



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN SANIDAD VEGETAL

MODALIDAD: PROYECTO DE DESARROLLO

Título:

Análisis de los NDVI para determinar situaciones de estrés en el cultivo de maíz en la parroquia Aláquez 2020”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de magister en Sanidad Vegetal

Autor:

Carrera Molina Luis Mesias Ing.

Tutor:

Carrera Molina David Santiago Mg.

LATACUNGA –ECUADOR

2020

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Análisis de los NDVI para determinar situaciones de estrés en el cultivo de maíz en la parroquia Aláquez 2020” presentado por Carrera Molina Luis Mesias, para optar por el título magíster en Sanidad Vegetal

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, Abril, 09, 2021



.....
Mg. David Santiago Carrera Molina
CC. 0502663180

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: Análisis de los NDVI para determinar situaciones de estrés en el cultivo de maíz en la parroquia Aláquez 2020, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Sanidad Vegetal; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, abril, 09, 2021

Ing. Wilman Paolo Chasi Vizuet Mg.

0502409725

Presidente del tribunal

Ing. Clever Gilberto Castillo de la Guerra Mg.

0501715494

Lector 2

Esp. Marcela Janine Morillo Acosta

1719994392

Lector 3

DEDICATORIA

Las raíces de la educación son amargas, pero la fruta es dulce” Aristóteles.
Este trabajo va dedicado a mis padres Luis y Elvia, por haberme inculcado valores de responsabilidad, a mis hermanos David, José, Narcisa, Lorena, que siempre me han brindado su apoyo, a mi querida esposa e hijo Vilma y Matías que eternamente me daban sus consejos para poder seguir adelante en esta maestría, a mis primos Daniel y Paola que constantemente me ofrecieron su ayuda y apoyo.

El que no sabe es como el que no ve» Anónimo.

Ing. Luis Carrera

AGRADECIMIENTO

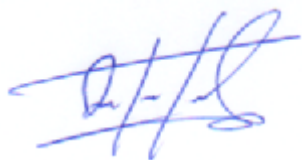
Un agradecimiento profundo a la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarme la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos con excelentes profesionales, A mi tutor Ing. David Carrera por guiarme en el trabajo de investigación, y permitirme acentuar mis conocimientos en nuevas tecnologías.

Ing. Luis Mesias Carrera Molina.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación.

Latacunga, abril, 09, 2020

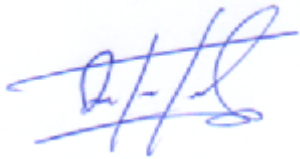


.....
Ing. Carrera Molina Luis Mesias
0502596323

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, abril, 09, 2020

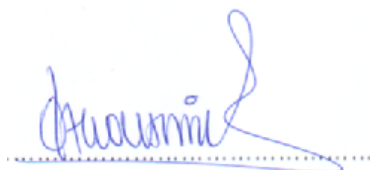


.....
Ing. Carrera Molina Luis Mesias
0502596323

AVAL DEL VEEDOR

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: Análisis de los NDVI para determinar situaciones de estrés en el cultivo de maíz en la parroquia Aláquez 2020 contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, abril, 09, 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Wilman', is written over a horizontal dotted line.

Ing. Wilman Paolo Chasi Vizuete Mg.

0502409725

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN SANIDAD VEGETAL

Título: Análisis de los NDVI para determinar situaciones de estrés en el cultivo de maíz en la parroquia Aláquez 2020

Autor: Carrera Molina Luis Mesias

Tutor: Mg. Carrera Molina David Santiago

RESUMEN

Se evaluaron las imágenes satelitales derivadas del Landsat y el NDVI como herramientas para la supervisión en el cultivo de maíz (*Zea mays*). El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se utilizó para determinar mediante semaforización las posibles situaciones de estrés en el cultivo de maíz. Se calculó el NDVI con la utilización del software Arc Gis, obteniendo los siguientes resultados: en el cultivo de maíz se puede observar los colores rojos con valores que oscilan entre 0,09 y 0,23 lo que indica que existen problemas de carácter fisiológico, en color amarillo se observan valores que oscilan entre 0,23 y 0,37 de cultivo de maíz regular y por último tenemos valores de 0,37 y 0,52 de superficie de maíz cultivada que se encuentra en buen estado fisiológicamente hablando.

Luego del análisis del NDVI obtuvimos los fPAR (Fracción de energía radiante) en el que se destaca los valores de afectación que corresponden al 0,68% de la superficie total del maíz se encuentra en perfecto estado de acuerdo con Potter, según los datos Weigand y Asrar tenemos que el 3,14% de la superficie se encuentra en perfecto estado de salud

PALABRAS CLAVE:

NDVI, Landsat, fPAR, Arc Gis

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
POSTGRADUATE OFFICE

MASTER'S DEGREE IN PLANT HEALTH

THEME: " ANALYSIS OF THE NDVI TO DETERMINE STRESS SITUATIONS
IN THE CORN CROP AT ALÁQUEZ PARISH, 2020."

AUTHOR: Carrera Molina Luis Mesias

TUTOR: Mg. Carrera Molina David Santiago

ABSTRACT


Satellite images derived from Landsat and NDVI were evaluated as tools for supervision in the corn crop (*Zea maiz*). The normalized difference vegetation index (NDVI) was used to determine the possible stress situations in the corn crop through traffic lights. The NDVI was calculated with the use of the Arc Gis software, obtaining the following results: in the corn crop, red colors can be observed with values ranging between 0.09 and 0.23, which indicates there are problems of a physiological nature; in yellow color, values ranging between 0.23 and 0.37 of regular corn crop are observed; and finally, values of 0.37 and 0.52 of cultivated corn area that is in good physiological condition.

The researcher obtained the fPAR (Radiant energy fraction) after the analysis of the NDVI, where the values of affectation that correspond to 0.68% of the total area of the corn are in perfect condition, according to Potter. Regarding Weigand and Asrar, 3.14% of the area is in perfect health.

Keywords: *NDVI, Landsat, fPAR, Arc Gis.*

Yo, **Collaguazo Vega Wilmer Patricio** con cédula de ciudadanía número: **1722417571** Licenciado en Ciencias de la Educación mención inglés con número de registro de la SENESCYT: **1020-13-1198178**; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **“Análisis de los NDVI para determinar situaciones de estrés en el cultivo de maíz en la parroquia Aláquez 2020.”** de **Carrera Molina Luis Mesias** aspirante a Magister en Sanidad Vegetal.

Latacunga, abril, 09, 2020



Lcdo. Collaguazo Vega Wilmer Patricio Mg. C.

C.C. 1722417571

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
APROBACIÓN TRIBUNAL	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	vi
RENUNCIA DE DERECHOS	vii
AVAL DEL VEEDOR	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I.	1
1.1 Pertinencia académico-científica y social	2
1.2 Justificación	3
1.3 Planteamiento del problema	5
1.4 Hipótesis:	7
1.5 Objetivos de la Investigación	8
1.5.1 Objetivo General:	8
1.5.2 Objetivos Específicos:	8
CAPITULO II	9
Fundamentación Teórica	9
2.1. Sistemas de información geográfica:	9
2.3. Funciones de un SIG:	10
2.3.1. Ingreso de información:	10
2.4. Modelos de datos del SIG:	11
2.4.1. Raster:	11
2.4.2. Vector:	11
2.5. Ventajas de un SIG:	12
2.6. Teledetección:	12
2.6.1. Espectro electromagnético:	12
2.6.2. NDVI (Índice Normalizado Diferencial De Vegetación)	13

2.7. Ciclo de cultivo de Maíz	17
CAPITULO III	19
METODOLOGÍA	19
3.1. Tipo de investigación:.....	19
3.1.1. Descriptiva:.....	19
CAPITULO IV	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES	25
CONCLUSIONES	25
RECOMENDACIONES	25
BIBLIOGRAFIA	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Espectro electromagnético	4
Figura 2 Objetivos de los SIG	9
Figura 3 Componentes de un SIG	10
Figura 4 Modelos de datos del SIG	11
Figura 5 Principios de Teledetección	12
Figura 6 Espectro Electromagnético	13
Figura 7 Combinación de bandas 4 3 2	17
Figura 8 COMPARACIÓN fPAR	21
Figura 9 Comparación de fPAR y los NDVI	22
Figura 10 Calculo de lo fPAR	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 LANDSAT 8 (Satélite De Observación Terrestre)	16
Tabla 2 Parámetros del NDVI	23

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

La teledetección ha sido utilizada como valiosa y determinante herramienta a la hora de evaluar dinámicas en los cambios de usos de suelo y coberturas vegetales. La aplicación de la teledetección es posible gracias a la interacción de la energía electromagnética con las cubiertas terrestres que tienen un comportamiento reflectivo variable, condicionado por su estado al momento de la adquisición de la imagen. Entre las técnicas derivadas del uso de datos satelitales multiespectrales, se destacan el empleo de los índices de vegetación. Los índices de vegetación son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática, entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen. Estos índices están condicionados por cambios en el estado fisiológico de las coberturas vegetales, sus variaciones pueden ser utilizadas para estudios espacio-temporales del comportamiento de la vegetación. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI, se ha utilizado ampliamente como indicador del vigor de la biomasa vegetal, en estudios relacionados a comportamiento de cultivos, así como de vegetaciones boscosas naturales; sin embargo, muchas han sido las modificaciones de este índice con el fin de corregir ciertas deficiencias, GONZAGA (2015)

Según el ESPAC en el año 2019 se siembra a nivel nacional 38462,08 ha con una producción en toneladas métricas de 51863,45. En la provincia de Cotopaxi se siembra una superficie en hectáreas de 6679,06, con una producción de 7011,55 toneladas métricas (Tm)

En la actualidad, se evidencian la importancia del cultivo de maíz en el país, pues aporta una fuente de alimentación a los hogares ecuatorianos principalmente en los sectores rurales, lo que le convierte en una fuente de alimento andino. Los gobiernos locales y seccionales deben trabajar en la realización de proyectos productivos que favorezcan la producción en el cultivo de maíz de los granos tradicionales.

1.1 Pertinencia académico-científica y social

La investigación de campo tiene relación con la línea de investigación Desarrollo y seguridad alimentaria y la sub línea denominada Sensores remotos y teledetección aplicados al estudio de sistemas agrícolas y naturales (plagas, enfermedad y malezas).

Según Gonzaga (2015) en su estudio Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador, en el que trabaja con las imágenes de los índices (3 para Landsat 7 ETM+ y 3 para ASTER) se procedió a extraer las estadísticas individuales para cada índice. Para este fin se realizó una operación espacial entre dos capas de información, vector (polígonos de coberturas vegetales) y raster (las imágenes de los índices). Teniendo como objetivo determinar cuál de los tres índices discrimina mejor el estado y tipo de las coberturas vegetales, partiendo de una variable cuantitativa (valor de los índices), se realizó pruebas estadísticas paramétricas para establecer si existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de los índices para cada una de las coberturas.

La presente investigación ayudará a los agricultores de maíz a determinar las posibles situaciones de estrés existentes en el cultivo de maíz, con la finalidad de generar estrategias de control más eficientes, con lo que se reducirá los costos de producción.

1.2 Justificación

Los NDVI nos ayudan determinar las posibles situaciones de estrés o fisiopatías que pueden afectar el normal desarrollo de cada uno de los cultivos. Es importante señalar la utilización de la Teledetección, Es importante analizar cada uno de los componentes agrícolas que integran el desarrollo fisiológico del cultivo de maíz.

Se destaca el uso de imágenes satelitales y el desarrollo de estudios multitemporales utilizando técnicas de Teledetección como las herramientas propicias para monitorear la incidencia de situaciones d estrés en el cultivo de maíz, con el objeto de detectar cambios de cobertura en un período de tiempo determinado, deduciendo de ahí la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio. (Rebollo, 2012).

La ventaja de emplear datos satelitales para el pronóstico del rendimiento agrícola es su capacidad de observación global del territorio, aunque esta tecnología también tiene puntos débiles y restricciones. Así, en una primera etapa de su aplicación para el seguimiento de la condición de los cultivos fueron empleadas imágenes del satélite LANDSAT, que posee una resolución temporal limitada de aproximadamente 16 días. La baja frecuencia de las observaciones (por su propio funcionamiento y la ocurrencia de nubosidad) representa una restricción operacional importante, que procuró remediarse acoplando los datos de origen satelital con la in formación derivada de modelos de cultivos. Por lo general, los modelos de cultivos proveen estimaciones diarias de su evolución lo que permite salvar la discontinuidad propia de la información satelital con mayor resolución espacial. (de la Casa y Ovando 2007)

Con la investigación se resolverá en lo posible las situaciones de estrés en el cultivo de maíz logrando reducir los costos de producción disminuyendo la aplicación de productos químicos con una agricultura de precisión dentro del proyecto analizaremos los NDVI como fuente principal para determinar las posibles situaciones de estrés, mediante la utilización de imágenes satelitales LANSADT 8.

La agricultura de precisión es un método agronómico basado en el manejo de

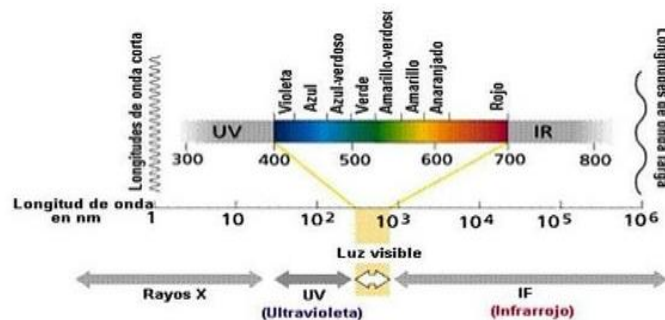
información de cultivos a partir del conocimiento de la variabilidad existente en una explotación agrícola las cuales pueden realizarse a través de vehículos aéreos no tripulados y remotamente pilotados en forma de aviones de ala fija o rotatoria.

Los índices de vegetación, o índices verdes, son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen, permitiendo estimar la cantidad, calidad y desarrollo del cultivo. es por ello que usando la agricultura de precisión se pretende determinar las posibles situaciones de estrés en el cultivo de maíz, analizando ondas espectrales provenientes del satélite LANSADT 8, para beneficiar a los agricultores del cultivo de maíz.

El pigmento en las hojas de la planta, (clorofila) absorbe fuertemente la luz visible para su uso en la fotosíntesis. La estructura celular de las hojas, por otra parte, refleja fuertemente la luz del infrarrojo cercano. Cuantas más hojas una planta tiene, más longitudes de onda de la luz se ven afectadas, respectivamente.

La investigación pretende describir la calidad, estado y diferenciación de los tipos de vegetación utilizando como referencia imágenes satelitales.

Figura 1 Espectro electromagnético



Fuente (Pineda 2013)

Los índices de vegetación, incide del espectro electromagnético en la porción visible del rojo (600-700 nm) y la fuerte reflectancia en la porción infrarrojo-cercano (750 - 1350 nm) (Figura 1). Por la parte fotosintética de las plantas, hace que sean estas bandas las más utilizadas para la obtención de los índices de vegetación. El índice de vegetación emplea la fórmula diferencial (Ecuación N°1) para cuantificar la densidad de crecimiento de las plantas en la tierra que consiste en: el infrarrojo cercano, menos el espectro visible dividido por el infrarrojo cercano más el espectro visible. El resultado de esta fórmula se llama el Índice de Vegetación de diferencia Normalizado (NDVI).

1.3 Planteamiento del problema

La falta de capacitación constante de parte de nuestros agricultores ha provoca el establecimiento de monocultivos, en el campo agrícola, en la actualidad existen nuevas tecnologías que permite el avance de la agricultura.

Entre las técnicas derivadas del uso de datos satelitales multiespectrales, se destacan el empleo de los índices de vegetación. Los índices de vegetación son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática, entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen. (Esperanza y Zerda, 2002), que permiten analizar la incidencia de fisopatías, y situaciones de estrés en el cultivo de maíz mediante la combinación de bandas 4 y 5 respectivamente del satélite LANSADT 8.

Las mediciones realizadas por los sensores LANSADT 8 permiten calcular diferentes índices, siendo el más empleado el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI); que relaciona la reflectancia en el rojo e infrarrojo cercano del espectro electromagnético, el primero se asocia con la absorción de la clorofila y el segundo con la cobertura del canopeo. (Giletto et al. 2016)

La aplicación de la teledetección es posible gracias a la interacción de la energía electromagnética con las cubiertas terrestres que tienen un comportamiento reflectivo

variable, condicionado por su estado al momento de la adquisición de la imagen (Pérez y Muñoz, 2006).

La medición de la reflectancia con sensores ópticos tiene el potencial de proporcionar información sobre el estatus de los diferentes cultivos. (Giletto et al. 2016).

En el actual proyecto de investigación se empleará el índice Normalizado de Vegetación (NDVI) para analizar la distribución espacial de las situaciones de estrés, en el cultivo de maíz.

1.4 Hipótesis:

HIPOTESIS NULA

Los NDVI determinan la situación de estrés en los cultivos del maíz del sector de Alaquez.

HIPOTESIS ALTERNATIVA

Los NDVI no determinan la situación de estrés en los cultivos de maíz del sector de Alaquez.

1.5 Objetivos de la Investigación

1.5.1 Objetivo General:

Analizar los índices de vegetación normalizados a partir de imágenes Landsat 8 para determinar situaciones de estrés en el cultivo de maíz en el sector de Alaquez.

1.5.2 Objetivos Específicos:

Evaluar la incidencia de estrés del maíz a partir imágenes satelitales Landsat 8 y la utilización de los índices de vegetación normalizados.

Analizar los NDVI y su relación con los fPAR dentro del cultivo de maíz en el sector de Alaquez

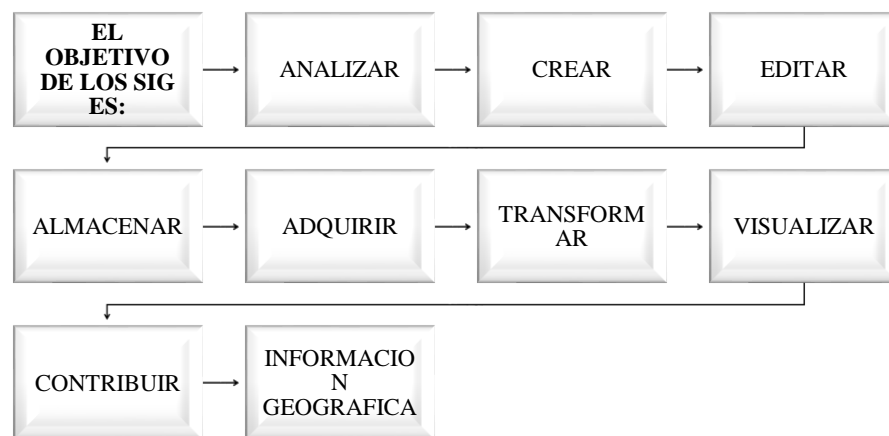
CAPITULO II

Fundamentación Teórica

2.1. Sistemas de información geográfica:

Un sistema de información geográfica (SIG) es una herramienta de captura, almacenamiento y administración de datos y atributos asociados espacial y geográficamente referenciados (Pineda, 2013)

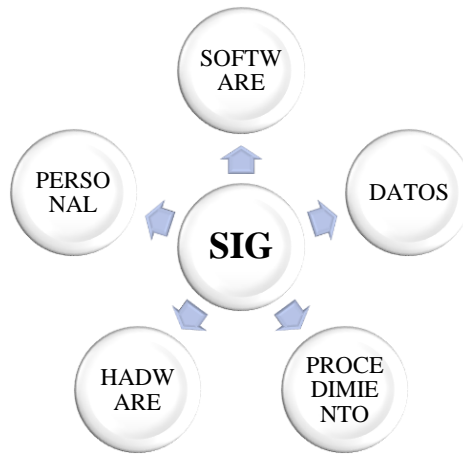
Figura 2 Objetivos de los SIG



Fuente: (Pineda, 2013)

2.2 Componentes de un SIG:

Figura 3 Componentes de un SIG



(Pineda, 2013)

En la actualidad se evidencia la importancia y el impacto que generan los sistemas de información geográfica en el área agrícola, mediante diferentes métodos como son imágenes satelitales, así como también drones, sin embargo los pequeños agricultores no tiene acceso a las actuales herramientas tecnológicas que permitan mejoras los procesos fenológicos del cultivo de maíz

2.3. Funciones de un SIG:

2.3.1. Ingreso de información:

Capturar información, imágenes satelitales, mapas analógicos, fotografías aéreas, GPS, etc.

Gestión de la información:

Almacenamiento y recuperación de información de la base de datos, utilizando funciones de consulta.

Manipulación:

Función fundamental de los SIG, reclasificación, medición, superposición.

Análisis y modelamiento:

Procesamiento integral de la información georreferenciada y de atributos que mediante la superposición y combinación de capas permite el análisis temático, realizar operaciones con ellas y producir una nueva o modificada información (Pineda, 2013).

Salida y presentación:

Mapas, tablas, reportes, informes técnicos.

2.4. Modelos de datos del SIG:

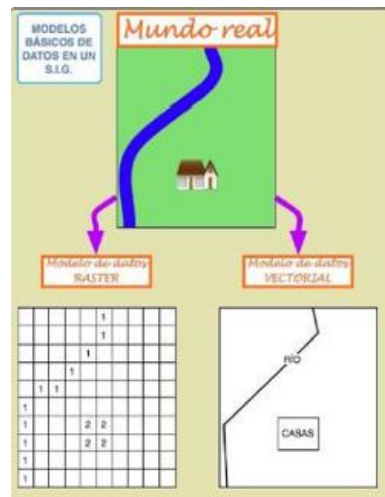
2.4.1. Raster:

Divide el espacio en un conjunto regular de celdas (píxeles), cada una de estas celdas contiene un número o código que identifica el elemento que desea representar (Pineda, 2013).

2.4.2. Vector:

Representa los objetos por medio de un par o una secuencia de coordenadas (X,Y) las cuales pueden ser enlazadas con atributos (Pineda, 2013).

Figura 4 Modelos de datos del SIG



Fuente: (Pineda, 2013)

2.5. Ventajas de un SIG:

La adquisición de datos, los análisis espaciales y los procesos de toma de decisiones son integrados en un contexto común de flujo de información (Pineda, 2013).

2.6. Teledetección:

La teledetección o percepción es una ciencia que integra un amplio conjunto de conocimientos y tecnologías utilizadas para la observación, el análisis, la interpretación de fenómenos terrestres y planetarios.

Permite adquirir información sobre ciertos objetos materiales por medio de mediciones tomadas a cierta distancia, sin hacer contacto físico con éstos (Pineda, 2013).

Figura 5 Principios de Teledetección



(Pineda, 2013)

2.6.1. Espectro electromagnético:

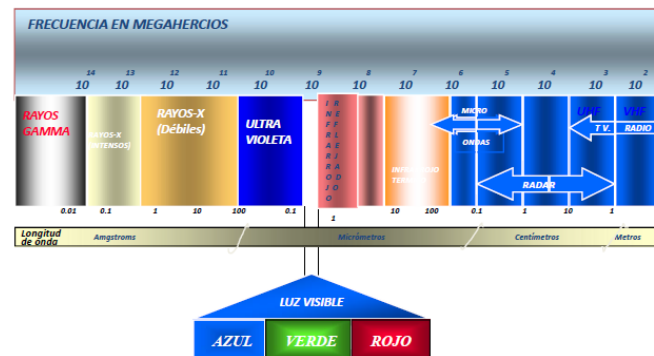
Una onda electromagnética es la propagación simultánea de los campos eléctrico y magnético producidos por una carga eléctrica en movimiento. Las principales características de las ondas electromagnéticas son las siguientes:

No necesitan un medio para propagarse: pueden propagarse en el vacío o en cualquier otro medio. Son tridimensionales: se propagan en las tres direcciones del espacio.

Son transversales: la perturbación se produce perpendicularmente a la dirección de propagación.

Al flujo saliente de energía de una fuente en forma de ondas electromagnéticas se le denomina radiación electromagnética. Esta radiación puede ser de origen natural o artificial. El espectro electromagnético es el conjunto de todas las frecuencias (número de ciclos de la onda por unidad de tiempo) posibles a las que se produce radiación electromagnética (Pineda, 2013).

Figura 6 Espectro Electromagnético



(Pineda, 2013)

La percepción remota en especial las imágenes Landsat, el monitoreo con vehículos no tripulados conocidos como UAV están dotados con cámaras espectrales con GPS, que permiten identificar varias situaciones de estrés en los diferentes cultivos, mediante una semaforización de colores, estas tecnologías en la actualidad no se encuentran en las manos de los agricultores de Ecuador.

2.6.2. NDVI (Índice Normalizado Diferencial De Vegetación)

El índice de vegetación más conocido y usado es el Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI Normalized Difference Vegetation Index). Este índice fue introducido con el objetivo de separar la vegetación del brillo que produce el suelo. (Díaz García, 2015)

Este índice se basa en el peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas, permitiendo determinar la vigorosidad de la planta.

Los valores del NDVI están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético. La respuesta espectral que tiene la vegetación sana, muestra un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja, y el Infrarrojo Cercano (NIR). (Díaz García, 2015)

Mientras que en el visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, en el NIR, las paredes de las células de las hojas, que se encuentran llenas de agua, reflejan la mayor cantidad de energía. En contraste, cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés, ya sea por presencia de plagas o por sequía, la cantidad de agua disminuye en las paredes celulares por lo que la reflectividad disminuye el NIR y aumenta paralelamente en el rojo al tener menor absorción clorofílica. Esta diferencia en la respuesta espectral permite separar con relativa facilidad la vegetación sana de otras cubiertas. (Díaz García, 2015)

El cálculo del NDVI implica el uso de una simple fórmula con dos bandas, el Infrarrojo Cercano (NIR) y el rojo (RED).

Ecuación N°1

$$NDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR * GREEN}$$

(Díaz García, 2015)

Donde NIR es la reflectancia espectral del canal infrarrojo cercano y RED representa la reflectancia en el canal rojo del visible. Esta fórmula indica que existe una relación inversa entre el valor de reflectancia de estas bandas, por lo que es posible su uso para discriminación de cubiertas vegetales. (Díaz García, 2015)

Los valores de este índice fluctúan entre -1 y 1. Diversos estudios y publicaciones señalan que valores por encima de 0.1 indican presencia de vegetación, y cuanto más alto sea el valor de este índice, las condiciones de vigor son mejores. (Díaz García, 2015)

El análisis multitemporal de imágenes de satélite Landsat, nos permite hacer un seguimiento de la evolución de las diferentes comunidades vegetales y de los cultivos agrícolas, integrados a los sistemas de información de geográfica.

La función es realizar la vegetación en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles situaciones de estrés. Los NDVI se tratan de imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales de diferentes imágenes satelitales.

Tabla 1 LANDSAT 8 (Satélite De Observación Terrestre)

BANDAS ESPECTRALES	COLOR	RESOLUCION ESPACIAL (PIXEL)	LONGITUD DE ONDA (um)
1	Azul	30 m	450 - 510
2	Verde	30 m	530 – 590
3	Rojo	30 m	640 - 670
4	Infrarojo Próximo	30 m	850 – 880
5	Infrarojo Próximo	30 m	850 – 880
6	SWIR	30 m	1570 - 1650
7	SWIR	30 m	2110 – 2290
8	Pancromática	15 m	500 – 680
9	Cirrus	30 m	1360 – 1380
Altitud de Órbita	705km		

Fuente (Geocentro 2018)

LANSADT 8 es un satélite óptico de resolución media cuyo objetivo es proporcionar información para actividades relacionadas con la agricultura, la educación, los negocios, la ciencia y también en el ámbito estatal. Es un satélite más completo respecto a su antecesor, LANDSAT-8, con sus funciones mejoradas para monitorizar la calidad del agua y nubes atmosféricas altas

Este satélite contiene dos sensores: El Sensor operacional de imágenes de tierra (OLI) y un sensor Infrarojos Térmico (TIRS). (GEOCENTO, 2018)

OLI (Operational Land Imager) está formado por 9 bandas espectrales que van desde lo visible pasando por los infrarrojos hasta el espectro de radiación de bajas ondas. Con

las imágenes de resolución espaciales, que oscilan entre los 15 y los 30m, LANDSAT-8 proporciona imágenes de satélite de calidad que podrían demostrar los diferentes usos que se le podría dar a la tierra desde el espacio. (GEOCENTO, 2018)

TIRS (Thermal Infrared Sensor) está compuesto por dos bandas espectrales, las cuales detectan infrarrojos térmicos, una herramienta imprescindible para medir la temperatura de la superficie de la Tierra. (GEOCENTO, 2018)

Figura 7 Combinación de bandas 4 3 2



Fuente (GEOCENTO, 2018)

Existen diversos satélites en la tierra que atraviesan en diferentes horas tomando una fotografía área, nosotros ubicamos Lansadt que nos permite realizar el proceso del NDVI con la banda 4 y banda 5. Los NDVI nos permite realizar un monitoreo de cultivos en diferentes situaciones, además podemos ya aplicarlos en agricultura de precisión y en controlar los cultivos debido a las variaciones de colores que se visualizan en el follaje del cultivo.

2.7.Ciclo de cultivo de Maíz

(Chocano, 1999) el ciclo de cultivo de maíz está dividido en diferentes etapas, descrita a continuación:

- **Nascencia:** Comprende el período que transcurre desde la siembra hasta la aparición del coleóptilo, cuya duración aproximada es de 6 a 8 días.

- **Crecimiento:** Una vez nacido el maíz, aparece una nueva hoja cada tres días si las condiciones son normales. A los 15-20 días siguientes a la nascencia, la planta debe tener ya cinco o seis hojas, y en las primeras 4-5 semanas la planta deberá tener formadas todas sus hojas.
- **Floración:** A los 25-30 días de efectuada la siembra se inicia la panoja en el interior del tallo y en la base de éste. Transcurridas 4 a 6 semanas desde este momento se inicia la liberación del polen y el alargamiento de los estilos.
- **Fructificación:** Con la fecundación de los óvulos por el polen se inicia la fructificación. Una vez realizada la fecundación, los estilos de la mazorca, vulgarmente llamados sedas, cambian de color, tomando un color castaño.

Transcurrida la tercera semana después de la polinización, la mazorca toma el tamaño definitivo, se forman los granos y aparece en ellos el embrión. Los granos se llenan de una sustancia leñosa, rica en azúcares, los cuales se transforman al final de la quinta semana en almidón.

Maduración y secado: Hacia el final de la octava semana después de la polinización, el grano alcanza su máximo de materia seca, pudiendo entonces considerarse que ha llegado a su madurez fisiológica. Entonces suele tener alrededor del 35% de humedad. A medida que va perdiendo la humedad se va aproximando el grano a su madurez comercial, influyendo en ello más las condiciones ambientales de temperatura, humedad ambiente, y otros., que las características varietales.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación:

3.1.1. Descriptiva:

La investigación es de tipo descriptiva porque consiste, fundamentalmente, en caracterizar un fenómeno o situación concreta indicando sus rasgos más peculiares o diferenciadores.

La zona de estudio corresponde a la Parroquia De Alaquez de aproximadamente 14.425 ha donde se cultiva maíz, papas, entre otros productos agrícolas. La investigación se encuentra ubicado en la en las coordenadas geográficas: 0°51'12.5"Sur 78°36'11.4" Oeste

Es importante destacar que para una correcta comparación de los índices analizados es necesario utilizar imágenes adquiridas en fechas muy cercanas entre sí. Lamentablemente no fue posible obtener imágenes Landsat 8 que cumplan estas condiciones, debido a la alta cobertura nubosa del área de estudio.

Las imágenes satelitales fueron obtenidas de la página de la SCIENCE FOR A HANGING WORLD <https://earthexplorer.usgs.gov/>

3.1.2. ÍNDICE DE VEGETACIÓN NORMALIZADO

Para el análisis del NDVI se utilizaron imágenes satelitales LANSADT 8 de los años 2020 para el respectivo análisis.

La ecuación 1 se empleó para realizar el cálculo del NDVI.

$$NDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR * GREEN}$$

Se calculó el NDVI, tomando los píxeles de las imágenes satelitales asociadas, con lo que se obtuvo una media estadística de ellos. Una vez calculados los valores de NDVI, se usó la Ecuación 2, con coeficiente de determinación $R^2 = 0,965$ (Asrar et al. 1984); Ecuación 3, con coeficiente de determinación $R^2 = 0,973$ (Wiegand et al. 1991); y Ecuación 4 (Potter et al. 1993), para calcular el parámetro fPAR, que es la Fracción de energía radiante que efectivamente intercepta el canope, este parámetro está directamente relacionado con la estructura y la morfología de la vegetación y las situaciones de estrés que afectan su normal desarrollo. Rueda & et al (2015).

$$fPAR = NDVI + 1,222 - 0,1914 \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$fPAR = -0,344 + (0,299)^{0,95 \times NDVI} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$fPAR = (((1 + NDVI)/(1 - NDVI)) / 4,05) - 0,2666 \quad (\text{Ecuación 4})$$

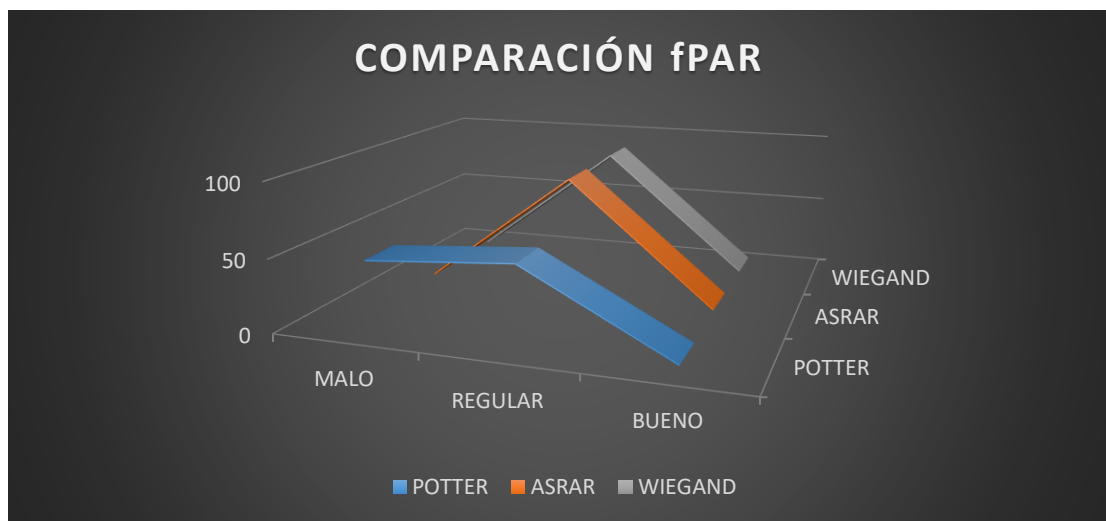
CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Distribución espacial del parámetro NDVI

Los parámetros NDVI calculados por el software Arc Gis fueron comparados con los valores de la fracción de la energía radiante (fPAR). En la figura 8 se muestra el gráfico comparativo, donde cada punto corresponde a un parámetro geostatístico calculado. De la figura 8 es posible deducir que las metodologías para comparar los fPAR en cuanto a superficie de afectación varían de acuerdo a los resultados obtenidos con Wiegand en su ecuación $fPAR = -0,344 + (0,229) 0,95 \times NDVI$ tiene como superficie de afectación 9,12% fisiológicamente hablando, igual resultado presenta Asrar en su ecuación $fPAR = NDVI \times 1,222 - 0,1914$, y Potter en su ecuación $fPAR = \{[(1 + NDVI) / (1 - NDVI)] / 4,05\} - 0,2666$ presenta una superficie de afectación de 45,86% del área de estudio, con esto podemos indicar que los NDVI y los fPAR ayudan a identificar situaciones de estrés en el cultivo de maíz lo que ratifica lo dicho por Rueda & et al (2015).

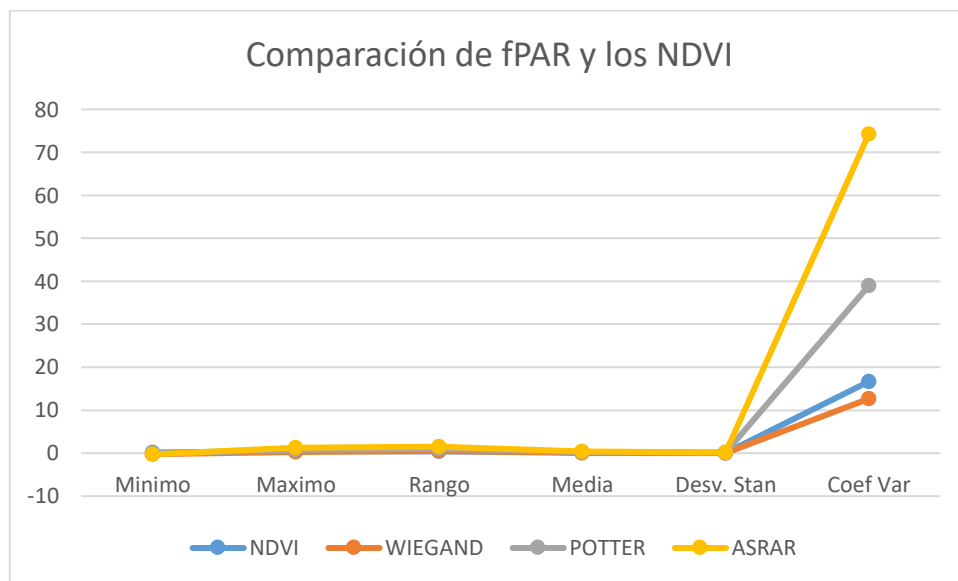
Figura 8 COMPARACIÓN fPAR



Elaborado por: Luis Carrera

En la figura N°9 se observa los fPAR presenta diferencia significativa al realizar un análisis geoestadístico de los fPAR con los NDVI en el cultivo de maíz, se observa que existe una diferencia principalmente en el coeficiente de variación, lo que permite determinar que la ecuación N°2 y la ecuación N°1 presentan situaciones de estrés, al realizar una comparación de los valores del parámetro fPAR se puede deducir en función de los datos obtenidos que los fPAR de Asrar y Weigand son confiables para ser usado en la estimación de la producción primaria neta.

Figura 9 Comparación de fPAR y los NDVI



Elaborado por: Luis Carrera

En la tabla N° 2 La distribución espacial de los valores de NDVI en el cultivo de maíz se puede observar los colores rojos con valores que oscilan entre 0,09 y 0,23 lo que indica que existe problemas de carácter fisiológico, en color amarillo se observa valores que oscilan entre 0,23 y 0,37 de cultivo de maíz regular y por último tenemos valores de 0,37 y 0,52 de superficie de maíz cultivada que se encuentra en buen estado ,libre situaciones de estrés.

Luego del análisis se pudo determinar que los valores del NDVI varían de acuerdo al estado de estrés del cultivo de maíz.

Tabla 2 Parámetros del NDVI

Parámetro	NDVI
Mínimo	0,09
Máximo	0,5
Rango	0,41
Media	0,30
Desv. Stan	0,05
Coef Var	16,67
Fila	223
Columnas	261

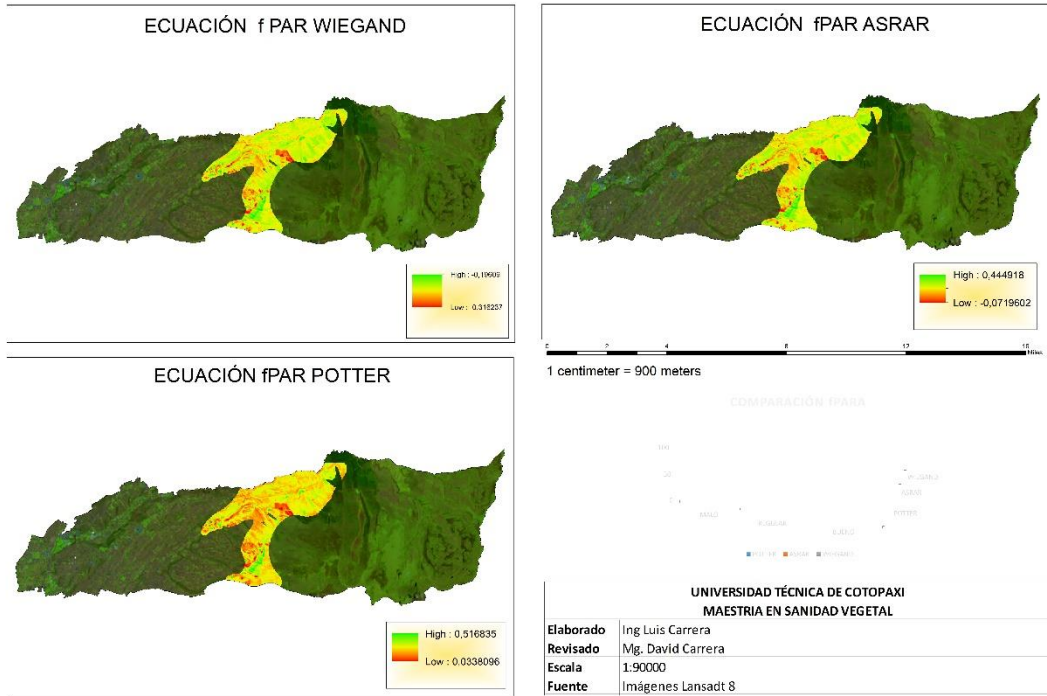
Elaborado por: Luis Carrera

Los valores de la fracción de la energía radiante (f PAR), obtenidos mediante las ecuaciones 2,3,4 en términos generales se puede deducir que los resultados de los fPAR son confiables como un elemento para el cálculo de la producción primaria

En la figura los fPAR en cuanto a superficie de afectación varían de acuerdo a los resultados obtenidos con Wiegand en su ecuación $fPAR = -0,344 + (0,299)^{0,95 \times NDVI}$ tiene como superficie de afectación 9,12% fisiológicamente hablando, igual resultado presenta Asrar en su ecuación $fPAR = NDVI + 1,222 - 0,1914$, y Potter en su ecuación $fPAR = (((1 + NDVI)/(1 - NDVI)) / 4,05) - 0,2666$ presenta una superficie de afectación de 45,86% del área de estudio.

Cabe aclarar que los fPAR son un parámetro para calcular la Producción Primaria Neta del cultivo como se indica por Rueda & et al (2015).

Figura 10 *Calculo de lo fPAR*



Elaborado por: Luis Carrera

En la figura 4 se observa el comportamiento de los fPAR una vez realizado los procesos en el Arc Gis obteniendo datos en cada una de las ecuaciones propuesta

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

CONCLUSIONES

- Los valores de NDVI calculados a través del software Arc Gis nos permiten determinar la afectación que sufre el cultivo de maíz debido a diferentes situaciones de estrés, en el análisis nos indica que el 9,13% de superficie de maíz se ve afectada por diferentes factores de estrés el 87,13% se encuentra en un estado regular y que solo un 3,75% se encuentran en óptimas condiciones para su producción.
- El cálculo del parámetro de los fPAR al usar los modelos de Asrar, Weigand y Potter varían significativamente debido a algunas particularidades de parámetros de las imágenes satelitales, hay que tener en cuenta que el fPAR es un elemento para calcular la producción primaria neta.
- Los fPAR son un elemento para el cálculo de la producción primaria neta, factor importante en el desarrollo del cultivo de maíz.

RECOMENDACIONES

- Para obtener buena productividad del cultivo de maíz se debe llevar asistencia técnica, en la actualidad los drones juegan un papel fundamental en la agricultura de precisión
- Es importante destacar que para una correcta comparación de los índices analizados es necesario utilizar imágenes satelitales de alta resolución y no fue posible obtener imágenes Landsat 8 que cumplan estas condiciones, además debemos tener en cuenta el porcentaje de nubosidad.
- Debemos realizar trabajo de campo para poder ratificar los datos pues por la pandemia no fue accesible ingresar en los sitios de estudio, y articular procesos de investigación desde la academia, para poder llegar a los pequeños agricultores con las nuevas tecnologías.

BIBLIOGRAFIA

- De la Casa, A., & Ovando, G. (2007). Integración del índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) y del ciclo fenológico de maíz para estimar el rendimiento a escala departamental en Córdoba, Argentina. *Agricultura Técnica*, 67(4), 362-371. doi:10.4067/S0365-28072007000400004.
- Pérez, C y Muñoz, A. 2006. Teledetección nociones y aplicaciones. Universidad de Salamanca. 356 p. ISBN-10: 84-611- 1613-5.
- Esperanza, F y Zerda, H. 2002. Potencialidad de los índices de vegetación para la discriminación de coberturas forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago del Estero, 2002.
- Teal, R.K., B. Tubana, K. Girma, K.W. Freeman, D.B. Arnall, O. Walsh, and W.R. Raun
- Rebollo, M. (2012). Estudio Multitemporal Para La Determinación De Cambios En El Uso Del Suelo En El Complejo De Páramos Tota -Bijagual - Mamapacha Para El Periodo 1992 –2012. . Bogotá
- Gilletto, CM; Silva, SE; Cassino, MN; Zamuner, EC; Echeverría, HE. 2016. Caracterización del estrés de nitrógeno en papa para industria usando el NDVI = Characterizing nitrogen stress in processing potato using NDVI (en línea). s.l., Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Disponible en https://explore.openaire.eu/search/publication?articleId=od_____3056::40616c7ffd72ba53c5baf7720d4b969e.

- Gonzaga C (2015), Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador. *CEDAMAZ, ISSN 1390-5880, VOL 5*

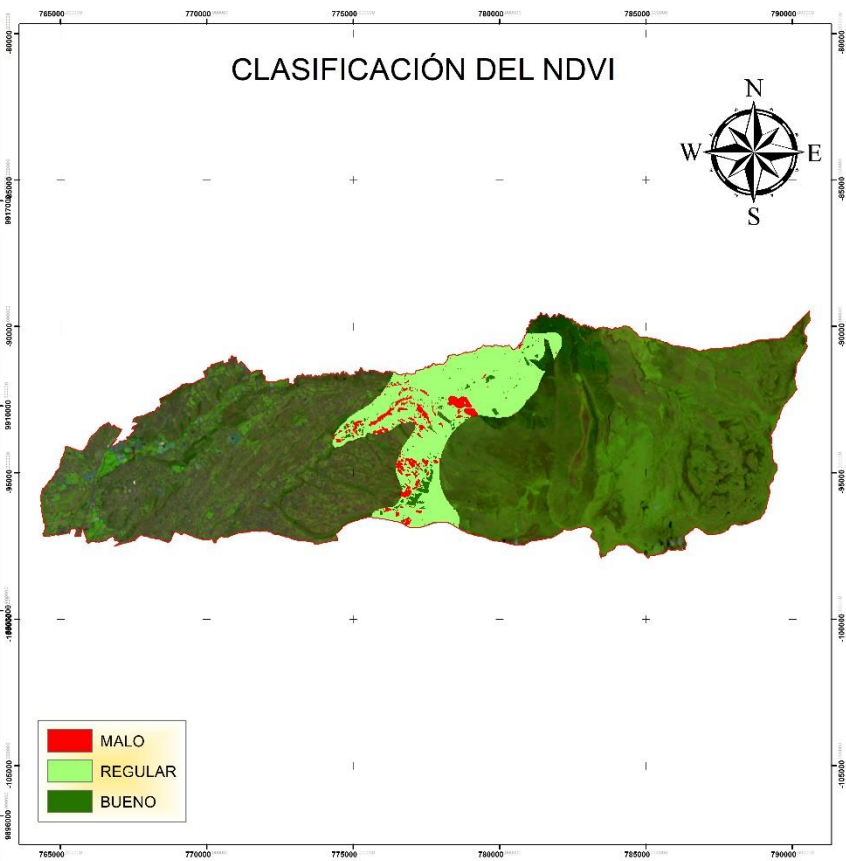
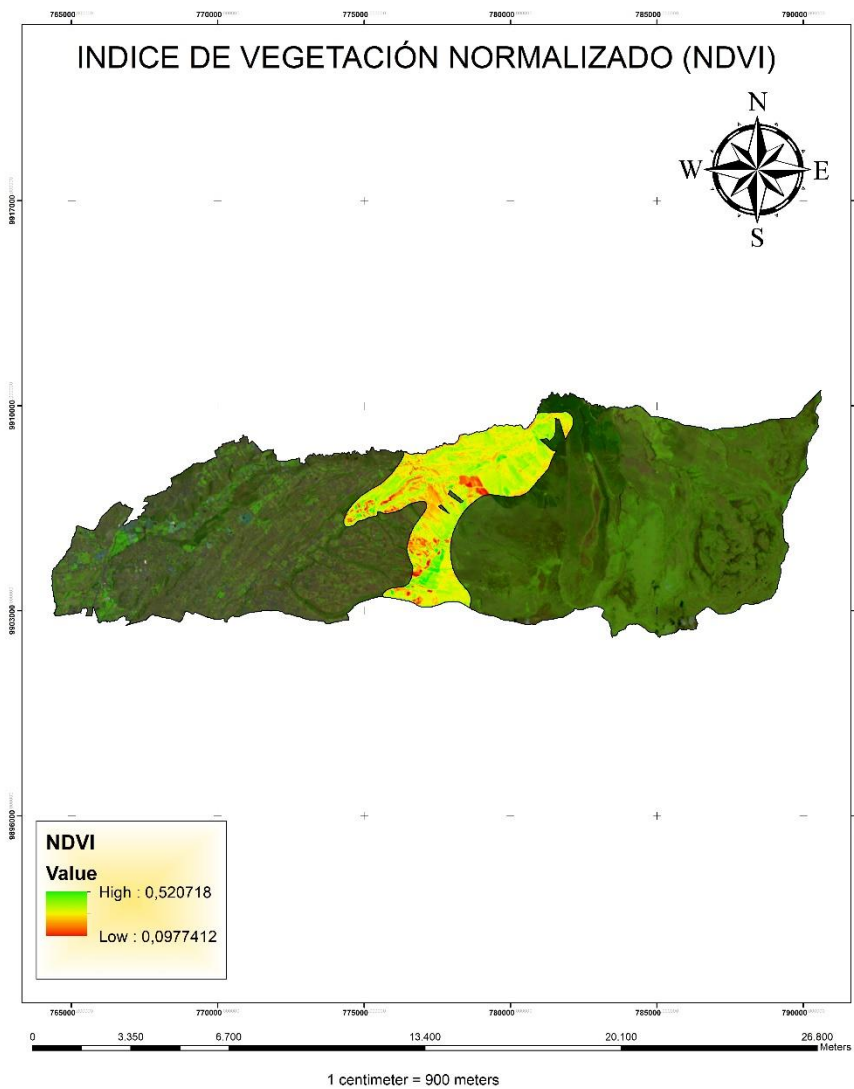
- Rueda & et al (2015) Aplicación de una metodología de análisis de datos obtenidos por percepción remota orientados a la estimación de la productividad de caña para panela al cuantificar el NDVI (Índice de vegetación normalizada), *CORPOICA*

- Pineda, N. (2013). Evaluacion Multicriterio Y Sistemas De Informacion Geografica Como Herramientas Para El Ordenamiento Territorial. Universidad Autónoma del Estado de México, 102.

- Díaz García, C. J. (Junio 2015 de 2015). Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes. Universidad Complutense De Madrid, 77.

- GEOCENTO. (6 de Enero de 2018). Obtenido de <http://geocento.es/galeria-de-satelites-para-buscar-y-adquirir-imagenes/satelite-imagenes-landsat-8/>

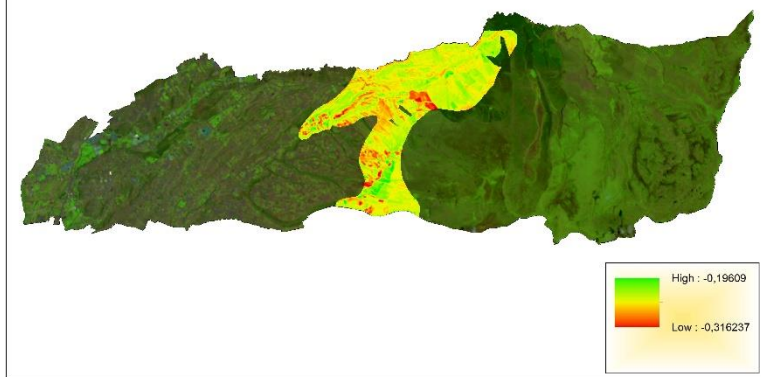
ANEXOS



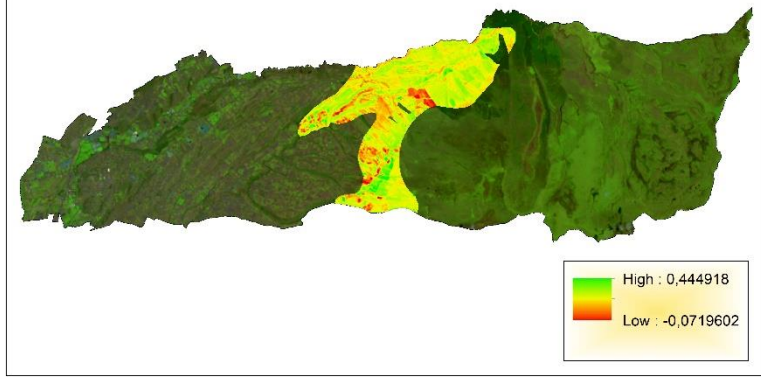
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
MAESTRIA EN SANIDAD VEGETAL

Elaborado Ing Luis Carrera
Revisado Mg. David Carrera
Escala 1:90000
Fuente Imágenes Lansadt 8

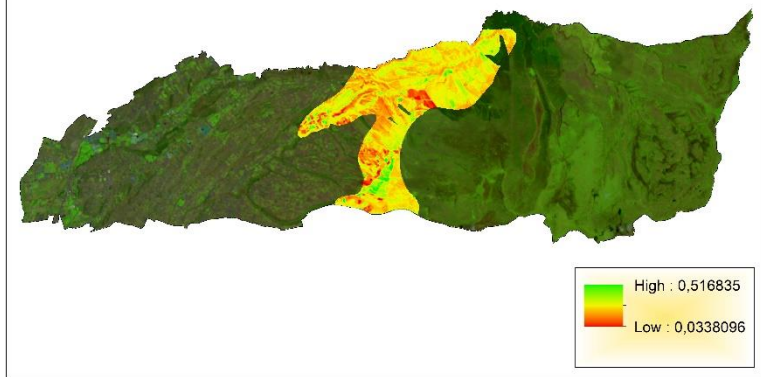
ECUACIÓN fPAR WIEGAND



ECUACIÓN fPAR ASRAR



ECUACIÓN fPAR POTTER



1 centimeter = 900 meters

COMPARACIÓN fPARA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
MAESTRIA EN SANIDAD VEGETAL

Elaborado Ing Luis Carrera
Revisado Mg. David Carrera
Escala 1:90000
Fuente Imágenes Lansadt 8