitación total anual muestran que para el año 2010 se registra los valores máximos de lluvia para el periodo 2009-2018, mientras que el total de lluvia para el año 2018 se muestra un descenso la cantidad de lluvia acumulada siendo el año más seco del periodo 2009-2018.

7.3.1.1 Época seca

Se analizó el cambio de los valores de la serie de tiempo de NDRE para los 10 años entre los meses de octubre a diciembre conjuntando imágenes con fechas que consideran cronológicamente de las cuales se analizaron las descritas en el anexo B.

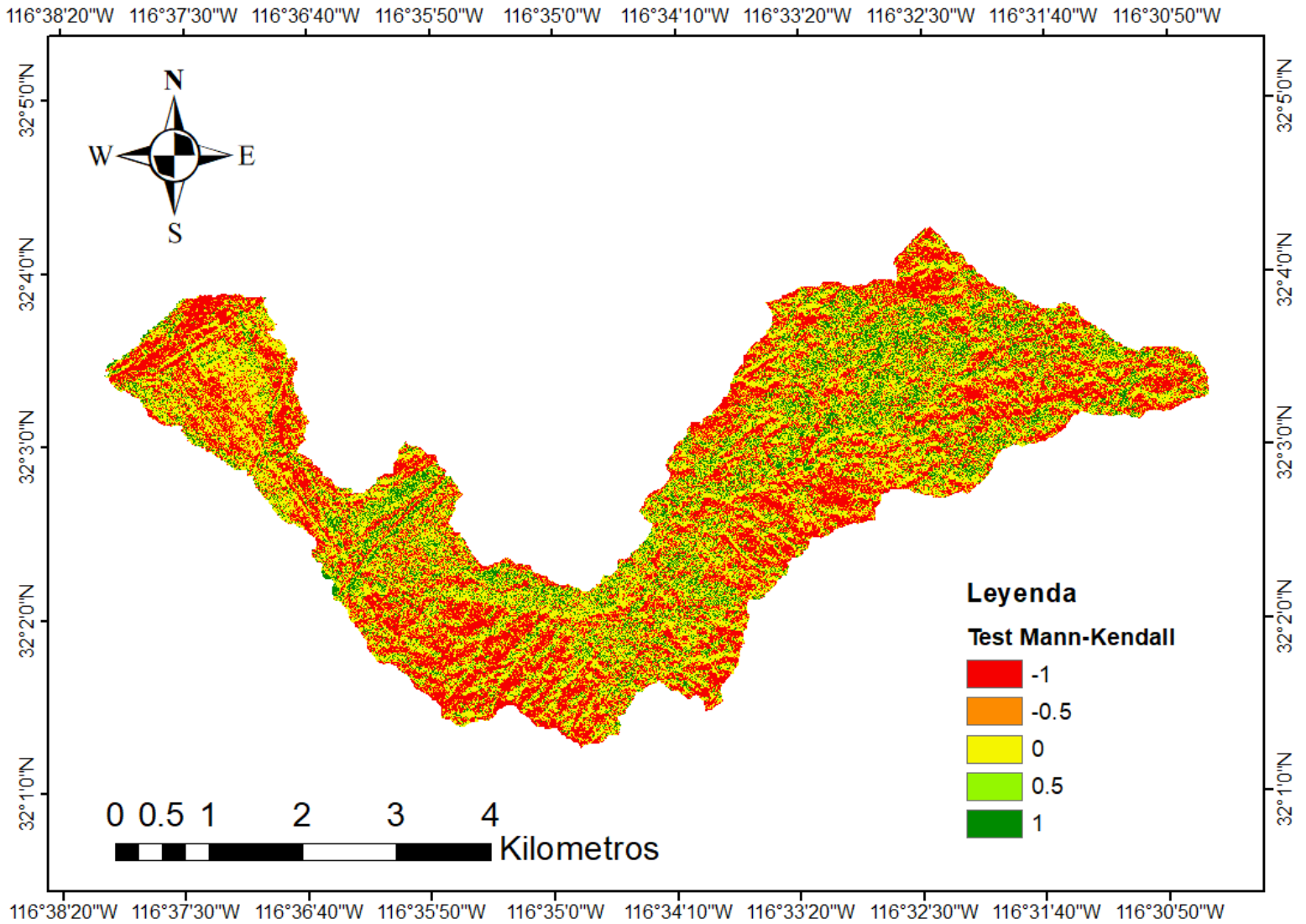


Figura 10. Valor de tendencia del test de Mann-Kendall aplicado en el índice NDRE

7.4 Análisis Espacial

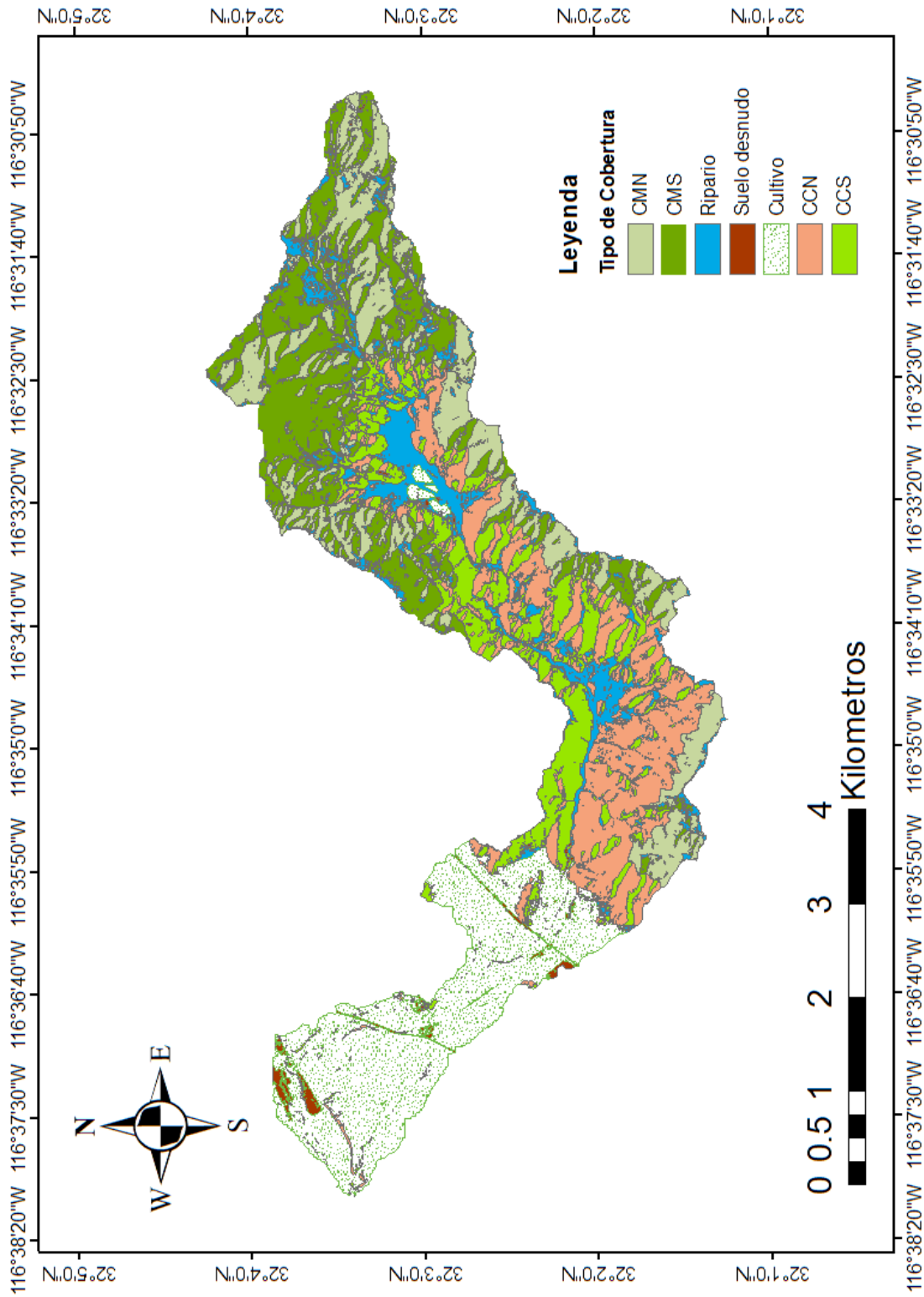


Figura 11. Mapa de coberturas de suelo presente en la subcuenca "El Mogor"; tipos CMN - chaparral montaña norte, CMS- chaparral montaña sur, CCN- chaparral costero norte, CCS- chaparral costero sur.



Figura 12. Efecto de ladera expuesta a mayor cantidad de horas a la radiación. Ladera Norte y Ladera Sur.

7.5 Composición y estructura florística

Este trabajo consto de un total de 9 transectos de 50 metros de largo por 20 de ancho en el cual se llevó acabo la contabilización, medición e identificación de las especies que se encontraban dentro del área delimitada. Posteriormente se procedió a la identificación con guías de campo y ayuda de investigadores expertos en el tema. Teniendo en cuenta esto se procedió a realizar el análisis estadístico dependiendo el lado de ladera en que se encontrara el punto de muestreo dicha división se realizó debido a la hipótesis que sostienen diversos autores donde se sustenta que la vegetación en esta zona latitudinal varia en especies, porcentaje de cubierta del suelo, así como su abundancia dependiendo el lado de la ladera en que se encuentre.



Eriogonum fasciculatum



Eriodictyon trichocalyx



Fraxinus parryi



Xylococcus bicolor



Rhamnus crocea



Quercus agrifolia



*Ornothostaphylos
oppositifolia*



Baccharis sarothroides

Figura 13. Registros fotográficos de especies de plantas encontradas en el sitio de estudio. Fuente: propia, 2018

El Mogor es un sitio que presenta condiciones típicas de los climas mediterráneos (Rana y Katerji, 2000, Archer, Hess y Quinton, 2002), Las especies encontradas en este trabajo concuerdan con las principales especies encontradas por Redman y Roberts en 2012, para el chaparral de mediterráneo de Baja California, ellos distinguieron a *Adenostoma fasciculatum*, *Adenostoma sparsifolium*, entre otras menos comunes del género *Ceanothus*, *Arctostaphylos* y *Quercus*, también se pueden encontrar otros arbustos como *Fraxinus parryi*, *Malosma laurina*, *Rhus ovata*, *Rhamnus ilicifolia* etc; esto concuerda con algunas de las plantas encontradas en los tres sitios de muestreo.

Tabla 7. Índice de valor de importancia

Especie	Frecuencia Relativa	Dominancia Relativa	Densidad Relativa	% IVI
<i>Eriogonum fasciculatum</i>	9.4595	22.741	28.6778	20.2927
<i>Artemisia californica</i>	9.4595	6.103	7.9454	7.8360
<i>Malosma laurina</i>	9.4595	6.024	3.6002	6.3613
<i>Cneoridium dumosum</i>	8.1081	7.125	12.1043	9.1124
<i>Fraxinus parryi</i>	8.1081	3.691	8.8765	6.8919
<i>Eriodictyon trichocalyx</i>	6.7568	21.791	4.5934	11.0470
<i>Rhamnus crocea</i>	8.1081	2.470	4.7796	5.1191
<i>Baccharis sarothroides</i>	6.7568	16.859	0.6828	8.0996
<i>sp</i>	6.7568	0.794	4.7176	4.0893
<i>Xylococcus bicolor</i>	5.4054	7.265	12.4146	8.3618
<i>Ornohostaphylos oppositifolia</i>	5.4054	2.371	7.2005	4.9922
<i>Rhus ovata</i>	5.4054	1.034	1.9863	2.8087
<i>Quercus sp.</i>	2.7027	0.726	0.8070	1.4120
<i>Ceanothus tomentosus</i>	2.7027	0.528	0.3724	1.2012
<i>Hazardia squarrosa</i>	2.7027	0.119	0.1241	0.9819
<i>Quercus agrifolia</i>	1.3514	0.332	1.0552	0.9127
<i>Arctostaphylos patula</i>	1.3514	0.049	0.0621	0.4876
Total	100	100	100	100

Se caracterizó por sólo contar con dos especies, *Bahiopsis laciniata* y *Eriogonum fasciculatum* a diferencia de las otras zonas de muestreo, También tenía una pendiente pronunciada y radiación solar directa casi a lo largo de todo en día. Se sabe que las condiciones climáticas y topográficas definen las áreas de distribución, los límites de sobrevivencia y los pisos altitudinales de vegetación e influyen, a una escala espacial menor, en la distribución de especies y comunidades (Nahal, 1981, Woodward y Williams 1987, Prentice et al. 1992). En las regiones áridas y semiáridas las pendientes tienen efectos importantes sobre el escurrimiento y la infiltración (Pilgrim et al. 2009). Las pendientes pronunciadas infiltran pequeñas cantidades de agua al suelo, por lo que son ambientes más secos que zonas con pendiente baja. Estas condiciones podrían estar limitando la distribución de otras especies de plantas en el sitio soleado. Además, el 2014 fue aun año particularmente muy seco, lo que podría haber llegado a repercutir directamente en el marchitamiento no sólo de las plantas del sitio Soleado sino también de *Eriogonum fasciculatum* y *Fraxinus parryi* en el sitio.

8 CONCLUSIONES

1. A partir del MDE, y utilizando el SIG, es posible esquematizar la subcuenca hidrográfica "El Mogor", representando adecuadamente la distribución de las pendientes y el cálculo de los parámetros morfométricos relacionados con la forma y el relieve. Se confirmó que dependiendo la resolución espacial del MDE varía el área y distribución del drenaje de la cuenca, debido a que se mejora la calidad del análisis y se detallan zonas que con MDE de mayor resolución no son captados. Esto confirmó las hipótesis 1 de la presente investigación, dado que la caracterización mediante el SIG permitió representar la geometría y el relieve de la cuenca del río Sinú de forma adecuada.
2. • A partir de los resultados arrojado del análisis espacio-temporal de las imágenes RapidEye se muestra que hay una diferencia en los valores medios de NDVI entre el NFS y el SFS para esta cuenca semiárida de latitudes medias en el hemisferio norte. Las coberturas presentes en la cara norte de las laderas, en general, tenía valores de NDVI más altos en comparación con la cara sur, en promedio, la cobertura encontrada en la cara sur tenía valores 16% más bajos para el conjunto completo de imágenes analizadas.
3. El test de tendencia Mann-Kendall arrojó que en promedio el área de la cuenca tiende a una disminución en la cobertura de la vegetación, con un valor medio de -0.2 lo cual registra una pérdida de la cobertura durante los últimos 10 años.
4. De igual forma se pudo registrar las variaciones temporales de la vegetación, dependiendo la estación anual en la que se análisis el índice de borde rojo normalizado. El valor medio

del NDRE en la época seca es menor hasta un 15% aproximado que el valor medio en la época de lluvia.

5. EL índice de valor de importancia realizado con la finalidad de registrar las especies con mayor número de importancia mostro que las especies *Erigonum fasciculatum*, *Eriodictyon trichocalyx* y *Xylococcus bicolor* son las especies con mayor abundancia y presencia en la zona. Sin embargo, su distribución dependerá de la orientación de ladera que se quiera analizar.

9 REFERENCIAS

- Adelabu, S., Mutanga, O., & Adam, E. (2014). Evaluating the impact of red-edge band from Rapideye image for classifying insect defoliation levels. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 95, 34-41.
- Aguilar, H., Mora, R., Vargas, C., Aguilar-Arias, H., Zamora-Mora, R., Vargas-Bolaños, C., ... Vargas Bolaños, C. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 y Landsat 8 con el módulo Flaash del Software ENVI. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53), 39-59. <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Alcázar Ortega, P. D. (2017). *Evaluación de sustentabilidad en retrospectiva en un rancho diversificado en el Valle de Guadalupe, México*. Universidad Autónoma de Baja California.
- Aydin, M., Yang, S. L., Kurt, N., & Yano, T. (2005). Test of a simple model for estimating evaporation from bare soils in different environments. *Ecological Modelling*, 182(1), 91-105. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.07.013>
- Badano, E. I., Cavieres, L. A., Molina-Montenegro, M. A., & Quiroz, C. L. (2005). Slope aspect influences plant association patterns in the Mediterranean matorral of central Chile. *Journal of Environments*, 62, 93-108. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.10.012>
- Barnes, E. M., Clarke, T. R., Richards, S. E., Colaizzi, P. D., Haberland, J., Kostrzewski, M., ... Moran, M. S. (2000). Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. In

Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture.

- Chander, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11 PART II), 2674-2677. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2003.818464>
- Chebbi, W., Boulet, G., Le Dantec, V., Lili Chabaane, Z., Fanise, P., Mougnot, B., & Ayari, H. (2018). Analysis of evapotranspiration components of a rainfed olive orchard during three contrasting years in a semi-arid climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 256-257(February), 159-178. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.02.020>
- Combourieu-Nebout, N., Bertini, A., Russo-Ermolli, E., Peyron, O., Klotz, S., Montade, V., ... Sadori, L. (2015). Climate changes in the central Mediterranean and Italian vegetation dynamics since the Pliocene. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 218, 127-147. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2015.03.001>
- Del Toro-Guerrero, F. J., & Gunter Kretzschmar, T. (2016). Identificación de periodos de sequía histórica en una región de clima tipo semiárido mediterráneo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7, 1311-1320.
- Del Toro-Guerrero, F. J., Hinojosa-Corona, A., & Kretzschmar, T. G. (2016). A Comparative Study of NDVI Values Between North- and South-Facing Slopes in a Semiarid Mountainous Region. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9, 5350-5356. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2618393>

Del Toro-Guerrero, F. J., Kretzschmar, T., & Hinojosa-Corona, A. (2014). Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 5(6), 69-81. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v5n6/v5n6a5.pdf%0Ahttp://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222014000600005&script=sci_arttext

Del Toro-Guerrero, F. J., Vivoni, E. R., Kretzschmar, T. G., Bullock, S. H., & Vázquez-González, R. (2018). Variations in Soil Water Content , Infiltration and Potential Recharge at Three Sites in a Mediterranean Mountainous Region of Baja California , Mexico. *Water*, 10, 1-18. <https://doi.org/10.3390/w10121844>

Díaz Delgado, C., Mamadou Bâ, K., Iturbe Posadas, A., Esteller, M., & Reyna Sáenz, F. (1999). Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México. *CIENCIA Ergo-Sum*, 6(2), 124-134.

Durán, R. G., & García, G. C. (2011). Distribución espacial de la vegetación. *Biodiversidad y Desarrollo Humano En Yucatán*, 131-135. Retrieved from <http://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Sitios/Biodiversidad/pdfs/Cap3/03 Distribucion espacial.pdf>

Espejel, I., Fischer, D. W., Hinojosa, A., García, C., & Leyva, C. (1999). Land-use planning for the Guadalupe Valley , Baja California , Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 45, 219-232.

Flores Zavala, R. A. (2016). *Evaporación y transpiración según tres patrones espaciales y estacionales en un ecosistema*

mediterráneo en la subcuenca de El Mogor, Ensenada, Baja California. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada , Baja California.

Franco-vizcaíno, E., & Sosa-ramirez, J. (1997). Soil properties and nutrient relations in burned and unburned Mediterranean-climate shrublands of Baja California , Mexico. *Acta Ecologica*, 18(4), 503-517.

Galindo, M. S., Reynoso, D. S. F., Menes, M. M., Granados, E. R., & Berber, J. D. R. (2017). Modelo hidrológico de la cuenca del río Sordo, Oaxaca, México, con SWA. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(5), 141-156. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-10>

Gärtner, P., Förster, M., & Kleinschmit, B. (2016). The benefit of synthetically generated RapidEye and Landsat 8 data fusion time series for riparian forest disturbance monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 177, 237-247. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.01.028>

Godinho, S., Guiomar, N., & Gil, A. (2017). Estimating tree canopy cover percentage in a mediterranean silvopastoral systems using Sentinel-2A imagery and the stochastic gradient boosting algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 00(00), 1-23. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1399480>

Gómez, D. (2019). Variación espacial y temporal de la vegetación en Baja California Sur, con énfasis en Áreas Naturales Protegidas. Retrieved from https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1536/1/gomez_d_TESIS.pdf

- González Hidalgo, J. C., Bonet, A., & Echeverría, M. T. (1996). Efecto de la orientación de la ladera sobre algunas comunidades arbustivas del semiárido central de la depresión del Ebro. *Mediterranea: Serie de Estudios Biológicos*, 21-31.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophyical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 40, 275-370.
- Ivanov, V. Y., Bras, R. L., & Vivoni, E. R. (2008). Vegetation-hydrology dynamics in complex terrain of semiarid areas: 1 . A mechanistic approach to modeling dynamic feedbacks. *Water Resources Research*, 44, 1-34. <https://doi.org/10.1029/2006WR005588>
- Jenson, K., & Domingue, O. (1988). Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11), 1593-1600.
- Kozlov, D. V., & Ghebrehiwot, A. A. (2019). Efficacy of digital elevation and Nash models in runoff forecast. *Magazine of Civil Engineering*, 87(3), 103-122. <https://doi.org/DOI:10.18720/MCE.87.9>
- Laio, F., Porporato, A., Fernandez-Illescas, C. P., & Rodriguez-Iturbe, I. (2001). Plants in water-controlled ecosystems: Active role in hydrologic processes and response to water stress IV. Discussion of real cases. *Advances in Water Resources*, 24(7), 745-762. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(01\)00007-0](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(01)00007-0)
- Larcher, W. (2003). Ecophysiology and stress physiology of

functional. In *Physiological plant ecology* (pp. 1-6).

León de la Luz, J. L., Domínguez-Cadena, R., & Medel-Narváez, A. (2012). Florística de la Selva Baja Caducifolia de la Península de Baja California, México. *Botanical Sciences*, 90(2), 143. <https://doi.org/10.17129/botsci.480>

Leyva, C., & Espejel, I. (2013). *El valle de Guadalupe: conjugando tiempos*. Retrieved from [http://webfc.ens.uabc.mx/documentos/El Valle de Guadalupe.pdf](http://webfc.ens.uabc.mx/documentos/ElValle%20de%20Guadalupe.pdf)

Li, Z., Huffman, T., McConkey, B., & Townley-Smith, L. (2013). Monitoring and modeling spatial and temporal patterns of grassland dynamics using time-series MODIS NDVI with climate and stocking data. *Remote Sensing of Environment*, 138, 232-244. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.07.020>

Loizu, J., Massari, C., Álvarez-Mozos, J., Tarpanelli, A., Brocca, L., & Casali, J. (2018). On the assimilation set-up of ASCAT soil moisture data for improving streamflow catchment simulation. *Advances in Water Resources*, 111(December 2016), 86-104. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.10.034>

López-Lambraño, A. A., Fuentes, C., González-Sosa, E., & López-Ramos, A. A. (2017). Pérdidas por intercepción de la vegetación y su efecto en la relación intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la lluvia en una cuenca semiárida. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(4), 37-56. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-04-03>

Luna toledo, E., E.S., & Figuerola, P. (2016). Monitoreo de la fenología y fenometría del olivar a través de la dinámica del ndvi-modis , en Vichigasta, La Rioja. *RADA*, VII, 73-81.

Ritter, P. (1987). Vector-Based Slope and Aspect Generation Algorithm. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(8), 1109-1111.

Secretaría de protección al ambiente gobierno del estado de Baja California. (2006). Programa de ordenamiento ecológico del corredor San Antonio de las Minas - Valle de Guadalupe.

Shao, W., Coenders-Gerrits, M., Judge, J., Zeng, Y., & Su, Y. (2018). The impact of non-isothermal soil moisture transport on evaporation fluxes in a maize cropland. *Journal of Hydrology*, 561(December 2017), 833-847. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.033>

Shoshany, M. (2000). Satellite remote sensing of natural Mediterranean vegetation: A review within an ecological context. *Progress in Physical Geography*, 24(2), 153-178. <https://doi.org/10.1191/030913300675148208>

Sreedevi, P. D., Owais, S., Khan, H. H., & Ahmed, S. (2009). Morphometric Analysis of a Watershed of South India Using SRTM Data and GIS. *Journal Geological Society of India*, 73(April), 543-552. <https://doi.org/10.1007/s12594-009-0038-4>

Troll, C. (1963). *Ecología del paisaje*.

Tyc, G., Tulip, J., Schulten, D., Krischke, M., & Oxfort, M. (2005). The RapidEye mission design. *Acta Astronautica*, 56, 213-219. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2004.09.029>

Urquijo, P. S., & Bocco, G. (2011). Los estudios de paisaje y su importancia en México, 1970-2010. *Journal of Latin American Geography*, 10(2), 37-63. <https://doi.org/10.1353/lag.2011.0025>

Vennetier, M., Ripert, C., Maille, E., Blanc, L., Torre, F., Roche, P., ... Brun, J. J. (2008). A new bioclimatic model calibrated with vegetation for Mediterranean forest areas. *Annals of Forest Science*, 65(7). <https://doi.org/10.1051/forest:2008050>

Villarreal Rodríguez, S. (2012). *Variabilidad interanual de la evapotranspiración en dos ecosistemas semiáridos con patrones de precipitación distintos*. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada , Baja California.

Wilson, J., Chandrasekar, N., & Magesh, N. S. (2012). Morphometric Analysis of Major Sub-Watersheds in Aiyar & Karai Pottanar Basin, Central Tamil Nadu, India Using Remote Sensing & GIS Techniques. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 2(May 2016), 8-15.

ANEXO A. ATRIBUTOS DE LAS IMÁGENES RAPIDEYE

Especificación	Valor	
Bandas espectrales	Azul	440-510 nm
	Verde	520-590 nm
	Roja	630-685 nm
	Red Edge	690-730 nm
	Infrarrojío cercano	760-850 nm
Distancia de muestreo sobre el terreno (Nadir)	6,5 m	
Tamaño de píxel (ortorectificado)	5 m	
Ancho de observación	77 km	
Tiempo de revisita	Diario	
Hora de cruce por el ecuador	11:00 a.m. (aproximadamente)	
Capacidad de adquisición de imágenes	4 millones km ² a diario	
Resolución radiométrica	12 bit	
Sistema de coordenadas	UTM/WGS-84/zona 11 norte	

Fuente: (Tyc et al., 2005)

ANEXO B. CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES RAPIDEYE UTILIZADAS PARA ESTIMAR LOS CAMBIOS ESPACIO-TEMPORALES DE LA VEGETACIÓN

ID	Fecha de toma de la imagen (Día/Mes/Año)	Hora de toma de la imagen (Hora:Min:Seg)	Angulo de elevación solar	Azimut solar	Factor de escala radiométrica
1	26/04/2009	19:11:40	7.04E+01	1.56E+02	1.00E-02
2	14/05/2009	19:10:30	7.51E+01	1.49E+02	1.00E-02
3	14/07/2009	19:12:53	7.65E+01	1.37E+02	1.00E-02
4	24/09/2009	19:23:39	5.72E+01	1.73E+02	1.00E-02
5	08/11/2009	19:25:38	4.14E+01	1.79E+02	1.00E-02
6	04/04/2010	19:31:02	6.37E+01	1.70E+02	1.00E-02
7	14/05/2010	19:30:57	7.66E+01	1.68E+02	1.00E-02
8	02/07/2010	19:21:05	7.90E+01	1.42E+02	1.00E-02
9	27/08/2010	19:34:45	6.79E+01	1.71E+02	1.00E-02
10	08/10/2010	19:17:17	5.19E+01	1.73E+02	1.00E-02
11	15/11/2010	19:32:50	3.96E+01	1.79E+02	1.00E-02
12	01/01/2011	19:19:46	3.47E+01	1.72E+02	1.00E-02
13	29/03/2011	19:26:57	6.11E+01	1.67E+02	1.00E-02
14	25/04/2011	19:32:40	7.13E+01	1.71E+02	1.00E-02
15	13/07/2011	19:34:38	7.92E+01	1.58E+02	1.00E-02
16	03/08/2011	19:32:21	7.49E+01	1.61E+02	1.00E-02
17	27/10/2011	19:37:41	4.53E+01	1.77E+02	1.00E-02
18	30/01/2012	19:31:28	4.01E+01	1.71E+02	1.00E-02
19	25/02/2012	19:33:55	4.86E+01	1.70E+02	1.00E-02
20	09/03/2012	19:27:48	5.34E+01	1.68E+02	1.00E-02
21	17/06/2012	19:26:07	8.03E+01	1.49E+02	1.00E-02
22	07/07/2012	19:25:28	7.90E+01	1.47E+02	1.00E-02
23	08/08/2012	19:40:04	7.38E+01	1.70E+02	1.00E-02
24	15/10/2012	19:22:16	4.92E+01	1.76E+02	1.00E-02
25	21/11/2012	19:42:33	3.80E+01	1.77E+02	1.00E-02
26	24/02/2013	19:36:29	4.86E+01	1.71E+02	1.00E-02
27	14/03/2013	19:34:54	5.56E+01	1.71E+02	1.00E-02
28	15/05/2013	19:37:53	7.72E+01	1.75E+02	1.00E-02
29	17/06/2013	19:29:28	8.07E+01	1.54E+02	1.00E-02
30	27/07/2013	19:26:24	7.59E+01	1.53E+02	1.00E-02
31	07/09/2013	19:33:04	6.38E+01	1.74E+02	1.00E-02
32	06/10/2013	19:41:05	5.27E+01	1.77E+02	1.00E-02
33	10/11/2013	19:29:30	4.08E+01	1.80E+02	1.00E-02
34	27/12/2013	19:36:16	3.48E+01	1.77E+02	1.00E-02
35	08/02/2014	19:38:24	4.30E+01	1.73E+02	1.00E-02
36	16/03/2014	19:37:12	5.64E+01	1.72E+02	1.00E-02
37	24/04/2014	19:36:40	7.11E+01	1.74E+02	1.00E-02

ID	Fecha de toma de la imagen (Día/Mes/Año)	Hora de toma de la imagen (Hora:Min:Seg)	Angulo de elevación solar	Azimut solar	Factor de escala radiométrica
38	14/05/2014	19:32:15	7.67E+01	1.69E+02	1.00E-02
39	05/06/2014	19:37:44	8.06E+01	1.70E+02	1.00E-02
40	28/07/2014	19:32:14	7.62E+01	1.59E+02	1.00E-02
41	30/08/2014	19:26:42	6.65E+01	1.67E+02	1.00E-02
42	28/10/2014	19:19:48	4.48E+01	1.76E+02	1.00E-02
43	23/12/2014	19:17:03	3.43E+01	1.72E+02	1.00E-02
44	04/01/2015	19:29:53	3.52E+01	1.74E+02	1.00E-02
45	04/03/2015	19:30:52	5.13E+01	1.69E+02	1.00E-02
46	12/04/2015	19:24:34	6.64E+01	1.66E+02	1.00E-02
47	03/06/2015	19:17:32	7.88E+01	1.46E+02	1.00E-02
48	13/07/2015	19:17:38	7.73E+01	1.40E+02	1.00E-02
49	24/10/2015	19:21:28	4.63E+01	1.77E+02	1.00E-02
50	17/11/2015	19:05:19	3.88E+01	1.72E+02	1.00E-02
51	08/12/2015	19:10:10	3.50E+01	1.72E+02	1.00E-02
52	17/02/2016	19:14:32	4.48E+01	1.64E+02	1.00E-02
53	09/03/2016	19:19:08	5.30E+01	1.64E+02	1.00E-02
54	03/04/2016	19:17:03	6.28E+01	1.62E+02	1.00E-02
55	05/06/2016	19:02:12	7.68E+01	1.31E+02	1.00E-02
56	02/07/2016	19:06:15	7.67E+01	1.29E+02	1.00E-02
57	06/08/2016	19:02:18	7.09E+01	1.41E+02	1.00E-02
58	04/09/2016	19:09:42	6.36E+01	1.60E+02	1.00E-02
59	21/10/2016	18:54:28	4.62E+01	1.67E+02	1.00E-02
60	03/12/2016	18:53:17	3.50E+01	1.68E+02	1.00E-02
61	20/02/2017	18:49:37	4.43E+01	1.55E+02	1.00E-02
62	25/03/2017	19:11:12	5.88E+01	1.60E+02	1.00E-02
63	11/04/2017	19:02:10	6.45E+01	1.53E+02	1.00E-02
64	08/06/2017	19:02:26	7.69E+01	1.30E+02	1.00E-02
65	30/07/2017	18:57:00	7.15E+01	1.34E+02	1.00E-02
66	04/08/2017	19:02:05	7.13E+01	1.39E+02	1.00E-02
67	05/10/2017	18:50:10	5.17E+01	1.62E+02	1.00E-02
68	24/12/2017	18:51:47	3.33E+01	1.65E+02	1.00E-02
69	19/01/2018	18:34:02	3.43E+01	1.56E+02	1.00E-02
70	28/02/2018	18:41:08	4.63E+01	1.51E+02	1.00E-02
71	04/05/2018	18:42:35	6.91E+01	1.35E+02	1.00E-02
72	02/08/2018	18:34:36	6.73E+01	1.24E+02	1.00E-02
73	07/09/2018	18:38:30	5.98E+01	1.46E+02	1.00E-02

Anexo C. Estadísticos de los valores obtenidos del índice de borde rojo normalizado.

Fecha	Min.	Median	Max.
26/04/2009	0.05	0.23	0.49
14/05/2009	0.04	0.21	0.49
14/07/2009	0.04	0.20	0.49
24/09/2009	0.06	0.21	0.65
25/01/2010	-1.00	0.34	1.00
18/02/2010	-0.20	0.31	0.63
04/04/2010	0.00	0.32	0.61
14/05/2010	0.04	0.27	0.57
02/07/2010	0.02	0.20	0.48
27/08/2010	0.06	0.24	0.60
08/10/2010	-0.77	0.20	0.62
15/11/2010	-0.03	0.32	1.00
01/01/2011	-1.00	0.31	1.00
29/03/2011	0.05	0.32	1.00
25/04/2011	0.06	0.28	0.57
30/05/2011	0.03	0.22	0.54
13/07/2011	-0.02	0.20	0.51
03/08/2011	0.05	0.21	0.54
27/10/2011	0.04	0.22	1.00
30/01/2012	-0.33	0.33	1.00
25/02/2012	-1.00	0.31	0.66
09/03/2012	0.04	0.29	0.76
17/06/2012	0.05	0.19	0.48
07/07/2012	-0.05	0.18	0.51
02/08/2012	0.02	0.21	0.52
08/08/2012	-0.01	0.22	0.54
15/10/2012	-0.32	0.20	0.54
21/11/2012	0.02	0.26	1.00
24/02/2013	0.01	0.47	0.79
14/03/2013	-0.02	0.31	0.69
15/05/2013	0.04	0.20	0.50
17/06/2013	0.03	0.17	0.46
27/07/2013	0.04	0.19	0.51
07/09/2013	0.06	0.22	0.53
06/10/2013	-0.16	0.20	0.54
10/11/2013	-0.03	0.23	1.00
27/12/2013	0.02	0.26	1.00
08/02/2014	0.08	0.27	1.00
16/03/2014	0.02	0.23	0.50
23/04/2014	0.00	0.22	0.56
14/05/2014	0.03	0.18	0.48
05/06/2014	0.02	0.16	0.47
28/07/2014	0.07	0.20	0.50

Fecha	Min.	Median	Max.
30/08/2014	0.02	0.18	0.47
28/10/2014	0.00	0.19	1.00
23/12/2014	0.01	0.27	1.00
04/01/2015	-0.12	0.31	1.00
04/03/2015	-0.18	0.33	1.00
12/04/2015	0.00	0.24	0.53
30/05/2015	-0.01	0.19	0.49
03/06/2015	0.01	0.19	0.52
13/07/2015	0.03	0.17	0.51
24/10/2015	0.04	0.21	1.00
17/11/2015	0.00	0.21	1.00
08/12/2015	-1.00	0.19	1.00
17/02/2016	0.01	0.35	1.00
09/03/2016	0.05	0.36	0.95
03/04/2016	0.05	0.29	0.58
05/06/2016	0.00	0.21	0.57
02/07/2016	0.04	0.20	0.53
06/08/2016	0.02	0.19	0.54
04/09/2016	-0.01	0.20	1.00
21/10/2016	-1.00	0.21	1.00
03/12/2016	0.00	0.26	1.00
02/02/2017	0.02	0.39	1.00
25/03/2017	0.00	0.38	0.80
11/04/2017	0.03	0.33	0.62
08/06/2017	0.01	0.23	0.54
30/07/2017	-0.01	0.22	0.50
04/08/2017	0.00	0.24	0.56
30/09/2017	0.03	0.22	0.54
05/10/2017	-0.02	0.22	1.00
24/12/2017	-0.16	0.24	1.00
19/01/2018	-0.32	0.28	1.00
28/02/2018	-0.12	0.28	0.93
04/05/2018	-0.05	0.22	0.55
07/09/2018	0.05	0.21	0.50
08/11/2019	0.02	0.23	1.00

ANEXO D. Descripción de los rasgos físicas de las especies vegetales presentes en la subcuenca "El Mogor".

Especie	Descripción
<i>Eriogonum fasciculatum</i>	Es de apariencia variable, formando una zarza compacta y desigual o un arbusto extendido que se acerca a 2 metros (6.6 pies) de altura y 3 metros (9.8 pies) de ancho. Las hojas crecen en racimos en los nudos a lo largo de las ramas y son coriáceas, lanosas en la parte inferior y enrolladas debajo de los bordes. Las flores aparecen en racimos densos y con volantes que pueden tener desde unos pocos milímetros hasta 15 centímetros de ancho. Cada flor individual es rosa y blanca y solo unos pocos milímetros de ancho.
<i>Artemisia californica</i>	La planta ramifica desde la base y crece a su alrededor alcanzando una altura de 150-250 cm. Los tallos son flexibles y glabros. Las hojas de 1-10 cm de longitud son pinnadas, divididas en 2-4 lóbulos de al menos 5 cm de longitud y menos de 1 mm de ancho. Las hojas son velludas y de color verde pálido a gris. Las flores de color amarillento se encuentran en capítulos. Los frutos producidos tienen de 0.8 a 1.5 mm de longitud y son resinosos.
<i>Malosma laurina</i>	Es un arbusto de gran porte o pequeño árbol redondeado, con hoja perenne, alcanza un tamaño de 3 a 5 metros de altura. Las hojas tienen forma de taco (plegadas por el eje central). Cuando están aplanadas, tienen la forma de las hojas de laurel, con la lámina de la hoja en forma de lanza de hasta 10 cm de largo. Las venas de las hojas, y los bordes de las hojas, son de un color rojizo brillante durante todo el año. Las hojas y tallos son fragantes y dan al chaparral su fragancia característica. Las hojas y tallos están llenos de compuestos volátiles que le dan el aroma. Las hojas aparecen húmedas y flexibles durante todo el año, pero son altamente inflamables. Se ha adaptado a los frecuentes incendios en las zonas de chaparral, donde crece, y después de un incendio que quema sus partes aéreas, de rebrotes subterráneos nuevos surgen los tallos y hojas. En el sur de California, donde crece, los inviernos son relativamente húmedo y el verano son secos (clima mediterráneo).
<i>Cneoridium dumosum</i>	Es un arbusto perennifolio muy ramificado tan alto como ancho que puede sobrepasar el metro de altura. Sus ramas están cubiertas de pequeñas hojas y flores en grupos de 1 a 3. Cada flor tiene un cm de ancho con cuatro o cinco pétalos blancos y ocho anteras. Su fruto es una baya de medio cm de ancho cubierto por una piel similar a un cítrico. Cada una contiene una o dos semillas esféricas.
<i>Eriodictyon trichocalyx</i>	es un arbusto que crece erecto hasta unos 2 metros de altura, con hojas en forma de lanza u ovaladas de hasta 14 centímetros de largo. Son sin pelo y resinosos a densamente lanosos. La inflorescencia es un grupo de flores en forma de campana de color blanco a púrpura claro.

Especie	Descripción
<i>Rhamnus crocea</i>	<p>En elevaciones más altas, la planta tiende a una estatura mucho más pequeña y a menudo parece más delgada y raída; raras, las plantas grandes en estas elevaciones tienden a ser viejas y leñosas, y pueden tener un gran tronco en forma de árbol en su base y una gran cantidad de madera muerta y ramitas.</p> <p>Este arbusto de hoja perenne, tiene típicamente uno o dos metros de altura. <i>R. crocea</i> ocurre típicamente en chaparral, con asociados de flora comunes como <i>toyon</i> y <i>hollyleaf cherry</i>. Cubre dos estribaciones montañosas importantes. En California, rodea todo el Valle de San Joaquín, las cordilleras de la costa del Pacífico y las estribaciones occidentales de Sierra Nevadas.</p>
<i>Baccharis sarothroides</i>	<p>Es una especie de arbusto floreciente de América del Norte conocida por los nombres comunes escoba <i>baccharis</i>, <i>desertbroom</i>, <i>greasewood</i>, <i>rosin-bush</i> y <i>groundse</i> en inglés y "escoba amarga" o "romerillo" en español. Este es un arbusto leñoso que se extiende, generalmente pegajoso con secreciones glandulares a lo largo de los tallos verdes principalmente sin hojas. Las hojas pequeñas y gruesas tienen unos pocos centímetros de largo y están ausentes gran parte del año, lo que le da al arbusto una apariencia espinosa y ramita. Florece abundantemente con pequeñas flores verdes en plantas masculinas y femeninas separadas. Originario del desierto de Sonora en el noroeste de México (Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Sonora) y el sudoeste de los Estados Unidos (sur de California, Arizona, Nuevo México, oeste de Texas), es común en suelos de grava seca y áreas perturbadas</p>
<i>Xylococcus bicolor</i>	<p>Es un arbusto de crecimiento lento que se asemeja a los <i>Arctostaphylos</i>. Está en posición vertical, por lo general con un solo tronco y una corona aproximadamente esferoide. Las hojas son de color verde, oblongas, brillante oscuro en la parte superior y muy tenues de color con una textura de fieltro en la parte inferior. Los bordes de las hojas se doblan a medida que envejecen. La corteza es lisa y un color rojo-gris. Las flores, que aparecen entre diciembre y febrero, dependiendo de las lluvias, son de color blanco o rosado con una mezcla de color amarillento en el extremo abierto de 8 a 10 mm de longitud y cuelgan como campanas en pequeños grupos cerca de los extremos de las ramas. El fruto es de color rojo oscuro brillante a casi negro, de 7 mm de diámetro y tiene muy poca carne, siendo sobre todo una semilla grande y leñosa.</p>
<i>Rhus ovata</i>	<p>La altura de <i>Rhus ovata</i> varía de 2 a 10 m (6.6-32.8 pies) y tiene una apariencia redondeada. Las ramitas son gruesas y de color rojizo. Su follaje consiste en hojas simples, de color verde oscuro, coriáceas, ovadas que se pliegan a lo largo de la nervadura central. La disposición de las hojas es alternativa. Florece en abril y mayo, y sus inflorescencias que ocurren en los extremos de las ramas consisten en pequeñas flores de 5 pétalos que parecen ser de color rosa, pero</p>

Especie	Descripción
<i>Ceanothus tomentosus</i>	<p>en un examen más detallado en realidad tienen pétalos de color blanco a rosa con sépalos rojos . Además, las flores pueden ser bisexuales o pistiladas. El fruto es una drupa pegajosa y rojiza, y es pequeña, de unos 6 a 8 mm de diámetro .</p> <p>Es un arbusto erecto que se acerca a los tres metros de altura máxima. Las partes leñosas son rojizas, especialmente cuando son nuevas. Las hojas perennes están dispuestas alternativamente, de forma ovalada, verde oscuro y ligeramente vellosas en la parte superior y lanosas en la parte inferior. Están bordeados con pequeños dientes glandulares. La inflorescencia es un racimo de varios centímetros de largo de flores blancas a azul profundo. El fruto es una cápsula lobulada de unos pocos milímetros de largo que es pegajosa cuando es nueva.</p>
<i>Hazardia squarrosa</i>	<p>Es una especie de arbusto de América del Norte en la familia de las margaritas conocida por el nombre común <i>sawtooth goldenbush</i> . Es originaria de California en los Estados Unidos y Baja California en México; crece en matorrales costeros e interiores y hábitats chaparrales . Es un arbusto de tamaño variable, desde bajo y grumoso hasta extenso de más de 2 metros (6 pies 7 pulgadas) de altura. Está cubierto de hojas gruesas y dentadas de unos pocos centímetros de largo y generalmente no es muy velludo ni velludo. Tiene numerosas cabezas de flores cubiertas de filamentosos de punta verdosa y que se abren en una serie de floretes de disco largos de color amarillo a ligeramente rojizo, pero sin floretes de rayos.</p>
<i>Quercus agrifolia</i>	<p>Típicamente tiene un tronco con muchas ramas y en su madurez alcanza una altura de 10 a 25 metros. Algunos ejemplares pueden llegar a la edad de más de 250 años, con troncos de hasta tres y cuatro metros de diámetro. El tronco, particularmente en individuos mayores, puede ser muy retorcido, masivo y nudoso. La corona es ampliamente redondeada y densa, especialmente cuando tiene entre 20 y 70 años; más tarde en su vida, el tronco y ramas son más bien definidos y el follaje menos tupido.</p>
<i>Arctostaphylos patula</i>	<p>Es un arbusto que alcanza un tamaño de uno a dos metros de altura. Es bajo con algunas de las ramas inferiores de enraizamiento en el suelo y otras que se extienden más hacia fuera que hacia arriba. Los tallos están torcidos y son de color marrón rojizo, y brillante debido a la secreción glandular. Las hojas tienen forma ovalada a casi redondeada, y plana, brillante y suave. Mide 6 centímetros de largo y cuatro de ancho como máximo. Las flores son abundantes de color blanco al rosa y con forma de urna, cada uno con cinco lóbulos pequeños en la boca de la corola, colgando en racimos. Los frutos son de color marrón oscuro en forma de drupas de casi un centímetro de ancho, cada uno con alrededor de cinco duras semillas recubiertas.</p>

ANEXO E. Distribución de frecuencia del índice para cada imagen analizada.

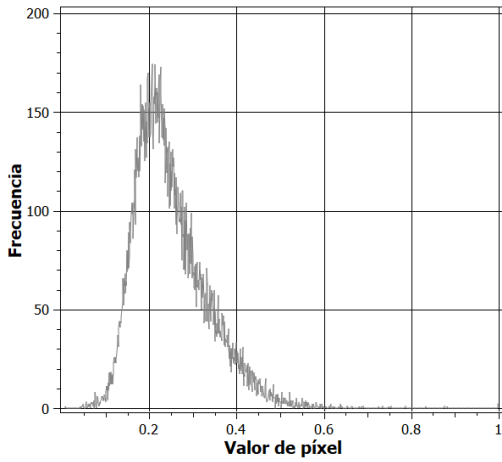


Figura E. 1. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 08 de noviembre 2009.

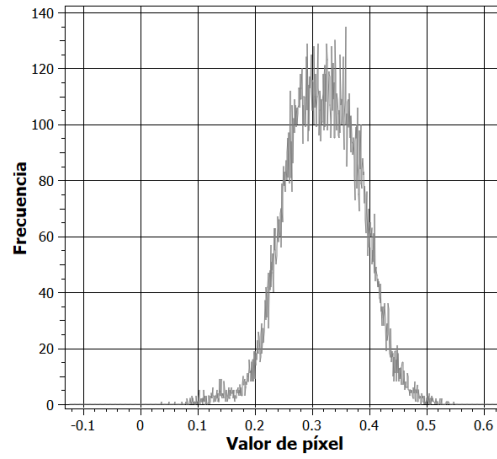


Figura E. 2. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 04 abril 2010.

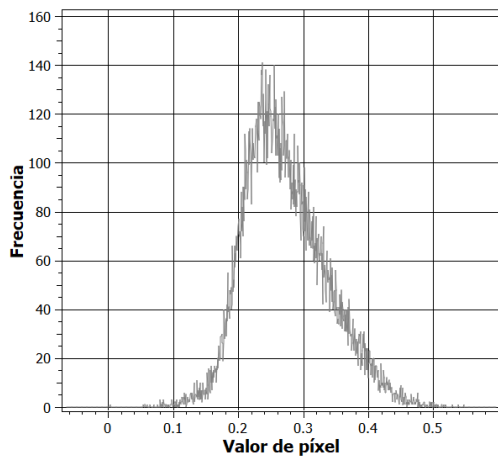


Figura E. 3. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 14 mayo 2010.

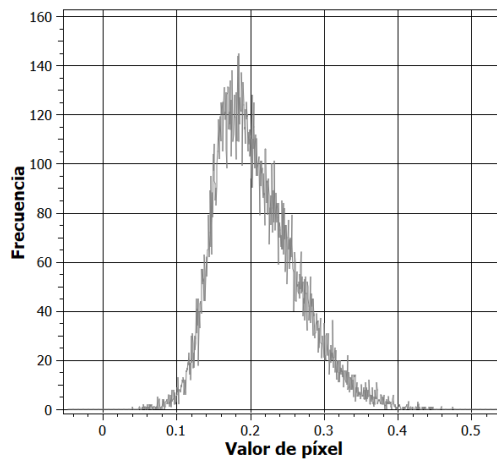


Figura E. 4. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 02 julio 2010.

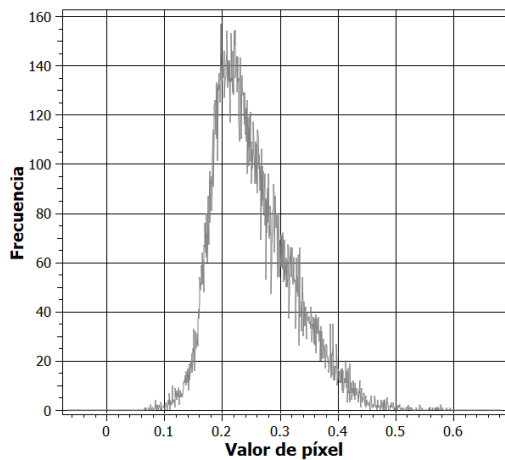


Figura E. 5. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 27 agosto 2010.

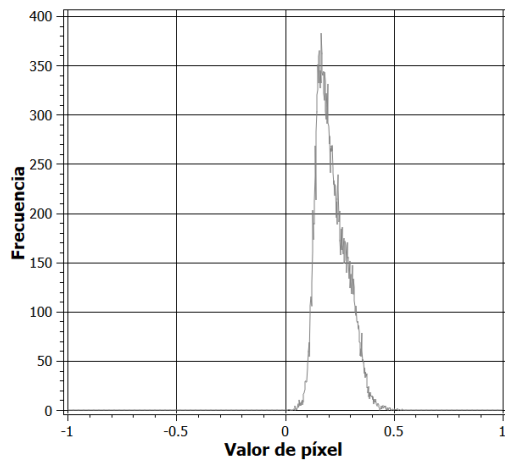


Figura E. 6. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 08 octubre 2010.

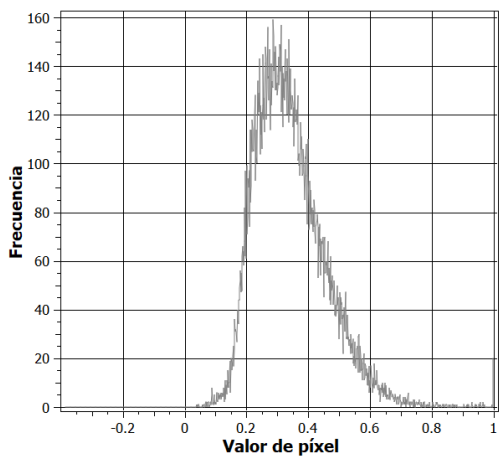


Figura E. 7. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 15 noviembre 2010.

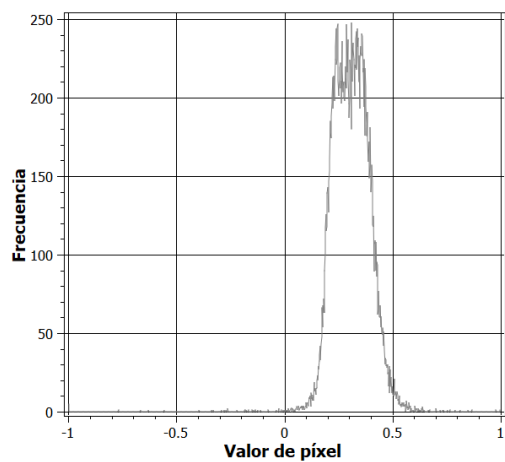


Figura E. 8. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 01 enero 2011.

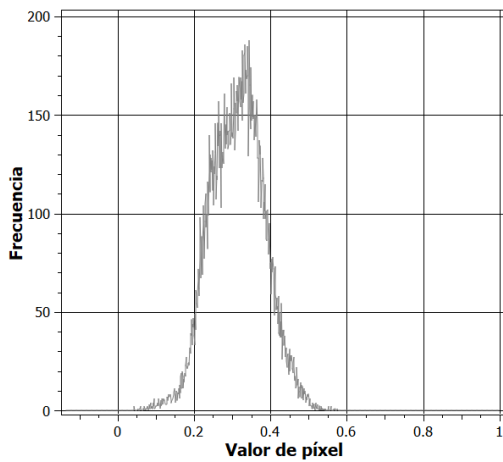


Figura E. 9. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 29 marzo 2011.

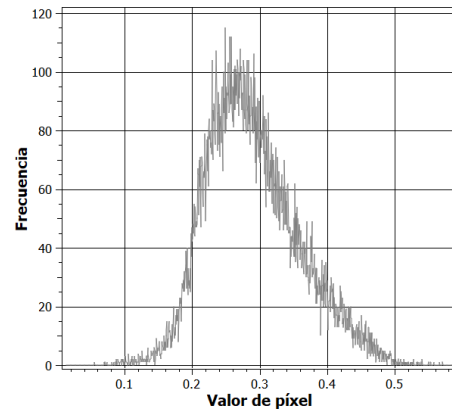


Figura E. 10. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 25 mayo 2011.

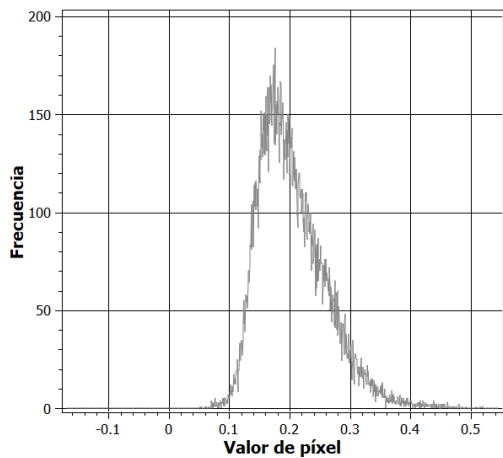


Figura E. 11. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 13 de julio 2011.

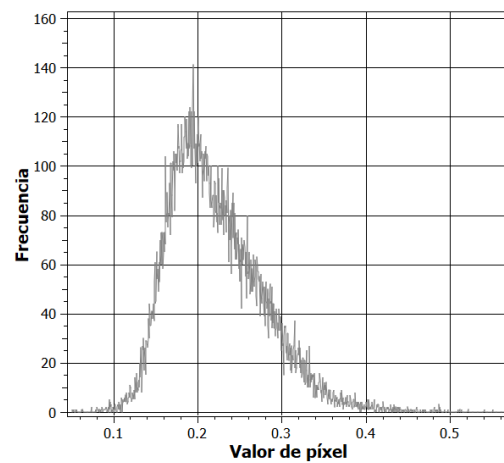


Figura E. 12. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 03 agosto 2011.

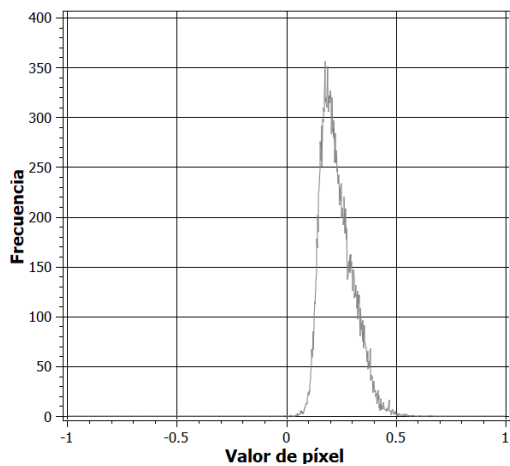


Figura E. 13. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 27 de octubre 2011.

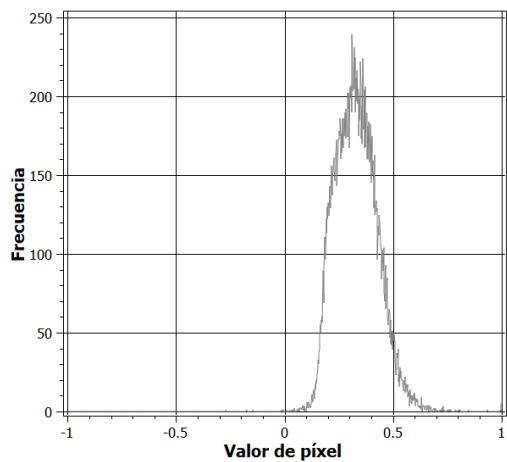


Figura E. 14. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 30 de enero 2012.

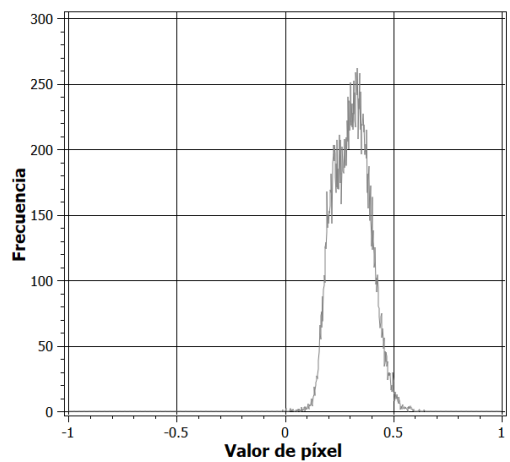


Figura E. 15. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 25 de febrero 2012.

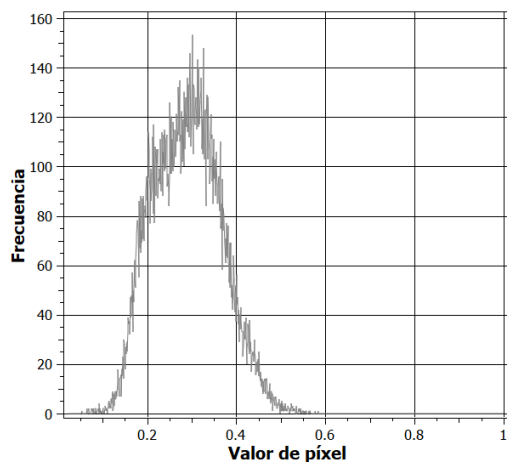


Figura E. 16. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 09 de marzo 2012.

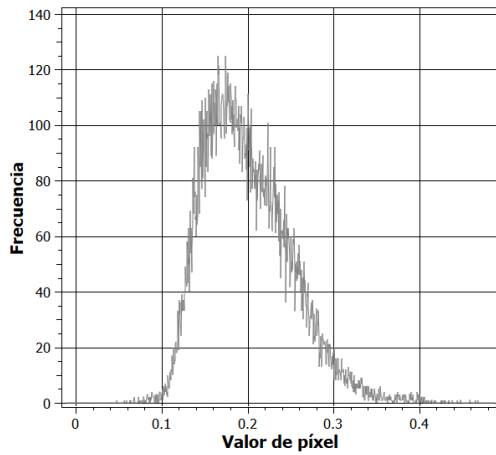


Figura E. 17. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 17 de junio 2012.

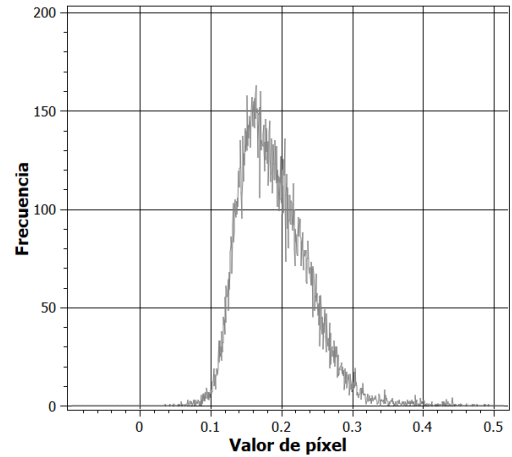


Figura E. 18. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 7 de julio 2012.

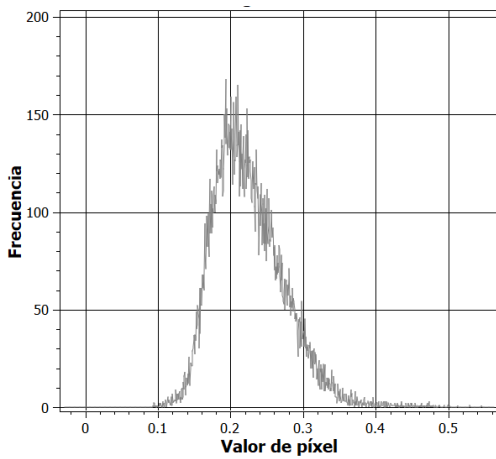


Figura E. 19. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 8 de agosto 2012.

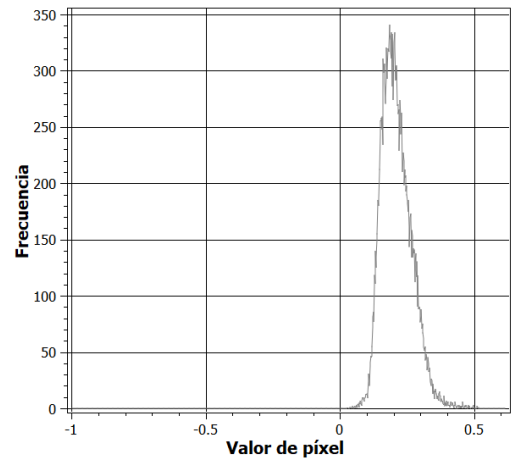


Figura E. 20. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 15 de octubre 2012.

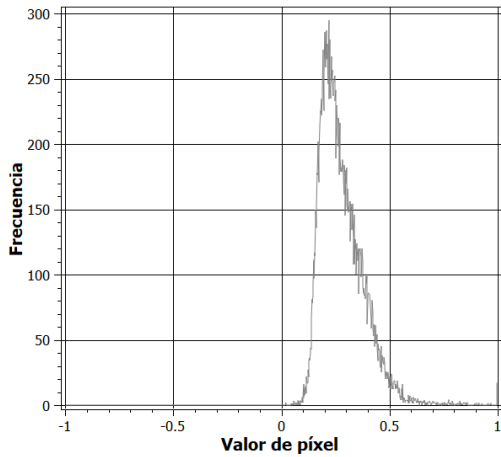


Figura E. 21. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 21 de noviembre 2012.

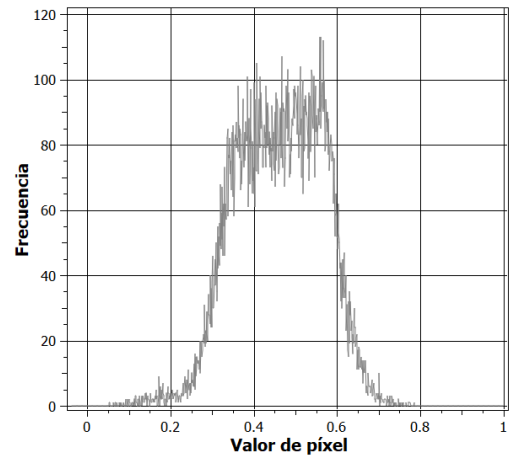


Figura E. 22. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 24 de febrero 2013.

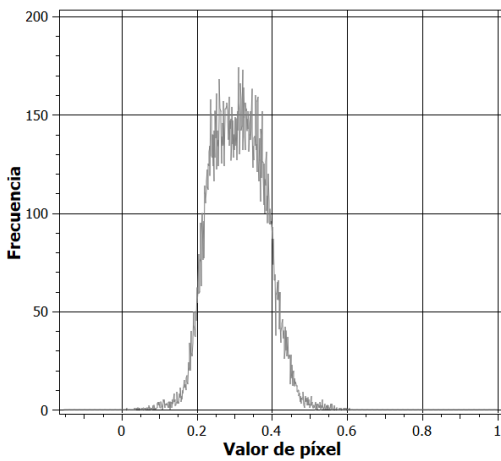


Figura E. 23. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 14 de marzo 2013.

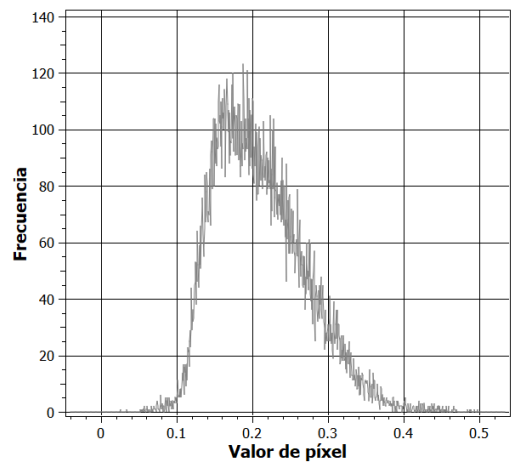


Figura E. 24. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 15 de mayo 2013.

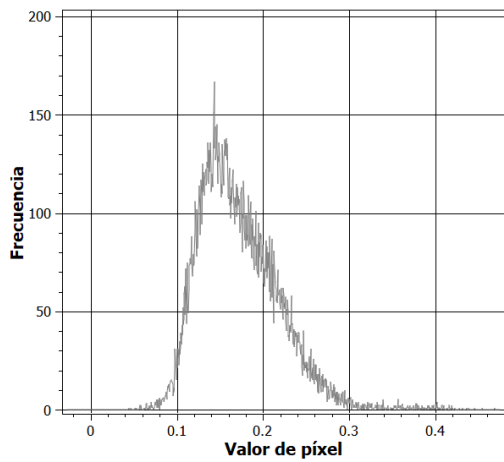


Figura E. 25. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 17 de junio 2013.

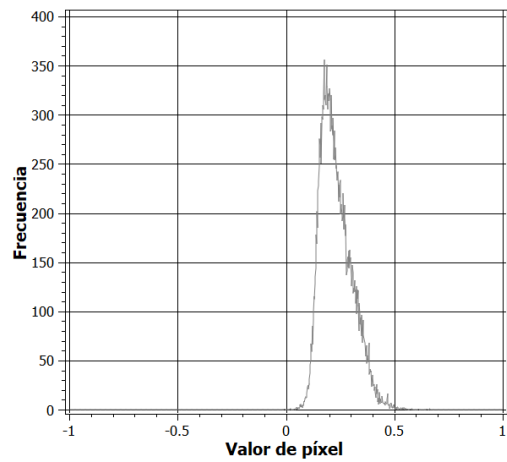


Figura E. 26. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 27 de julio 2013.

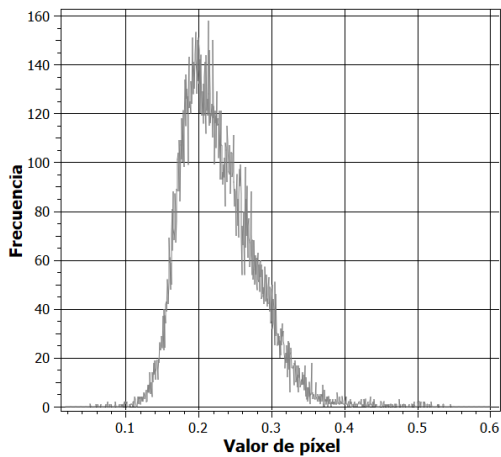


Figura E. 27. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 07 de septiembre 2013.

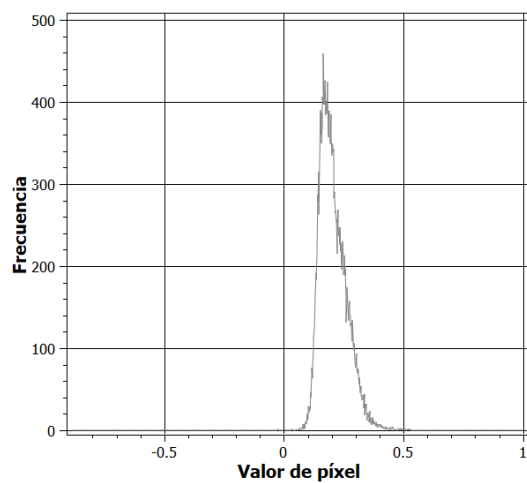


Figura E. 28. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 06 de octubre 2013.

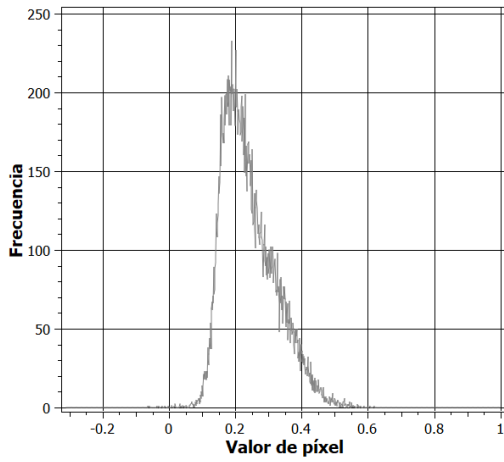


Figura E. 29. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 10 de noviembre 2013

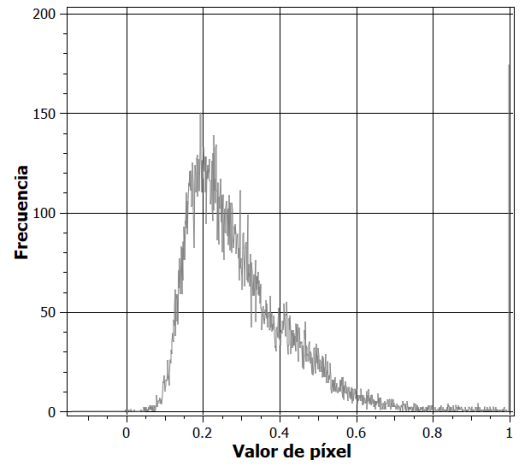


Figura E. 30. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 27 de diciembre 2013.

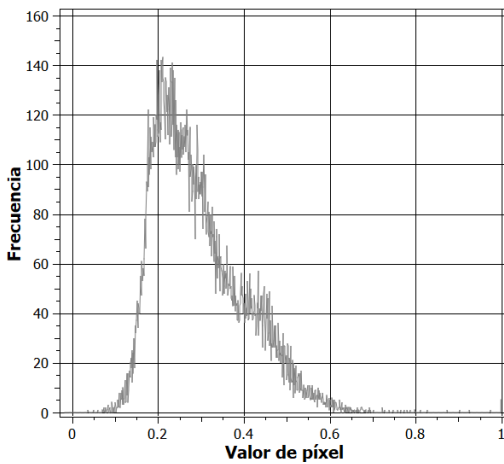


Figura E. 31. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 08 de febrero 2014.

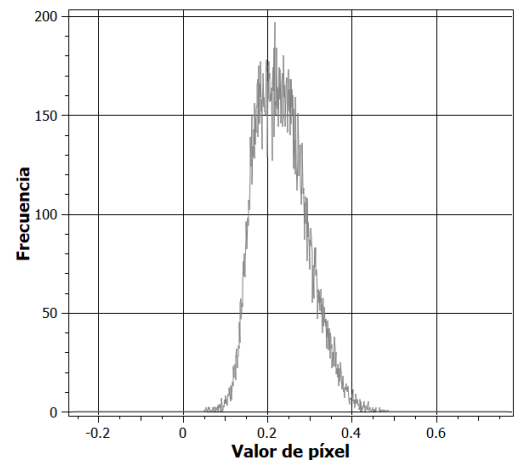


Figura E. 32. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 16 de marzo 2014.

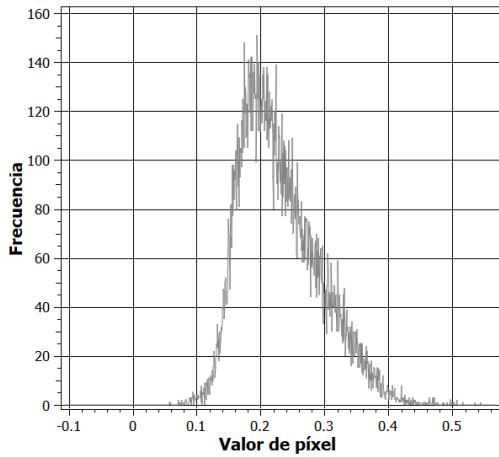


Figura E. 33. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 24 de abril 2014.

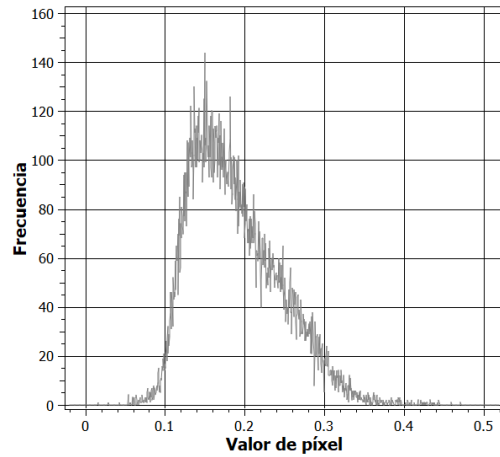


Figura E. 34. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 14 de mayo 2014.

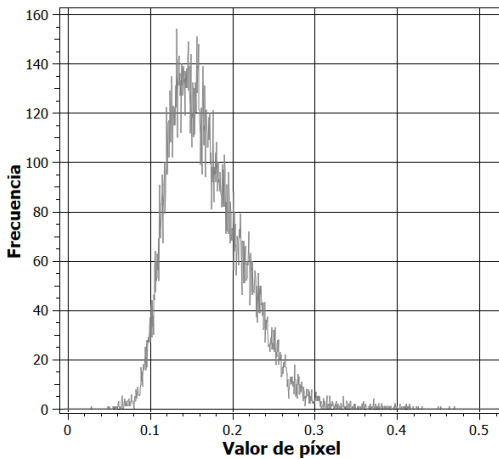


Figura E. 35. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 05 de junio 2014.

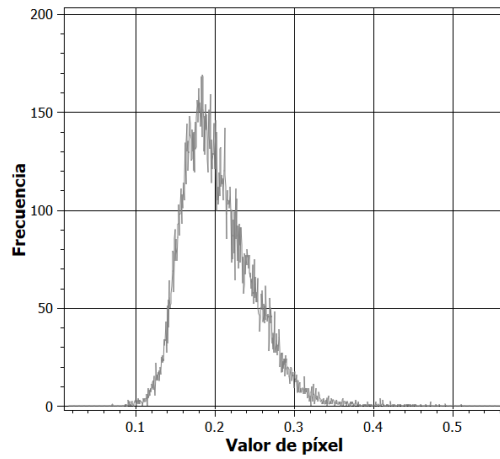


Figura E. 36. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 28 de julio 2014.

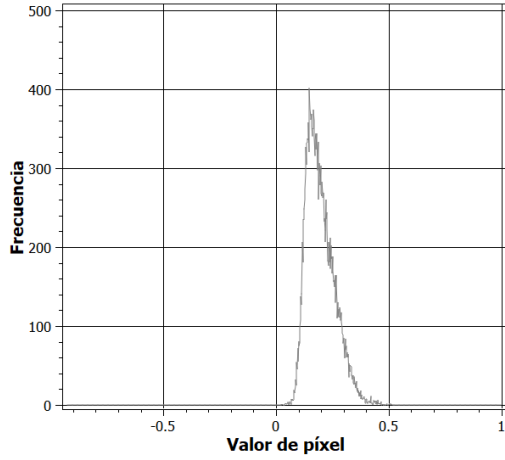


Figura E. 37. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 30 de agosto 2014.

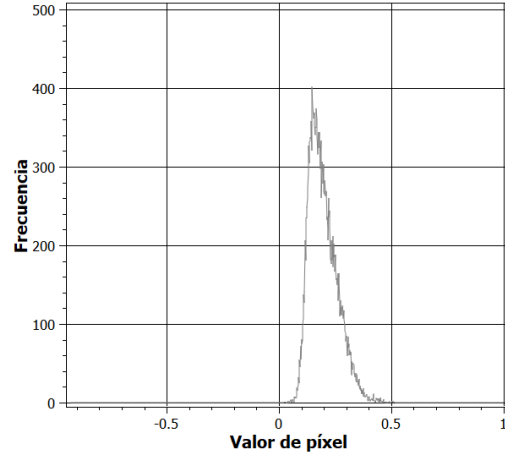


Figura E. 38. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 28 de octubre 2014.

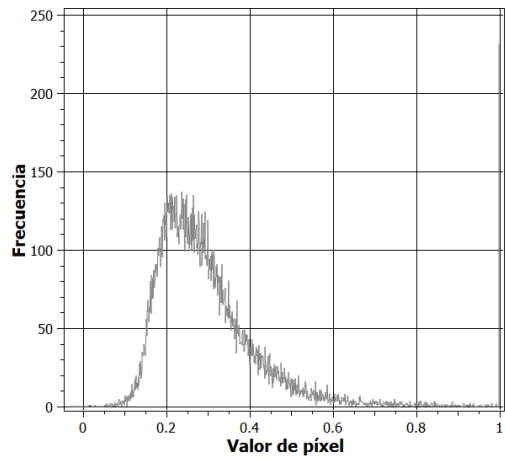


Figura E. 39. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 23 de diciembre 2014.

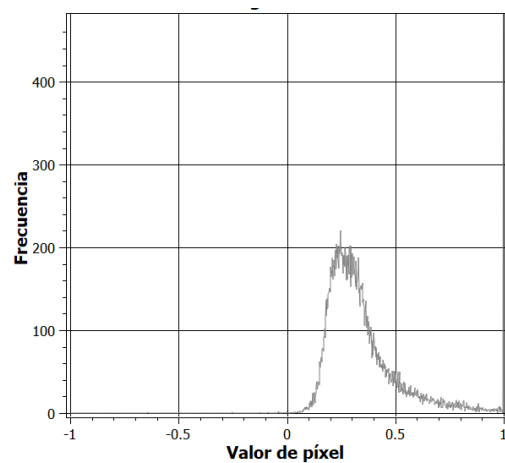


Figura E. 40. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 04 enero 2015.

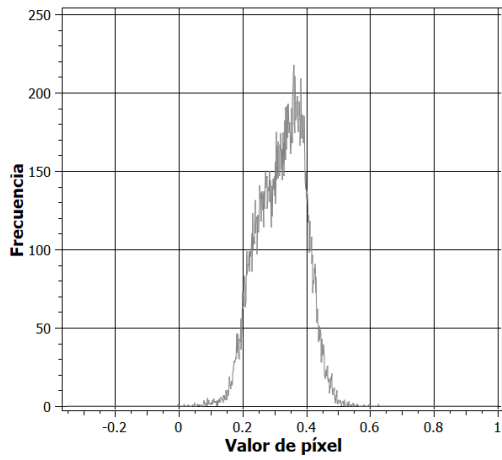


Figura E. 41. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 4 de marzo 2015.

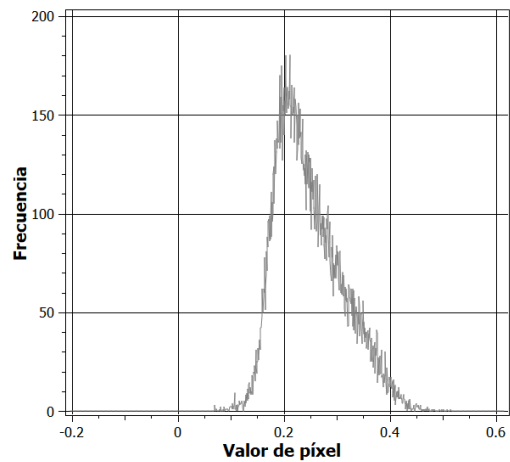


Figura E. 42. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 12 de abril 2015.

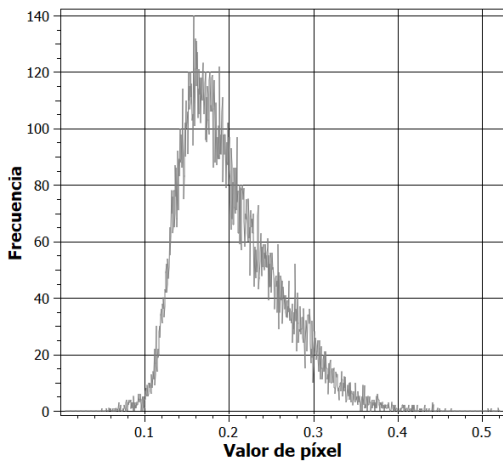


Figura E. 43. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 30 de junio 2015.

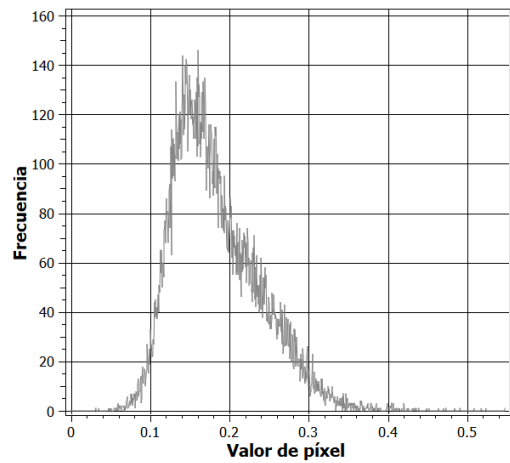


Figura E. 44. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 13 de julio 2015.

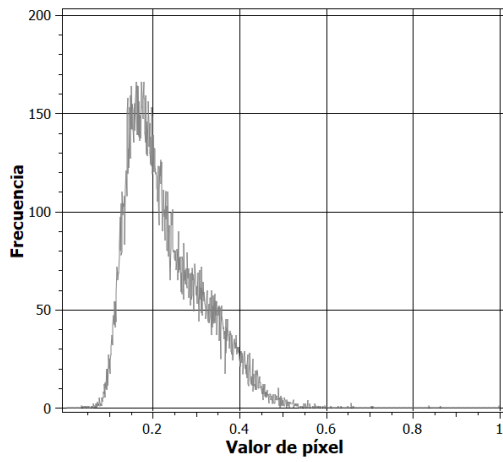


Figura E. 45. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 24 de octubre 2015.

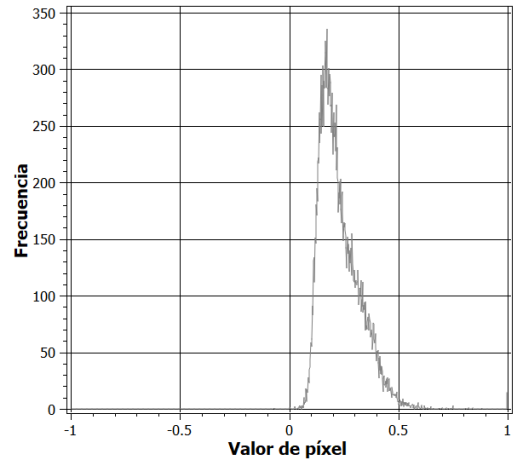


Figura E. 46. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 17 de noviembre 2015.

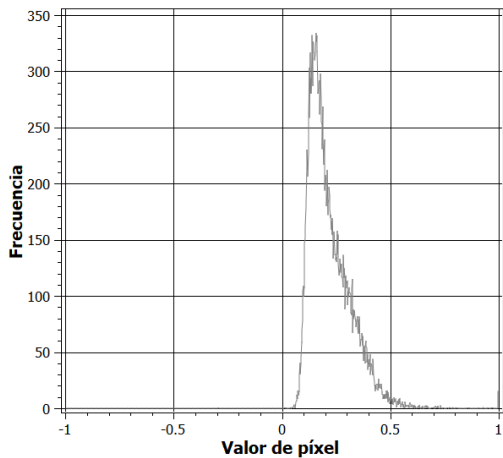


Figura E. 47 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 08 de diciembre 2015.

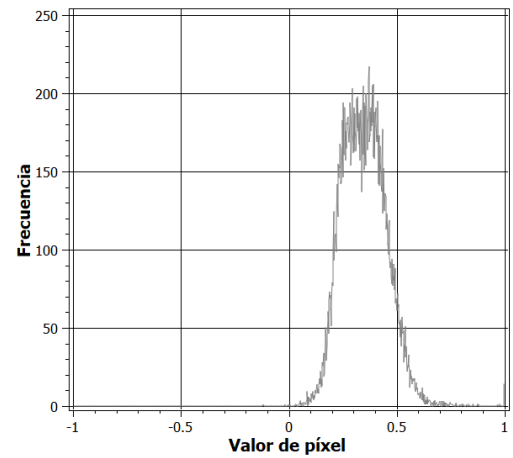


Figura E. 48 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 17 de febrero 2016.

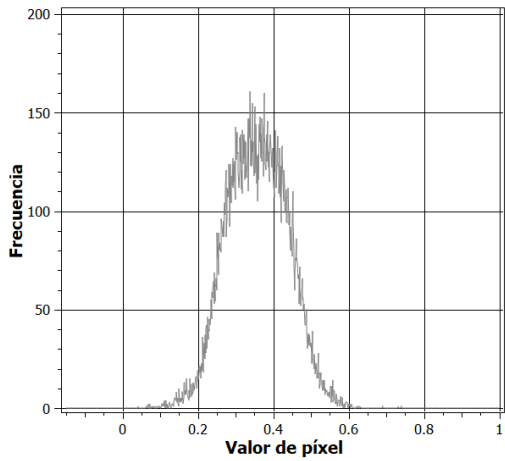


Figura E. 49 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 09 de marzo 2016.

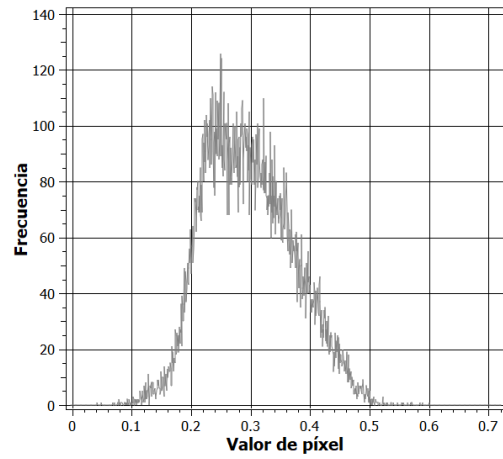


Figura E. 50 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 03 abril 2016.

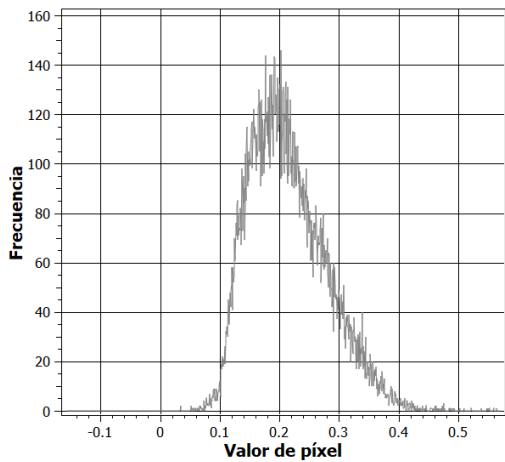


Figura E. 51 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 05 de junio 2016.

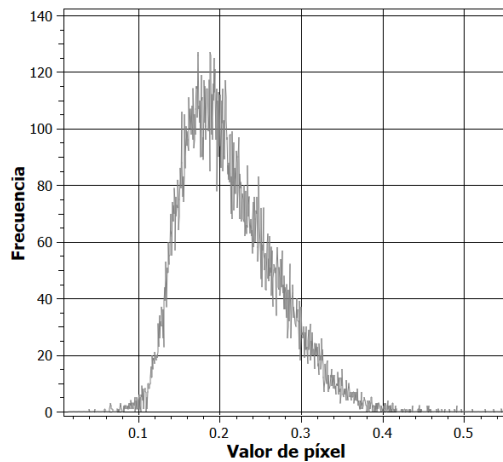


Figura E. 52 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 02 de julio 2016.

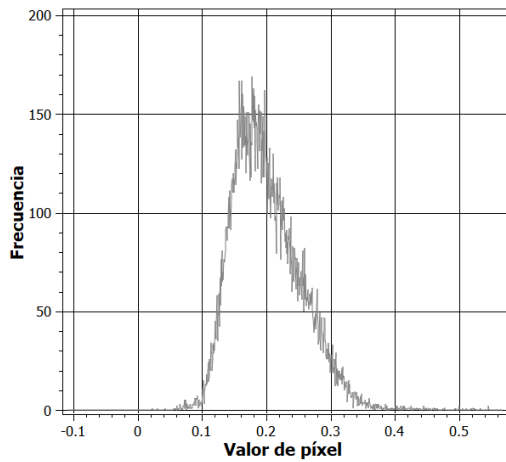


Figura E. 53 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 06 de agosto 2016.

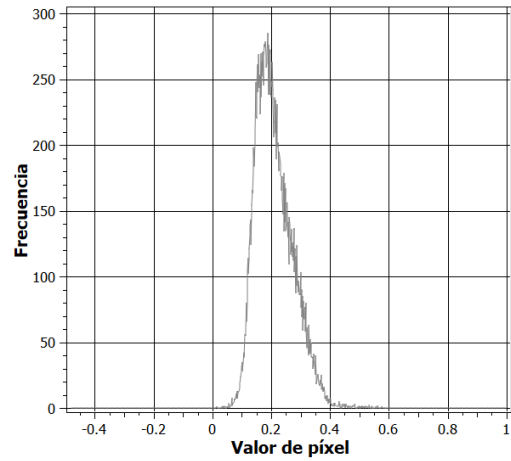


Figura E. 54 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 04 de septiembre 2016.

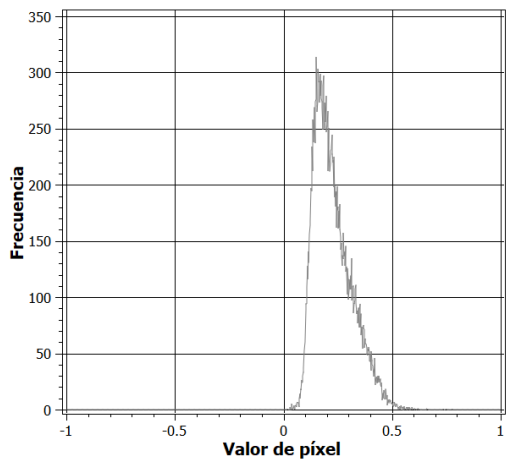


Figura E. 55 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 21 de octubre 2016.

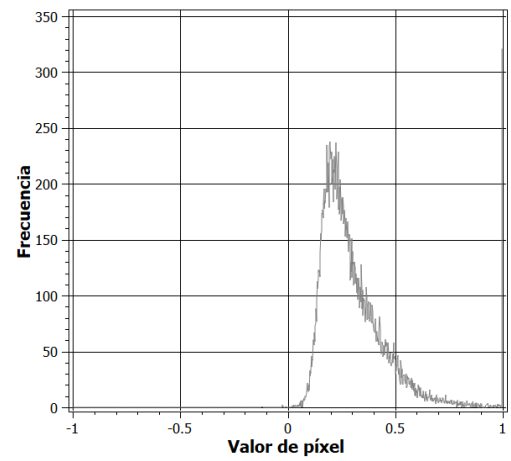


Figura E. 56 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 03 de diciembre 2016.

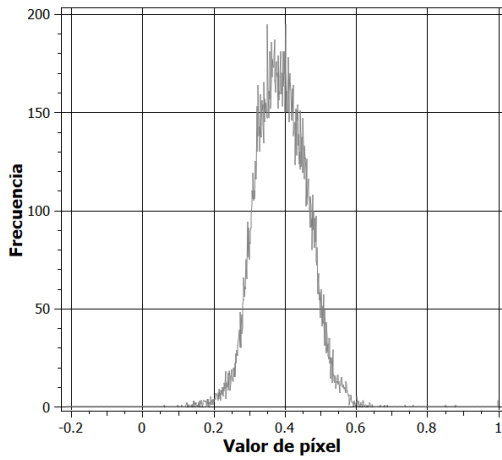


Figura E. 57 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 20 de febrero 2017.

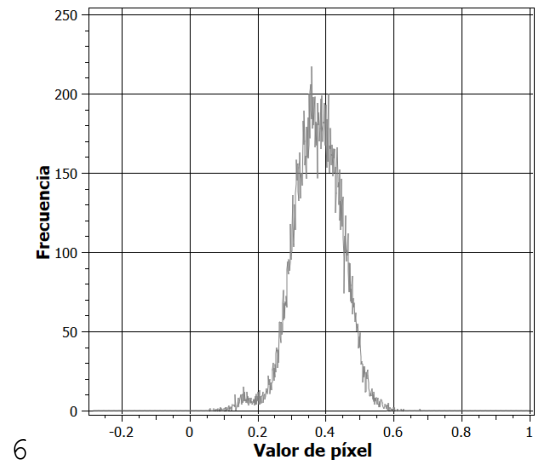


Figura E. 58 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 25 de marzo 2017.

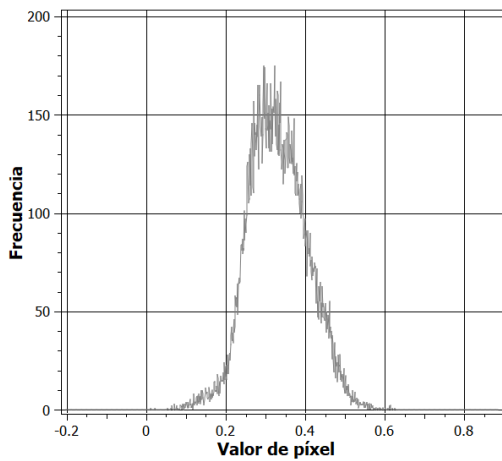


Figura E. 59 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 11 de abril 2017.

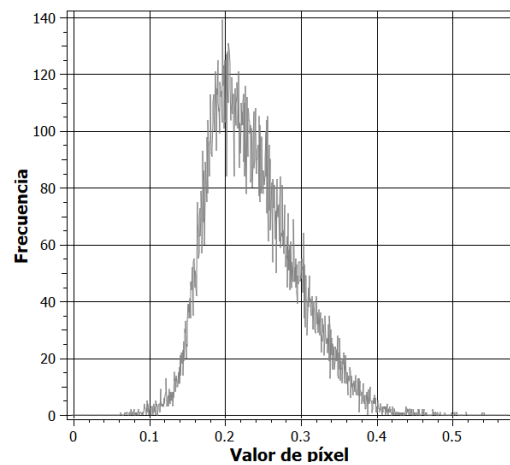


Figura E. 60 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 08 de junio 2017.

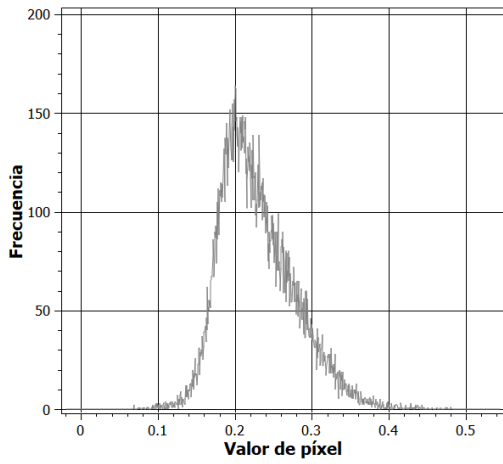


Figura E. 61 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 30 de julio 2017.

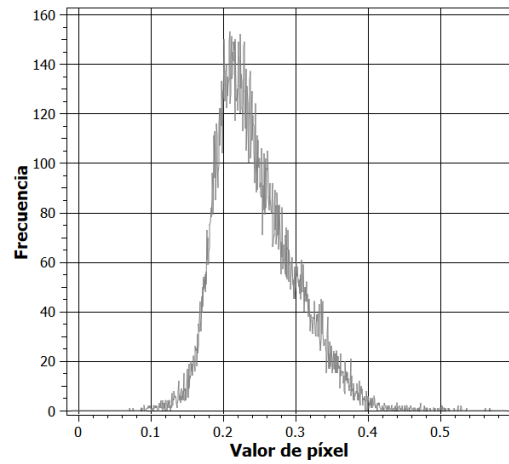


Figura E. 62 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 04 de agosto 2017.

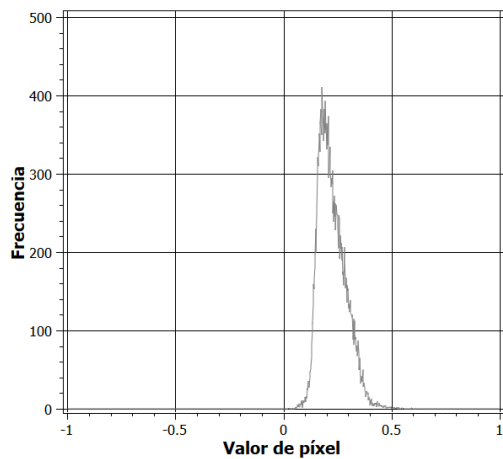


Figura E. 63 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 05 de octubre 2017

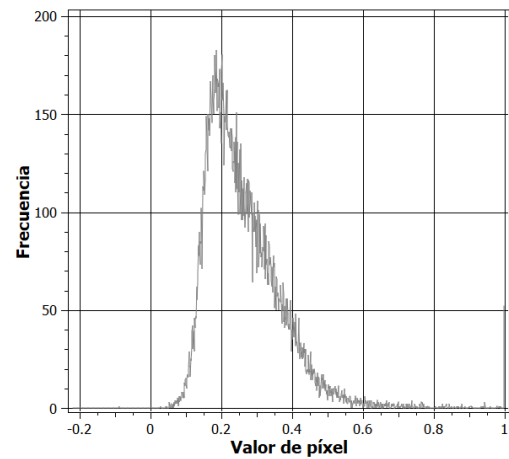


Figura E. 64 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 24 de diciembre 2017.

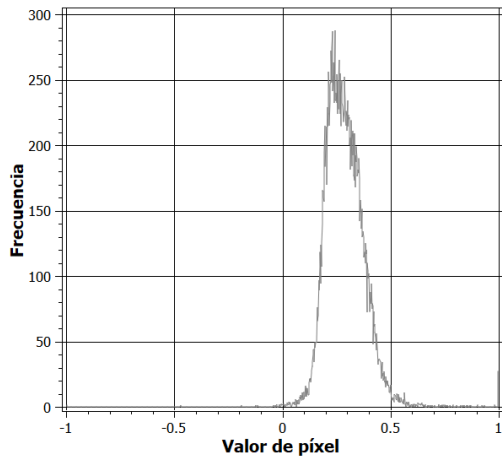


Figura E. 65 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 19 de enero 2018.

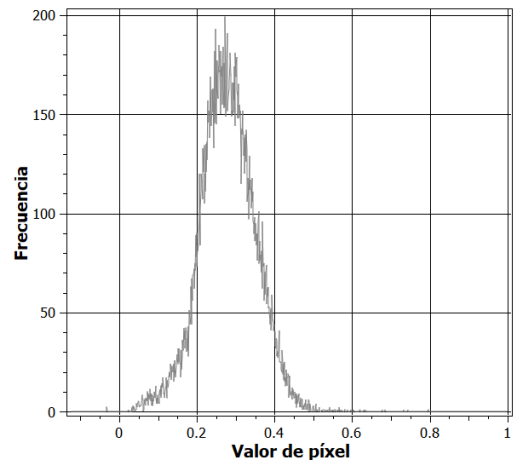


Figura E. 66 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 28 de febrero 2018.

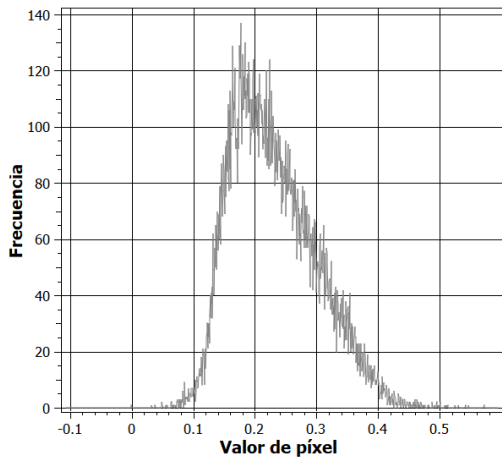


Figura E. 67 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 04 de mayo 2018.

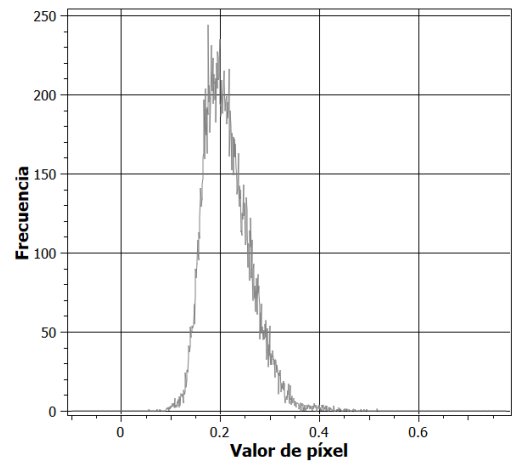


Figura E. 68 Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 02 de agosto 2018.

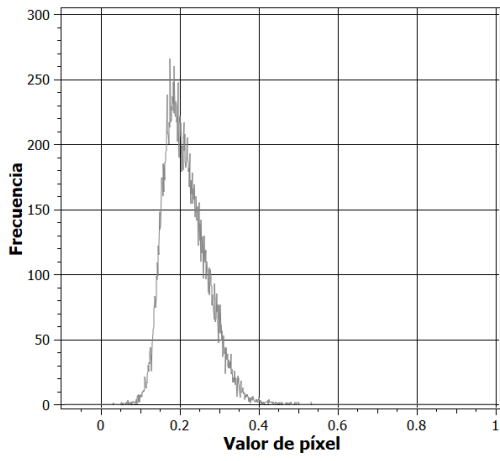


Figura E. 69. Distribución de frecuencia del índice NDRE de la imagen 07 de septiembre 2018.