



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS
CARRERA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y MEDIO AMBIENTE

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
GEÓGRAFA EN GESTIÓN AMBIENTAL

TÍTULO

Propuesta metodológica para el análisis de la respuesta espectral en plantaciones de banano a la presencia de plagas y enfermedades, caso de estudio: cantón San Jacinto de Yaguachi, Sector Tres Postes, Provincia del Guayas

LIZETH ESTHER TIPANTUÑA BAUTISTA

DIRECTORA: MSc. Olga Mayorga

QUITO, 2017

PARA GRADOS ACADÉMICOS DE LICENCIADOS (TERCER NIVEL)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

DECLARACIÓN y AUTORIZACIÓN

Yo, TIPANTUÑA BAUTISTA LIZETH ESTHER, C.I. 1718245911 autora del trabajo de graduación intitulado: “PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE LA RESPUESTA ESPECTRAL EN PLANTACIONES DE BANANO A LA PRESENCIA DE PLAGAS Y ENFERMEDADES, CASO DE ESTUDIO: CANTÓN SAN JACINTO DE YAGUACHI, SECTOR TRES POSTES, PROVINCIA DEL GUAYAS”, previa a la obtención del grado académico de INGENIERA GEÓGRAFA EN GESTION AMBIENTAL en la Facultad de Ciencias Humanas:

- 1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
- 2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 22 de noviembre del 2017



Lizeth Esther Tipantuña Bautista

C.I. 1718245911

DEDICATORIA

A Dios por ser la fortaleza de mi vida, por iluminar mi camino y darme voluntad en los momentos más difíciles, por la fé y la esperanza que me motiva para continuar sin rendirme.

A mi madre Cecilia por ser el pilar fundamental en mi vida, gracias por inculcarme el amor a Dios, por todo ese cariño, paciencia y tolerancia al confiar en mí, por sus oraciones. Gracias por haberme ayudado a cumplir uno de mis sueños y eso se lo debo a ella.

A mi padre Gustavo, por su apoyo y amor incondicional, gracias por enseñarme que todo es posible si se quiere, por la paciencia día a día conmigo, es por eso que no me cansare de darle las gracias.

A mis hermanos Consuelo y Edu, por estar todo el tiempo a mi lado, por todo su cariño, por llenarme de bendiciones y por su apoyo incondicional a lo largo de la vida. A mis abuelitos y a mi familia que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

A mi hijo Emilio, posiblemente en este momento no entienda mis palabras, pero para cuando seas capaz, quiero que te des cuenta de los que significas para mí. Gracias por ser la razón que me levanta cada día, esforzándome para el presente y motivándome para el mañana, eres mi principal motivación sin ti esto no lo hubiese logrado.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento y mi aprecio al Mtr. Patricio Solís, quien estuvo conmigo en el desarrollo de esta disertación, apoyándome con su conocimiento y motivación.

A mi director y profesora, Olga Mayorga, por su guía y seguimiento en el desarrollo y culminación de la disertación.

A los técnicos de la Compañía Agroprecisión, que me facilitaron la información complementaria.

A mi amigo Edison, Técnico de Agroprecisión por su constante ayuda, muchísimas gracias por compartir tus conocimientos.

Al señor Sixto Borrero y a su familia, por brindarme su apoyo en la realización del trabajo investigativo y permitirme realizar la propuesta metodológica en su propiedad.

Finalmente, agradezco a la Mtr. María Augusta Almeida por su aporte en el desarrollo de la disertación.

CONTENIDO

CÁPITULO I.....	14
INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Antecedentes	16
1.2 Justificación	17
1.3 Planteamiento del Problema	19
1.4 Objetivos	21
1.5 Marco teórico	21
1.6 Marco conceptual	24
1.7 Marco metodológico	28
1.8 Mapa Base	30
1.9 Aspectos generales de la zona de estudio	30
CÁPITULO II.....	39
TELEDETECCIÓN E IMPORTANCIA DE LA RESPUESTA ESPECTRAL Y DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN	39
2.1 Espectro electromagnético y las características de cada banda satelital	39
2.2 Respuesta espectral y su concepción en la vegetación, suelo y agua	41
2.2.1 Comportamiento espectral de la vegetación	42
2.2.2 Características de la reflectancia espectral de los cuerpos de agua	43
2.2.3 Características de la reflectancia espectral del suelo	44
2.2.4 Características de la reflectancia espectral de las plantas enfermas	48
2.2.5 Reflectividad de las cubiertas vegetales	49
2.2.6 Factores de influencia en las cubiertas vegetales	49
2.3 Índices de vegetación	51
2.3.1 Índice de diferencia normalizado de vegetación (NDVI)	51
2.3.2 Índice mejorado de vegetación (EVI)	52
2.3.3 Índice transformado de vegetación (SAVI)	52
CÁPITULO III.....	53
CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO DE BANANO	53
3.1 Origen	53
3.2 Producción del banano en el Ecuador	53
3.3 Requerimientos del cultivo de banano	54
3.4 Principales plagas del cultivo de banano	55

3.5	Principales enfermedades del cultivo de banano	58
3.6	Caracterización de la respuesta espectral del banano	60

CAPÍTULO IV 63

METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA RESPUESTA ESPECTRAL 63

4.1	Características y particularidades específicas del satélite pléiades	64
4.1.1	Especificaciones técnicas del satélite Pléiades.	64
4.1.2	Principales ventajas del satélite Pléiades	65
4.2	Obtención de la imagen satelital pléiades del área de estudio.	66
4.3	Pasos para el procesamiento de la imagen satelital	69
4.4	Análisis de respuesta espectral del banano utilizando determinados índices de vegetación	73
4.4.1	Índice de diferencia normalizada de vegetación NDVI.	76
4.4.2	Índice mejorado de vegetación EVI	80
4.4.3	Índice transformado de vegetación SAVI	82

CAPÍTULO V..... 86

5.0 TRABAJO DE CAMPO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PLAGAS Y ENFERMEDADES Y SU POSTERIOR CORRELACIÓN CON LA RESPUESTA ESPECTRAL. 86

5.1	Identificación de zonas donde se evidencia presencia de plagas y enfermedades.	86
5.2	Aplicación de algebra de mapas y procesos de interpolación geoestadístico para la generación de mapas de suelo y muestras de área foliar	90
5.3	Método de interpolación de Kriging	91
5.4	Proceso Geoestadístico	92
5.5	Análisis Exploratorio de los datos	92
5.6	Análisis de condiciones químicas de los suelos y área foliar con los resultados del método kriging.	97
5.6.1	Disponibilidad de elementos en muestras de suelo	98
5.7	Disponibilidad de elementos en muestras de análisis foliares.	103
5.8	Validación de la información reportada para muestras foliares y muestras de suelo y su correlación con la respuesta espectral de la planta.	109
5.9	Cálculo de los análisis de correlación entre las características químicas de análisis del suelo foliares y los índices de vegetación.	115

CONCLUSIONES..... 122

RECOMENDACIONES..... 124

BIBLIOGRAFÍA..... 125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación del cantón San Jacinto de Yaguachi respecto al Ecuador continental	33
Figura 2	Ubicación de la finca Blanca América en el cantón San Jacinto de Yaguachi sector los Tres Postes	34
Figura 3.	Delimitación del área de estudio y división de los lotes	35
Figura 4.	Clima de la finca Blanca América	36
Figura 5.	Hidrografía de la finca Blanca América	37
Figura 6.	Uso del suelo de la finca Blanca América	38
Figura 7.	Textura de suelos del cantón San José de Yaguachi	39
Figura 8.	Planta de banano afectada por Larvas defoliadoras	57
Figura 9.	Planta de banano afectada por Mosca Blanca	57
Figura 10.	Escarabajo verde (<i>Colaspis submetallica</i>)	58
Figura 11.	Raíces de Banano afectadas por Nemátodos	58
Figura 12.	Planta de banano afectado por el Mal de Panamá	59
Figura 13.	Planta de banano afectado por <i>Pseudomonas solanacearum</i>	60
Figura 14.	Planta de banano afectado por <i>Mycosphaerella fijiensis</i>	61
Figura 15.	Pantalla de inicio del visualizado de imágenes del GeoStore	67
Figura 16.	Iconos de herramientas del visualizador de imágenes del GeoStore	68
Figura 17.	Opciones de edición del visualizador de imágenes del GeoStore	68

Figura 18.	Identificación del área, para obtención de la imagen en el GeoStore	69
Figura 19.	Planta de banano afectada por Larvas defoliadoras	69
Figura 20.	Imagen Pléiades adquirida correspondiente al área de estudio	70
Figura 21.	Pantalla de inicio del software Global Mapper	70
Figura 22.	Visualización del límite de la hacienda Blanca América	71
Figura 23.	Visualización de la imagen adquirida de la hacienda Blanca América	71
Figura 24.	Ventana de edición de imagen de Global Mapper	72
Figura 25.	Selección del área de estudio	72
Figura 26.	Herramienta de activación de imagen	73
Figura 27.	Ventana para exportar imagen	73
Figura 28.	Identificación de aspectos a considerar para exportar la imagen	74
Figura 29.	Visualización de la imagen en Falso Color	75
Figura 30.	Banda 1 (Roja) de la imagen Pléiades	75
Figura 31.	Banda 2 (Verde) de la imagen Pléiades	75
Figura 32.	Banda 3 (Azul) de la imagen Pleiades	76
Figura 33.	Banda 4 (Infrarroja) de la imagen Pleiades	76
Figura 34.	Calculadora raster (Raster Calculator)	77
Figura 35.	Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) calculado	78
Figura 36.	Clasificación y valores del vigor de la vegetación	79

Figura 37.	Clasificación en forma de histograma. (NDVI)	79
Figura 38.	Curva espectral (NDVI)	80
Figura 39.	Índice Mejorado de Vegetación (EVI) calculado. (Anexo 2)	81
Figura 40.	Clasificación y valores del vigor de la vegetación	82
Figura 41.	Clasificación en forma de histograma (EVI)	82
Figura 42.	Curva espectral (EVI)	83
Figura 43.	Índice Transformado de Vegetación (SAVI) calculado	84
Figura 44.	Clasificación y valores del vigor de la vegetación	85
Figura 45.	Clasificación en forma de histograma. SAVI	85
Figura 46.	Curva espectral SAVI	86
Figura 47.	Ubicación de puntos para toma de muestras de suelo	88
Figura 48.	Ubicación de puntos para la toma de muestras foliares	90
Figura 49.	Histograma con transformacion normal para ajuste de datos	94
Figura 50.	Histograma con transformación logarítmica para ajuste de datos	94
Figura 51.	Valor estándar normal de la muestra para cada variable	95
Figura 52.	Kriging ordinario	95
Figura 53.	Transformación de datos y orden de la tendencia	96
Figura 54.	Tendencia de la distribución y semivariograma	96
Figura 55.	Predicción y error de modelo de interpolación	97
Figura 56.	Cercanía de los puntos a la tendencia y modelación aplicando un modelo de suavidad de 0,5.	97

Figura 57.	Disponibilidad de nitrógeno de acuerdo con el análisis de suelos	100
Figura 58.	Disponibilidad de fósforo de acuerdo con el análisis de suelos istograma con transformación logarítmica para ajuste de datos.	102
Figura 59.	Disponibilidad de potasio de acuerdo con el análisis de suelos	103
Figura 60.	Disponibilidad de nitrógeno de acuerdo con el análisis foliar	105
Figura 61.	Disponibilidad de fósforo de acuerdo con el análisis foliar en la finca Blanca América	107
Figura 62.	Disponibilidad de potasio de acuerdo con el análisis foliar	109
Figura 63.	Índice normalizado de vegetación más nitrógeno foliar	111
Figura 64.	Índice transformado de vegetación más nitrógeno en el suelo	112
Figura 65.	Índice normalizado de vegetación más fosforo foliar	113
Figura 66.	Índice transformado de vegetación más potasio en suelos	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Ubicación Geográfica	32
Tabla 2	Superficie por lote del área de estudio	34
Tabla 3	Superficie y producción del banano en Ecuador	55
Tabla 4	Requerimientos del cultivo de banano	56
Tabla 5	Especificaciones técnicas del satélite pléiades	66
Tabla 6	Estadística general para nitrógeno de la finca Blanca América	100
Tabla 7	Estadística general del elemento fósforo (P) de la Finca Blanca América	102
Tabla 8	Estadística general para Potasio (K) de la Finca Blanca América	103
Tabla 9	Estadística general para nitrógeno foliar de la finca Blanca América	105
Tabla 10	Estadística general para fósforo (P) de la Finca Blanca América	107
Tabla 11	Estadística general para Potasio (K) de la Finca Blanca América	109
Tabla 12	Principales funciones de los nutrientes de las plantas	111

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Comportamiento de los índices de vegetación sobre la reflectancia en diversas longitudes de onda	24
Gráfico 2	Diagrama de flujo de la metodología a aplicar para la utilización de diferentes algoritmos de teledetección como herramientas para analizar la respuesta espectral en plantaciones de banano.	30
Gráfico 3	Diagrama de la radiación electromagnética	41
Gráfico 4	Longitudes de onda del espectro electromagnético	42
Gráfico 5.	Comportamiento espectral patrón de la vegetación verde y sana	44
Gráfico 6.	Curvas de absorción del agua y reflectividad de la vegetación.	44
Gráfico 7.	Firmas espectrales del suelo en relación con su textura	46
Gráfico 8.	Firmas espectrales de suelo y vegetación	47
Gráfico 9.	Relación entre contenido de humedad del suelo y de la vegetación	48
Gráfico 10.	Relación entre contenido de humedad del suelo y de la vegetación	48
Gráfico 11.	Curvas características de la vegetación sana y enferma.	49
Gráfico 12.	Respuestas espectrales de plantas del banano en diferentes etapas fenológicas	62
Gráfico 13.	Respuestas espectrales del promedio de las tres etapas productivas en el espectro visible	63
Gráfico 14.	Diagrama de flujo de la metodología a aplicar en el estudio	64
Gráfico 15.	Cuerpo hexagonal del satélite Pléiades	65
Gráfico 16.	Ubicación de puntos para toma de muestras foliares	77
Gráfico 17.	Disponibilidad de nitrógeno de acuerdo con el análisis de suelos	87

en la finca Blanca América

Gráfico 18.	Disponibilidad de fósforo de acuerdo con el análisis de suelos en la finca Blanca América	89
Gráfico 19.	Disponibilidad de potasio de acuerdo con el análisis de suelos en la finca Blanca América	90
Gráfico 20.	Disponibilidad de nitrógeno de acuerdo con el análisis foliar en la finca Blanca América	91
Gráfico 21.	Disponibilidad de fósforo de acuerdo con el análisis foliar en la finca Blanca América	93
Gráfico 22	Diagrama de flujo de la metodología aplicar en el estudio	51

ÍNDICE DE FOTOS.

Foto 1.	Cultivo de banano de la finca Blanca America	87
Foto 2.	Toma de muestra de suelo	89
Foto 3.	Toma de muestra foliar	90
Foto 4.	Muestras raíces (Nemátodos)	91
Foto 5.	Evidencia de enrollamiento de hojas	101
Foto 6.	Nitrógeno en el cultivo adecuado.	106
Foto 7.	Deficiencia de fósforo en la hoja	108
Foto 8.	Potasio adecuado en la hoja	110

ANEXO DE MAPAS

Anexo 1	Índice normalizado de vegetación
Anexo 2	Índice mejorado de vegetación
Anexo 3	Índice transformado de vegetación
Anexo 4	Disponibilidad de nitrógeno de acuerdo con el análisis de suelos
Anexo 5	Disponibilidad de fósforo de acuerdo con el análisis de suelos
Anexo 6	Disponibilidad de potasio de acuerdo con el análisis de suelo
Anexo 7	Disponibilidad de nitrógeno de acuerdo con el análisis foliar
Anexo 8	Disponibilidad de fósforo de acuerdo con el análisis foliar
Anexo 9	Disponibilidad de potasio de acuerdo con el análisis foliar
Anexo 10	Índice normalizado de vegetación más nitrógeno foliar.
Anexo 11	Índice normalizado de vegetación más fosforo foliar.
Anexo 12	Índice transformado de vegetación más potasio en suelos.
Anexo 13	Informe de análisis de suelos
Anexo 14	Informe de análisis foliares

LISTADO DE ACRÓNIMOS

AEBE:	Asociación de Exportadores de Banano Ecuatoriano
CTVI:	Índice de Vegetación Transformado Corregido
EVI:	Índice de Vegetación Mejorada
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
INEGI:	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LAI:	Índice de Área Foliar
LIDF:	Función de Distribución de la Inclinación
MAGAP:	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
ND:	Niveles Digitales
NDVI:	Índice de Vegetación Normalizada
SAVI:	Índice Transformado de Vegetación
SIG:	Sistemas de Información Geográfica
Nm:	La medida del nanómetro (nm.), que mide una milmillonésima parte de un metro (10^{-9} metros). El sistema visual humano es sensible a las longitudes de onda situadas entre los 380 y los 780 nanómetros.
µm:	Una micra es una unidad de medida en el sistema métrico, también conocida como micrón.
LAI:	Índice de área foliar.
LIDF:	Función de Distribución de la Inclinación
INIAP:	Instituto Nacional de investigaciones Agropecuarias.

RESUMEN

La Teledetección ha sido utilizada como una valiosa herramienta para establecer indicadores de degradación y conservación de los recursos naturales, de manera especial para la evaluación de cambios en el uso de suelo y cubierta vegetal. En este sentido la presente investigación se enfoca en el análisis de la respuesta espectral mediante el empleo de diferentes índices de vegetación aplicados a una imagen de satélite Pleíades de 0,5m de resolución en una finca bananera ubicada en la provincia del Guayas, Cantón San Jacinto de Yaguachi en el Sector de los Tres Postes.

Los índices de vegetación desarrollados se relacionaron con la información obtenida a partir de la imagen Pleíades1 A y Pleíades 2 B, así como también de datos recopilados referentes a muestras de suelo, foliares y a fichas históricas relacionadas a la presencia de plagas y enfermedades levantadas en campo en el transcurso de la investigación.

Este estudio plantea una propuesta metodológica para el seguimiento de la problemática de la sanidad en las plantaciones de banano a escala regional. De esta manera, se buscó relacionar el estado fenológico del cultivo con la información de la imagen satelital obtenida a partir del rojo e infrarrojo cercano, esto permitió identificar los diferentes estados del cultivo como plantas enfermas, plantas sanas, vegetación escasa, suelo sin vegetación y cuerpos de agua, además se tomó en cuenta los análisis de suelo y foliares para generar cartografía mediante la geoestadística.

El análisis de las características de los índices de vegetación y el análisis de los elementos químicos permitió correlacionar valores y/o rangos que mostraron el estado del cultivo y a su vez dar alertas sobre posibles sitios en donde pueda existir algún tipo de ataque de plaga u enfermedad o de deficiencia de nutrientes que conlleve al propietario a tomar las medidas necesarias para el control y mejoramiento del cultivo.

CÁPITULO I

INTRODUCCIÓN

A lo largo de las últimas 2 décadas se han propuesto diversos índices espectrales, que según las características que se busca evaluar, han generado un gran número de expresiones aplicadas a distintos estudios en la vegetación, los mismos que se emplean para cuantificar el comportamiento fenológico de las coberturas vegetales. Dichos índices se basan en la respuesta espectral de la vegetación, con datos que se obtienen a partir de sensores remotos, los cuales se encargan de recoger información sobre la radiación que refleja la superficie terrestre y posteriormente la almacena en diferentes bandas, dependiendo de su longitud de onda.

El conjunto de estas bandas proporciona imágenes o matrices de datos en los que cada pixel contiene información de reflectancia para una zona determinada de la superficie. La precisión de estas imágenes para el estudio de la superficie terrestre depende de la resolución del sensor. Para la presente investigación se consideró al satélite Pléiades 1A y Pléiades 1B los cuales actúan como una auténtica constelación, sobre la misma órbita a 180° uno del otro, éstos satélites totalmente idénticos suministran productos ópticos de alta resolución con una capacidad de revisita diaria sobre cualquier punto del globo.

La constelación Pléiades es idónea para obtener información en un corto tiempo con una capacidad de adquisición inferior a 24 horas sobre cualquier punto del planeta que permitiría obtener información en caso de crisis o de catástrofe natural. Además, posee una capacidad de cobertura multiplicada por dos, lo que se traduce en el doble de oportunidades para obtener imágenes sin nubes, posee una resolución de 50 cm, en color y ortorectificados (corregido el desplazamiento por relieve), lo que lo hace ideal para la utilización en este tipo de investigaciones.

Un índice de vegetación es un indicador que describe el valor verde de la vegetación en el espectro electromagnético, lo cual, a su vez, puede estar relacionado con las condiciones patológicas de la planta, ya que estas pueden influir en las características espectrales del tejido de las hojas en las regiones del espectro.

Los cultivos en buenas condiciones fisiológicas absorben la radiación en la zona azul (400-500 nm) y roja (600-700 nm) del espectro visible, debido a los pigmentos fotosintéticos que contiene, mientras que en el verde (500-600 nm) y especialmente en el infrarrojo cercano (NIR) (700-1300 nm) refleja gran parte de la luz debido a la estructura celular de la hoja (Lehrer et al., 2007), provocando una firma espectral única en relación a la de otras cubiertas (suelos desnudos y zonas urbanas).

Entre los más usados está el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), aplicado por primera vez por Rouse et al. (1973), desarrollado para resaltar las firmas espectrales de la vegetación entre las bandas Roja (R) e Infrarrojo cercano (NIR) (Jensen et al. 2000), el mismo que nos permite obtener una clasificación de las diferentes coberturas vegetales. Y a su vez, permite diferenciar la vegetación vigorosa o sana de la vegetación senescente o enferma, mediante el contraste de la cantidad de luz visible (60 μ m – 70 μ m) e infrarroja (70 μ m – 90 μ m) la cual es reflejada por la vegetación verde. El NDVI ha sido ampliamente utilizado en la identificación de zonas prioritarias para la conservación, erosión y monitoreo de zonas agrícolas en lo que respecta a la presencia de plagas y/o enfermedades.

Otros índices que aportan información relativa a la biomasa/verdor de la vegetación y/o humedad y que se han aplicado a la evaluación de cultivos son: el Índice de Vegetación de Ajustado al suelo (SAVI) por sus siglas en inglés que tiende a minimizar el brillo del suelo, introduciendo una variable L (Huete, 1988); el Índice de Vegetación Mejorado (EVI), aplicado por su información en la banda azul del espectro, y que puede ayudar a corregir señales de fondo e influencias atmosféricas (Holzman et al. 2013).

En este contexto, la presente investigación se enfoca en analizar los diferentes índices de vegetación, además de una correlación con los análisis de suelo y foliares como una herramienta para identificar plagas, enfermedades además de deficiencias de algún elemento químico en el cultivo de banano.

La importancia de proponer metodologías basadas en SIG es obtener una detección temprana de enfermedades y/o plagas además de reducir el tiempo de trabajo y economizar recursos económicos dentro de las plantaciones de Banano.

Es importante mencionar que esta propuesta metodológica es una investigación pionera en el país, por lo que la información el procedimiento y la metodología a ser aplicada fueron complejas, razón por la cual la misma tuvo aportes por parte del Director de la investigación (Ing. Patricio Solís, quien por acogerse a la jubilación tuvo que abandonar la dirección de la investigación), la cual fue retomada por la MSc. Olga Mayorga quien continuó con la dirección y los objetivos que se habían establecido. Además, tuvo el aporte de expertos conocedores del campo agrícola en lo que se refiere al cultivo de banano y profesionales representantes de la Compañía Consultora Agroprecisión.

1.1 Antecedentes

El cultivo de banano en el Ecuador viene atravesando una serie de problemas fitosanitarios como son las plagas y enfermedades durante las últimas décadas afectando especialmente a la parte socio económico y al comportamiento de la vegetación. La aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Teledetección, constituyen las principales herramientas que permiten evaluar estos cambios.

En este contexto, los índices de vegetación se han convertido en las principales fuentes de información para el monitoreo y especialización de la vegetación y sus variaciones. Uno de los más relevantes según Rouse (1974), es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) que representa una función de bandas espectrales correspondientes al rojo e infrarrojo cercano, el cual se calcula mediante la siguiente expresión:

$$NDVI = (IRC - R) / (IRC + R)$$

Donde: IRC es la reflectividad en el infrarrojo cercano y R es la reflectividad en el rojo.

La diferencia entre estas bandas es un indicador fuerte de la cantidad de biomasa verde fotosintéticamente activa (Tucker, 1977).

Es decir, los índices de vegetación son indicadores de verdosidad que proporcionan medidas alternativas de la salud de la vegetación relativa siendo estos índices utilizados para vigilar las zonas donde la vegetación puede estar estresada o enferma, además de tener alguna deficiencia de elementos químicos o foliares.

Según la FAO (2014), se ha insistido a la comunidad internacional a que se tomen medidas urgentes ante el resurgir de una de las enfermedades más destructivas del banano, que amenaza la producción de América Latina. La enfermedad, conocida como la "Enfermedad de Panamá" o el marchitamiento por *Fusarium* se ha vuelto a propagar en varios países de Asia, África y Medio Oriente, pero por el momento no ha llegado a Colombia ni Ecuador, los mayores exportadores de América Latina. Por ello, se trata de intensificar la vigilancia, notificación y prevención de una de las enfermedades más destructivas en el cultivo de banano.

1.2 Justificación

En la actualidad se está considerando a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como un apoyo al establecimiento y monitoreo de cultivos, presentándose como una alternativa necesaria para manejar diferentes actividades en el sector agropecuario.

Según Bosque (1992), la utilización de los SIG optimiza ciertas variables como: el tiempo de medición, la variabilidad espacio - tiempo, la calidad en la información entre otros, con el objetivo de mejorar la toma de decisiones por parte de los agricultores.

Hoy en día las técnicas tradicionales utilizadas para determinar el estado nutricional de los cultivos, demandan gran cantidad de tiempo y recursos económicos por parte de los agricultores, por lo que la estimación del estado nutricional de las plantas a partir de su respuesta espectral puede ser de mucha utilidad, con miras a establecer modelos predictivos del comportamiento espacio-temporal de los fenómenos asociados al manejo de la sanidad vegetal, se ha considerado utilizar estas técnicas para una fácil y accesible detección temprana de plagas y enfermedades en cultivos que son rentables para el país (FAO, 1995).

Actualmente el cultivo de banano es considerado como uno de los productos de mayor comercialización a nivel mundial, siendo Ecuador el principal exportador de banano en el mundo, obteniendo el 30% de la oferta mundial, representando el 15% del total de las exportaciones, siendo el segundo rubro de mayor exportación del país dada la demanda de consumidores de los mercados más exigentes (AEBE, 2016). El cultivo de banano es un importante sostén para la economía y seguridad alimentaria del país. Desde el punto de vista económico genera fuentes de trabajo, además de proveer permanentemente alimentos ricos en energía a la mayoría de la población campesina.

Según Asociación de exportadores de banano del Ecuador (2016), las principales provincias productoras de banano son: Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro, y Esmeraldas. En el año 2015 la producción de cajas de banano por hectárea se incrementó en un 5% en comparación al año anterior esto permitió financiar infraestructura, fertilización, y mejor manejo del control de la sigatoka, enfermedad que afecta la productividad y disponibilidad de la fruta exportable.

En el año 2012 se registraron 7 millones de toneladas métricas de producción nacional, siendo la provincia de Los Ríos la principal productora de este cultivo, seguida de la provincia del Oro y Guayas (AEBE, 2013).

Las extensas plantaciones de banano que se encuentran en el país, y en este caso concreto en la Provincia del Guayas, presentan constantemente ataques de plagas y enfermedades que no se las puede detectar en su magnitud a simple vista, por lo que, se hace necesario utilizar otras técnicas como las que provienen de los sensores remotos o teledetección (AEBE, 2016).

No existen investigaciones para el cultivo de banano, que proporcionen una metodología que relacione sus respuestas espectrales en base a su estado fisiológico y la incidencia de plagas y/o enfermedades, solo se ha encontrado estudios multitemporales en el caso del banano.

Por este motivo, la presente investigación está enfocada principalmente en la teledetección y en la aplicación de índices de vegetación o índices verdes, los cuales son combinaciones matemáticas entre distintos valores del espectro.

Entre los algoritmos matemáticos, a desarrollar tenemos el “Índice de Vegetación Normalizado (NDVI), por sus siglas en inglés, el Índice de Vegetación Mejorada (EVI) y el Índice de Vegetación Ajustada al Suelo (SAVI), cuya función es la de estimar los parámetros que pueden presentar los diferentes tipos de cultivos (área foliar, porcentaje de biomasa verde, actividad fotosintética, contenido de nitrógeno entre otros). Utilizando para ello imágenes satelitales Pleídes 1A/1B con resolución espacial de 0,5 metros; esto permitió obtener resultados en los que se pudo localizar un rango de reflectividad del aspecto fitosanitario en el cultivo de banano y a su vez permitió correlacionar las respuestas espectrales con los elementos químicos del suelo y foliares.

1.3 Planteamiento del Problema

De acuerdo con Kepner & Soothill (1935), el banano es uno de los cultivos más antiguos, se tiene registro de cultivos del mismo desde el año 650 D.C. su origen es Asia meridional en países como Bután, India, Nepal, Bangladés, Pakistán, Afganistán e Irán.

El banano constituye el segundo producto de mayor exportación del Ecuador, después del petróleo, el cultivo y producción del banano ha representado una de las principales actividades económicas generadoras de empleo e ingresos al país. Las características y condiciones del suelo y el clima han permitido la producción continua del banano ecuatoriano, el mismo que es mundialmente reconocido por su calidad, sabor y alto contenido de ácido fólico, potasio y vitaminas (AEBE, 2013).

En el Ecuador, el cultivo de banano constantemente se ve amenazado por problemas fitosanitarios, trayendo como consecuencias que los productores tengan pérdidas en el aspecto económico y de la productividad (Sotomayor, 2016).

La incidencia de enfermedades ocasiona la muerte de las plantas, como es el Mal de Panamá, que fue el motivo para que se siembre una nueva variedad resistente al grupo de *Cavendish* en reemplazo de la variedad *Grossmichel* que demostraba una alta susceptibilidad a la raza del agente causal de la enfermedad (Sotomayor, 2016).

Para la década de los años 60 ocurrió el establecimiento y desarrollo de la nueva variedad, periodo durante el cual los productores bananeros experimentaron la presencia de nuevas plagas que afectaban tanto al sistema radical como a la calidad del fruto. Las plagas de mayor importancia fueron los nemátodos y el picudo negro, que destruyen las raíces y cepas; otros que atacan al fruto disminuyendo su calidad; también la sigatoka amarilla la cual incide notablemente sobre las hojas, reduciendo la producción (Sotomayor, 2016).

La enfermedad del “Mal de Panamá” causada por el hongo *Fusarium oxysporum* sp. *cubense* raza tropical, representa una seria amenaza potencial tanto para el cultivo de banano; sin embargo, la Sigatoka negra es la enfermedad más seria que se encuentra afectando al banano, por lo que su control se torna cada vez más difícil y costoso, debido a la eminente pérdida de sensibilidad del hongo hacia los fungicidas sistémicos utilizados para su control.

Actualmente en el país existen varios métodos de control entre los que podemos mencionar los métodos culturales, biológicos, genéticos y químicos, los cuales, buscan proteger los diferentes cultivos de plagas y enfermedades, y que a su vez son utilizados de acuerdo con la disponibilidad económica de los grandes y pequeños productores (Brechelt, 2004).

Por lo que, esta investigación propone una metodología para el uso de nuevas tecnologías; en este caso la interpretación de imágenes satelitales Pleíades de 0,5 m de resolución para el análisis de la respuesta espectral en plantaciones de banano con presencia de plagas y enfermedades, en una zona piloto del cantón Baquerizo Moreno sector Los tres Postes, Provincia del Guayas.

Por ello la investigación responderá a la siguiente pregunta:

¿Los sistemas de teledetección permiten identificar y discriminar, la presencia de plagas y enfermedades en el cultivo de banano analizando su respuesta de reflectividad?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar la correlación entre índices normalizados de vegetación y diferentes características del suelo e índice foliar en el cultivo, como una herramienta para identificar plagas, enfermedades y macronutrientes.

1.4.2 Objetivos específicos

- Proponer procesos técnicos para evaluar el comportamiento espectral de plantas de banano con presencia de plagas y enfermedades aplicando para el efecto diferentes métodos de índices de vegetación.
- Generar cartografía a partir de muestras de suelo y foliares aplicando métodos geo estadísticos.
- Calcular la correlación entre las características químicas de análisis del suelo foliares y los índices de vegetación.

1.5 Marco teórico

El presente estudio tiene aspectos teóricos relevantes al origen y evolución de los sistemas de información geográfica (SIG); los aspectos planteados expresan contribuciones de la Geografía Cuantitativa cuya manifestación se traduce en el uso de las matemáticas y la estadística; al mismo tiempo se destaca la relación de disciplinas como la Geografía, las Matemáticas y la computación cuyos aportes se manifiestan a través de la teoría de la Geomática.

La Geografía Cuantitativa, cuyo principal interés es convertir a la geografía tradicional en una disciplina científica, planteó la necesidad de abordar el espacio de una manera diferente, desde un punto de vista de planeación e incorporo a la sociedad, es decir con las teorías de la localización y del lugar central. Esta teórica explica lo que acontece en

el espacio en la relación a la actividad humana y fueron posibles gracias a las matemáticas y la estadística.

La Teoría de la Geomática que es un término científico moderno referente a la aproximación integrada de la medición, análisis, almacenamiento y visualización de las descripciones de localización en datos terrestres, denominados datos geográficos o georreferenciados. Estos datos que provienen de diversas fuentes incluidos las localizadas en plataformas satelitales, aéreas e instrumentos terrestres, bajo técnicas y metodologías apoyadas en tecnologías de la información utilizando elementos informáticos. Las tecnologías de la información utilizadas corresponden a sistemas de información geográfica (SIG), percepción remota, bases de datos y sistemas de posicionamiento global (Méndez & Báez, 2009).

La información geográfica juega un papel protagónico en actividades tales como: monitoreo ambiental, manejo de recursos terrestres y marinos, monitoreo de presas, campos petrolíferos y minas, navegación de embarcaciones y aeronaves, oceanografía, turismo, entre otros. Diferentes actividades pueden, de esta forma, extraer información relevante a la hora de tomar decisiones. Sensores remotos tales como: satélites, sensores en bases aéreas e instrumentos de mediciones terrestres (ejemplo GPS), apoyan en el monitoreo y manejo efectivo de los recursos tanto en el mar como en la tierra. La ciencia encargada de integrar esta información derivada de un rango variado de disciplinas (ejemplo topografía, geodesia, fotogrametría y cartografía), de manejar la data espacial y de representar nuestro mundo de la forma más real posible, ha sido denominada: Geomática (Nichols, 2007).

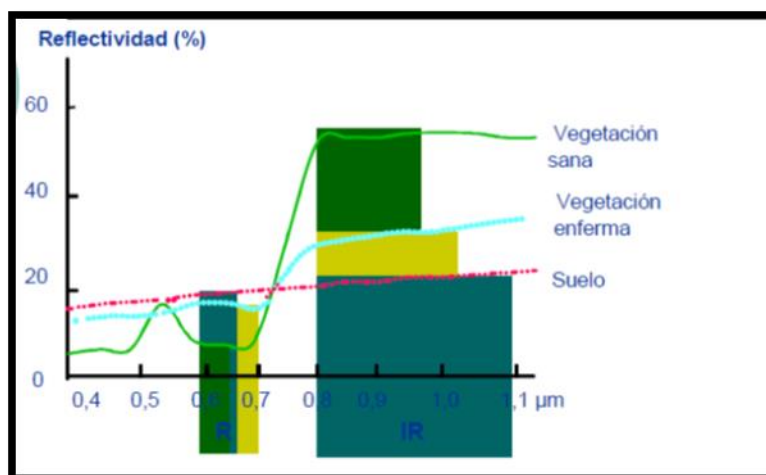
En este contexto se puede mencionar que la teoría de la geomática tiene una relación con los procesos geo estadísticos y los Índices de vegetación.

Los índices de vegetación son la principal herramienta para la identificación de plagas y enfermedades que se derivan principalmente de los principios básicos de la teledetección.

Según Chuvieco (1996), el índice de vegetación es un cociente o ratio que implica efectuar una división, pixel a pixel entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas de la misma imagen. Por otro lado, el índice de vegetación más conocido y usado es el Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI). Este índice fue introducido con el objetivo de separar la vegetación del brillo que produce el suelo (Rouse et al., 1974).

El empleo de los cocientes para discriminar masas vegetales se deriva del peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación, la signatura espectral característica de la vegetación sana muestra un claro contraste entre las bandas visibles y especialmente la banda roja (0,6 a 0,7 μm) y el infrarrojo cercano (0,7 a 1,1 μm). Mientras en la región visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de energía que reciben, estas sustancias apenas afectan al infrarrojo cercano. Por esta razón, se produce un notable contraste espectral entre la baja reflectividad de la banda roja del espectro y la del infrarrojo cercano, lo que permite separar, con relativa claridad, la vegetación sana de otras cubiertas como lo muestra el Gráfico 1 (Rouse et al., 1974).

Gráfico 1. Comportamiento de los índices de vegetación sobre la reflectancia en diversas longitudes de onda.



Fuente: Universidad de Alcalá, (2001).

1.6 Marco conceptual

El marco conceptual permite caracterizar los elementos que intervienen en el proceso de la presente investigación a través de definiciones o conceptos, a continuación, se presentan varias definiciones relacionadas al análisis.

1.6.2 Banda

Según Chuvieco (2008), se refiere a una selección de longitudes de onda con comportamientos electromagnéticos similares.

1.6.3 Clasificación digital

Es el proceso por el que se asigna un pixel de una imagen multiespectrales a una de las categorías de la leyenda generalmente sobre la base de similitudes entre los valores numéricos que las definen (Chuvieco, 2008).

1.6.4 Enfermedad de la planta

Según Rivera (2007), se refiere a una alteración morfológica o fisiológica de la planta causada por microorganismos, condiciones ambientales adversas o una acción combinada de ambas. Las modificaciones en forma y funcionamiento de una planta enferma pueden resultar de la asociación parasítica entre el organismo que la incita (patógeno) y la de la planta.

1.6.5 Espectro electromagnético

Según Chuvieco (2008), El Espectro Electromagnético se refiere a la agrupación de la radiación electromagnética en distintas bandas definidas por la longitud de onda o la frecuencia, que presentan un comportamiento radiométrico similar.

1.6.6 Firma espectral de la vegetación

Según Lobo (1995), la firma espectral de la vegetación verde se caracteriza por presentar un claro contraste entre las regiones del espectro correspondientes al rojo del

visible y al infrarrojo cercano. Mientras en la región visible, los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la luz que reciben, en el infrarrojo cercano estas sustancias son bastante transparentes. Por esta razón, la vegetación sana ofrece baja reflectividad en la banda roja del espectro (entre 600 y 700 nm.) y alta en el infrarrojo próximo (entre 800 y 1000 nm), de manera que cuanto mayor sea el “vigor” que presenta la vegetación, mayor será el contraste entre los valores de reflectancia captados en ambas bandas. Bajos valores de reflectancia en el infrarrojo próximo pueden indicar una vegetación enferma o con una falta importante de humedad.

1.6.7 Georreferenciar

La Georreferenciación se refiere a la localización precisa de una imagen o mapa, en cualquier lugar de la superficie terrestre, mediante la asignación de coordenadas (Chuvienco, 2008).

1.6.8 Índice de vegetación

Los índices de vegetación son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites de Teledetección, cuya función es realzar la vegetación en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros elementos como el suelo, la iluminación, etc (Jackson, 1983).

1.6.9 Infrarrojo

Porción del espectro comprendido entre 0,7 y 100 micras que tiene gran importancia para estudios de teledetección. Normalmente tiene que dividirse en infrarrojo cercano medio y lejano este último se conoce como infrarrojo térmico (Chuvienco, 2008).

1.6.10 Imagen satelital

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016), una imagen satelital es una representación visual de los datos reflejados por la superficie de la tierra que captura un sensor montado en un satélite artificial. Los datos son enviados a una

estación terrena en donde se procesan y se convierten en imágenes, enriqueciendo conocimiento de las características de la tierra en diferentes escalas espaciales.

1.6.11 Nivel digital

Se considera Nivel Digital (ND), al valor discreto que puede ser traducido numéricamente como intensidad (Chuvieco, 2008).

1.6.12 Pixel

El Pixel es el elemento pictórico más pequeño de las imágenes que es susceptible de ser procesado, el mismo que se deriva del inglés “pictures elements” (Chuvieco, 2008).

1.6.13 Plaga

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (1995), se considera plaga a cualquier especie, rara o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales.

1.6.14 Radiación

La Radiación es el proceso en el que la energía electromagnética es propagada a través del espacio libre (Chuvieco, 2008).

1.6.15 Radiancia

La Radiancia es el total de la energía radiada por unidad de área y por ángulo sólido de medida (Chuvieco, 2008).

1.6.16 Realce de imágenes

Es un proceso digital que tienen como fin de mejorar la calidad visual de la imagen, mediante el aumento del contraste interno o la creación de nuevas bandas que permiten una mejor ilustración sobre sus características originales (Chuvieco, 2008).

1.6.17 Raster

Es un método de organización de datos para información espacial. La estructura de datos de un archivo raster consiste en un arreglo de filas y columnas con valores discretos que preservan la localización espacial de las superficies que representan (Chuvieco, 2008).

1.6.18 Respuesta espectral

Es una forma peculiar de reflejar o emitir energía de un determinado objeto. Las cuales están afectadas por las características físicas o químicas del objeto que interactúan con la energía electromagnética y varían según las longitudes de onda (Chuvieco, 2008).

1.6.19 Resolución radiométrica

Se refiere a la sensibilidad que posee un sensor para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. Cuanto mayor sea la precisión radiométrica mejor será la interpretación (Chuvieco, 2008).

1.6.20 Reflectancia (Reflectividad)

Es el porcentaje de radiación incidente que es reflejada por una superficie bidimensional (Chuvieco, 2008).

1.6.21 Sensor

Se considera a un sensor como cualquier instrumento que detecta energía electromagnética, convierte en una señal y la presenta en forma susceptible de ser aprovechado para su estudio (Chuvieco, 2008).

1.6.22 Sistemas de información geográfica

Conjunto de herramientas para crear, geo referenciar, manipular, combinar, y analizar información espacial terrestre, generalmente soportadas por un programa de cómputo (Chuvienco, 2008).

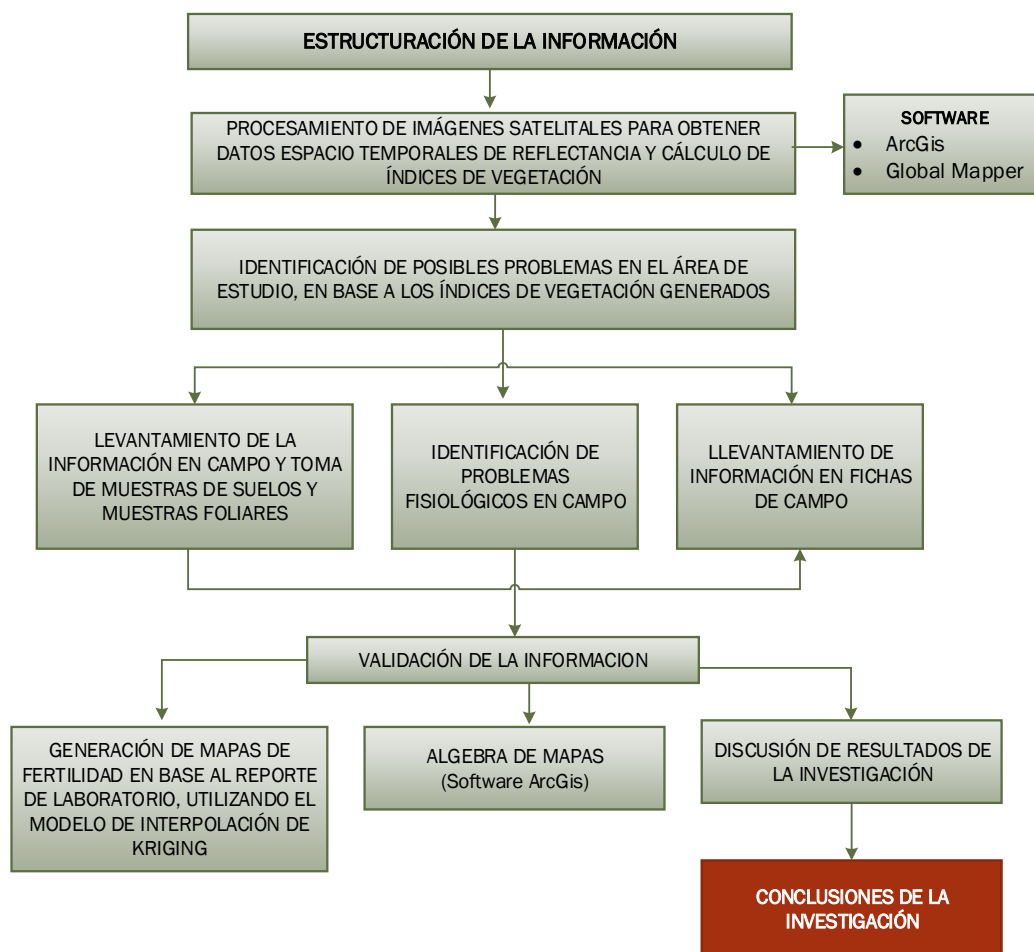
1.6.23 Teledetección

Se refiere a la detección de la superficie terrestre desde el espacio mediante el uso de las propiedades de las ondas electromagnéticas emitidas, reflejadas o difractadas por los objetos detectados, para el propósito de mejorar el manejo de los recursos naturales, uso del terreno y protección del ambiente (Naciones Unidas, 1986).

1.7 Marco metodológico

Para el desarrollo de la presente disertación, se utilizó el método analítico, que se trata de estudiar la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. Es necesario conocer la naturaleza del fenómeno y objeto que se estudia para comprender su esencia. Este método nos permite conocer más del objeto de estudio, con lo cual se puede: explicar, hacer analogías, comprender mejor su comportamiento y establecer nuevas teorías (Achig, 1991). La presente disertación se encuentra dividida en cinco capítulos relacionados con los objetivos preestablecidos, para lo cual se elaboró en fases mediante métodos y técnicas relacionadas con las ciencias geográficas, que se detallan a continuación en el Grafico 2.

Gráfico 2. Diagrama de flujo de la metodología a aplicar para la utilización de diferentes algoritmos de teledetección como herramientas para analizar la respuesta espectral en plantaciones de banano.



Fuente: Elaboración propia.

a. Recopilación, sistematización y análisis de información básica

- Datos básicos e informativos de la zona de Estudio (temperatura, precipitación, tipo de suelo, y vegetación).
- Recopilar información de varias fuentes que contengan el uso de los Índices de vegetación (NDVI – EVI - SAVI).
- Recopilar datos históricos de las principales plagas y enfermedades una zona piloto del cantón San Jacinto de Yaguachi sector Tres Postes, Provincia del Guayas.
- Recopilación y análisis de imágenes satelitales Pléiades obtenidas de AIRBUS.

b. Levantamiento de información de campo

- Identificar siete puntos de muestreo.
- Levantamiento de una ficha de campo en la finca.
- Obtención de coordenadas dentro de cada parcela con presencia de plagas y enfermedades o cualquier otro factor.

c. Procesamiento de la información del estudio

- Análisis de las Respuestas espectrales reflejadas de la planta del Banano (NDVI).
- Procesamiento de modelos matemáticos generados para el análisis espectral.
- Correlación entre la respuesta de reflectancia del cultivo en la imagen satelital y los datos tomados en el campo mediante el álgebra de mapas.

1.8 Mapa Base

La cartografía es esencial para “integrar” sobre un mapa la información relacionada con: suelos, uso, población, infraestructura y otros.

La información básica comprende, una representación gráfica de las características tanto naturales como antrópicas de un área geográfica.

1.8.1 Parámetros cartográficos

Escala 1: 10.000.

Proyección Cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM).

Zona Cartográfica Zona 17 Sur.

Datum World Geodetic System 1984 (WGS 84).

Formato Digital en ArcGIS 10.3

1.9 Aspectos generales de la zona de estudio

1.9.1 Ubicación y límites

La finca Blanca América se encuentra ubicada en la parroquia San Jacinto de Yaguachi, la misma que se encuentra ubicada en la provincia del Guayas, limitando al norte con el

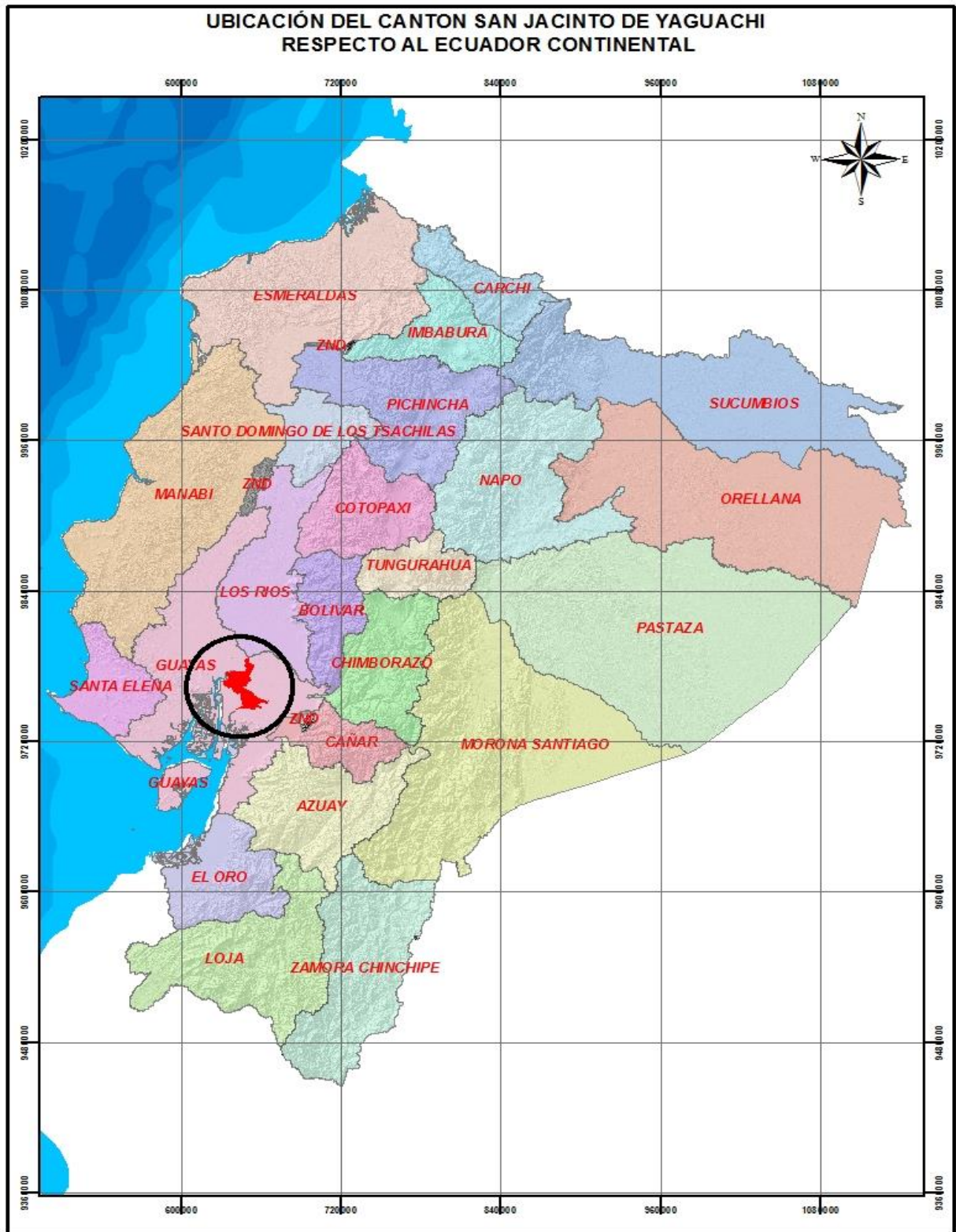
cantón Samborondón, al noreste con el cantón Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan), al sur con los cantones Naranjal y El Triunfo, al este con los cantones Milagro y Marcelino Maridueña y al oeste con el cantón Durán y el río Babahoyo (Ver Tabla N°1 y Figura N°1) (PDYOT, 2014).

Tabla 1. Ubicación Geográfica

PAIS	Ecuador
PROVINCIA	Guayas
CANTÓN	San Jacinto de Yaguachi
PARROQUIA	San Jacinto de Yaguachi
SECTOR	Tres Postes

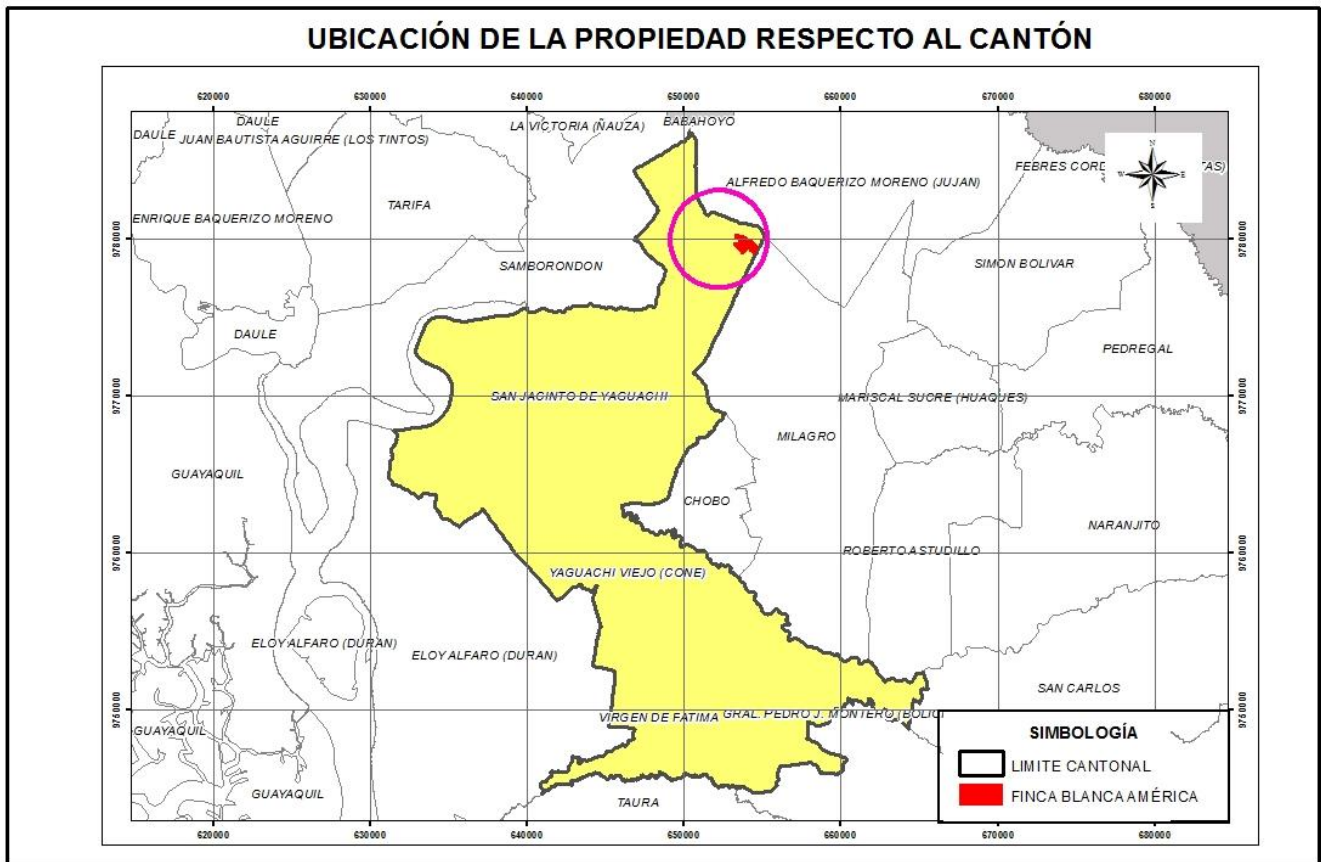
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 1 Ubicación del cantón San Jacinto de Yaguachi respecto al Ecuador continental



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 2. Ubicación de la finca Blanca América en el cantón San Jacinto de Yaguachi sector los Tres Postes



Fuente: Elaboración propia.

1.9.2 Delimitación del área de estudio

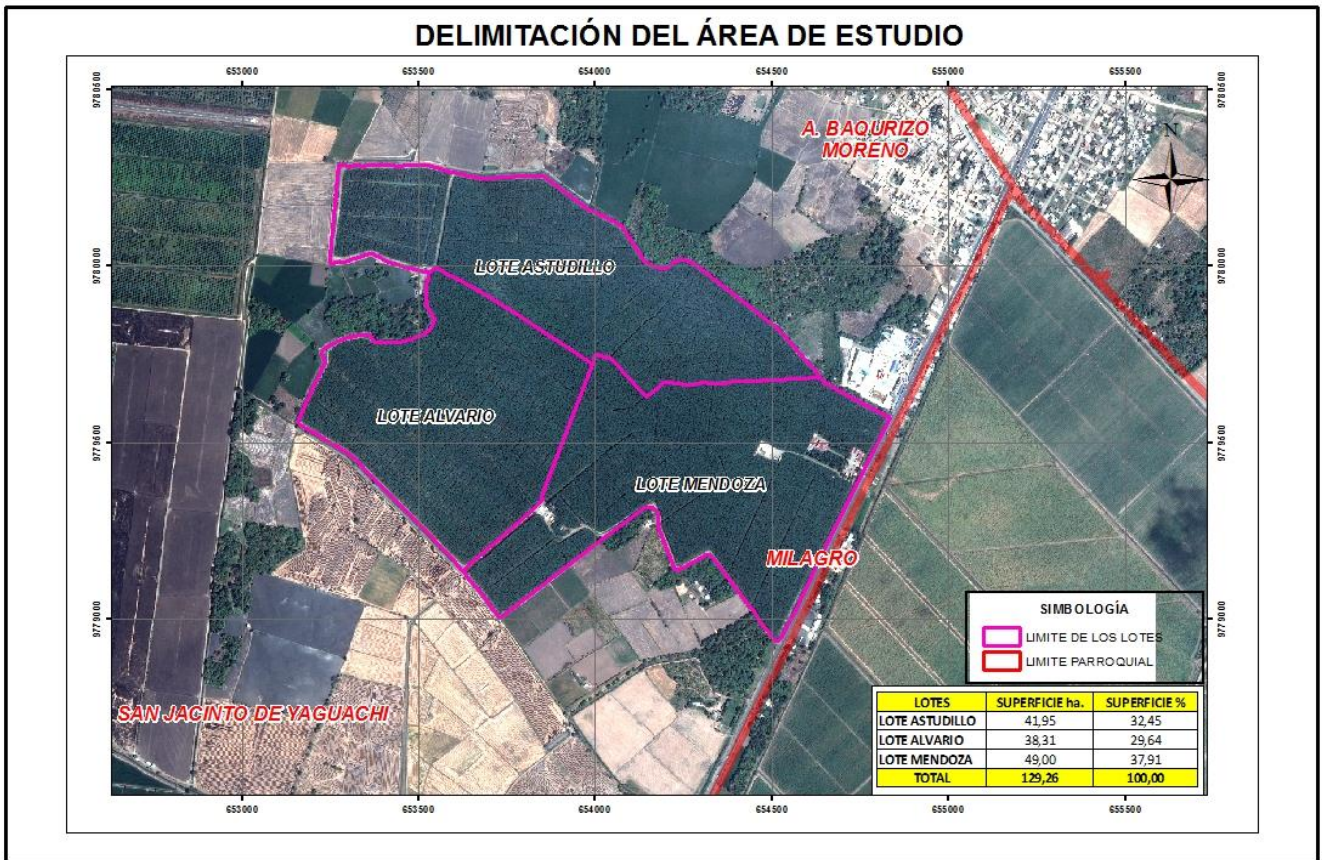
La propiedad tiene una superficie de 129,26 hectáreas, la cual a su vez se encuentra distribuida en tres lotes como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Superficie por lote de la finca

LOTES	SUPERFICIE (ha)
LOTE ASTUDILLO	41,95
LOTE ALVARIO	38,31
LOTE MENDOZA	49,00
TOTAL	129,26

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3. Delimitación del área de estudio y división de los lotes



Fuente: Elaboración propia.

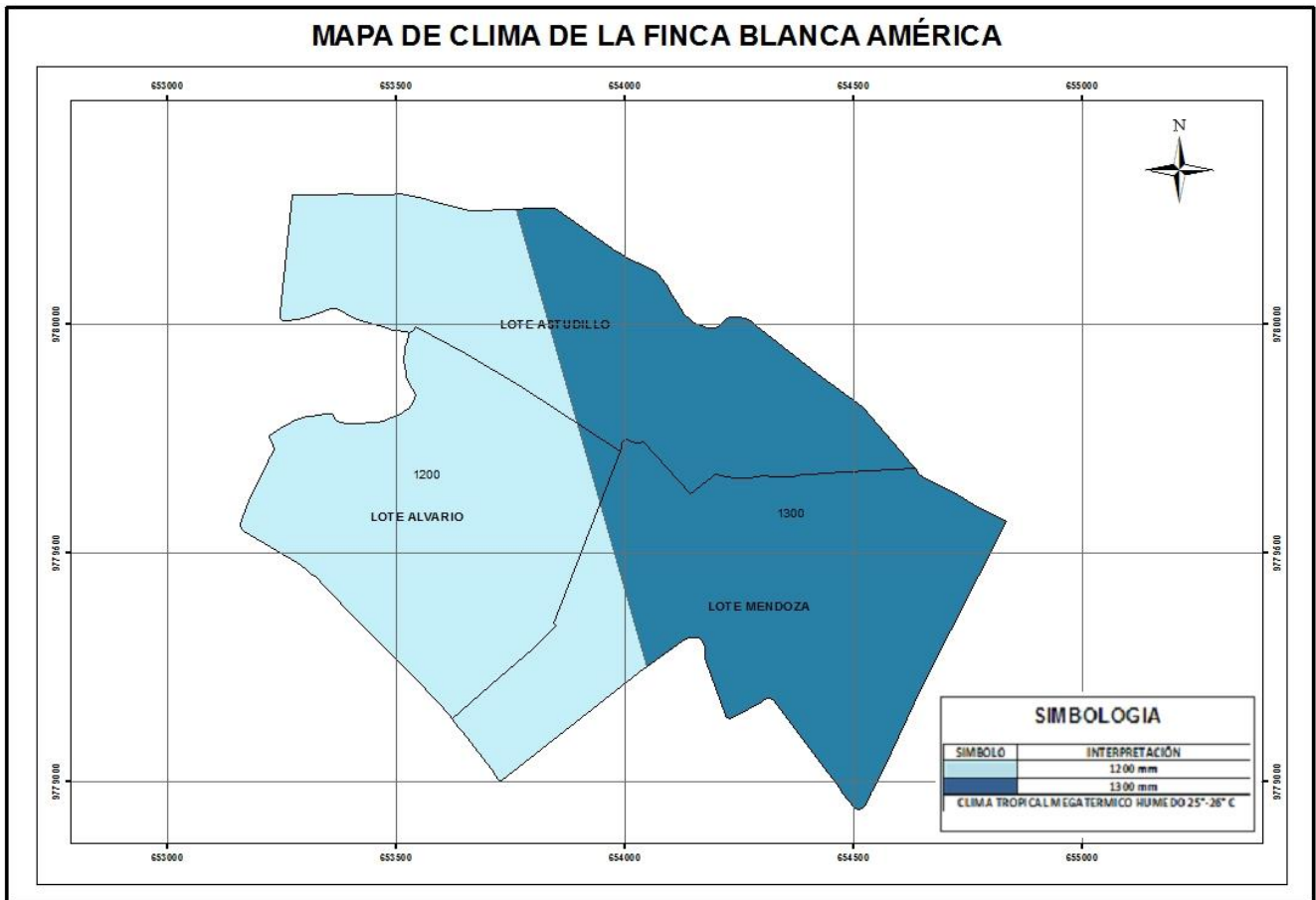
1.9.3 Diagnóstico Biofísico

La información sobre aspectos biofísicos y socioeconómicos es obtenida tanto a nivel cantonal como parroquial.

1.9.3.1 Clima

El área de estudio está influenciada por la ubicación climática en la zona ecuatorial, por ello predomina el tropical mega térmico húmedo con una temperatura variable de 25°C a 26°C, y con precipitaciones medias anuales que oscilan entre 1200 mm a 1300 mm.

Figura N° 4. Clima de la finca Blanca América

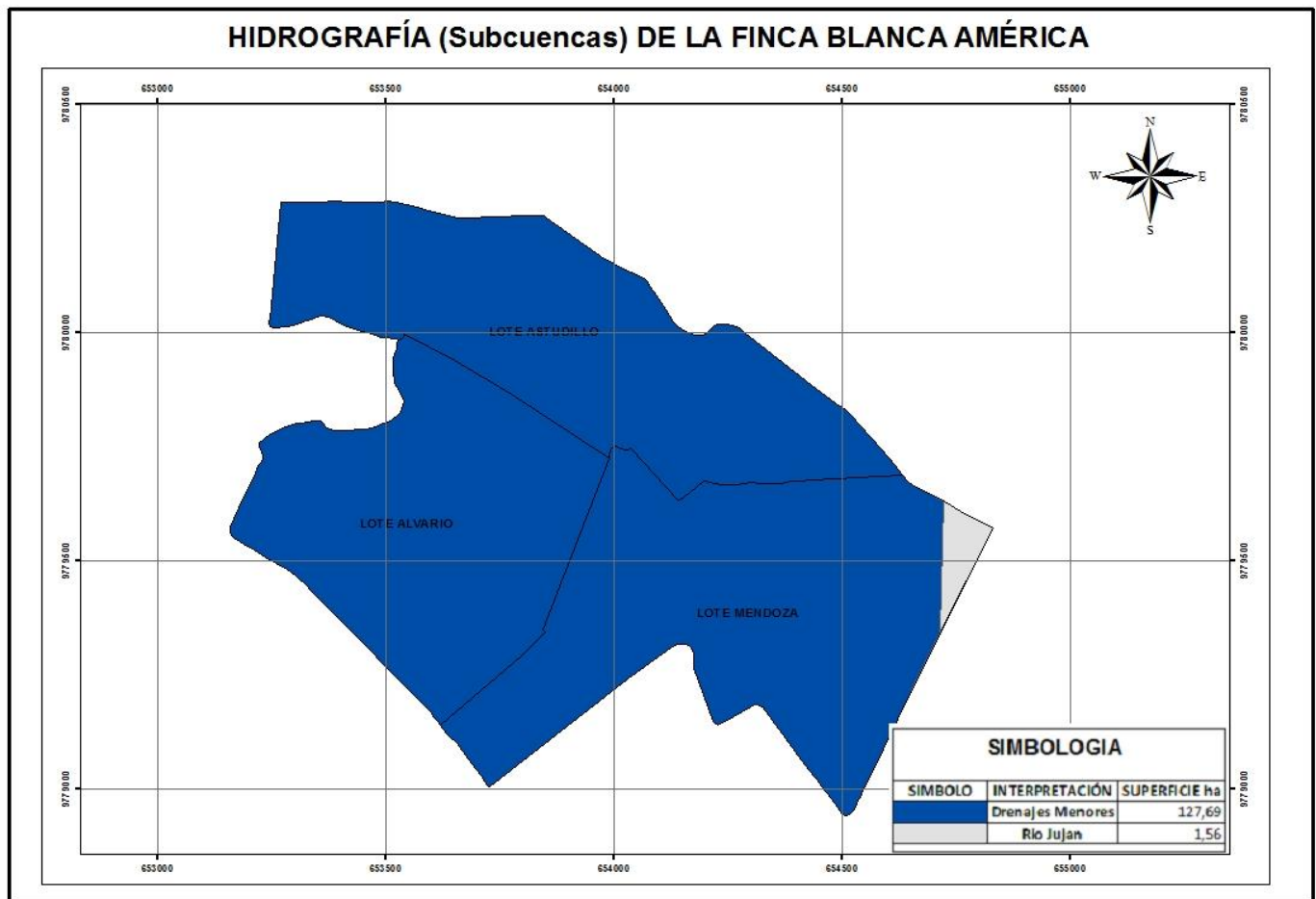


Fuente: Elaboración propia.

1.9.3.2 Hidrografía

En la propiedad atraviesa la subcuenca del Río Jujan que pertenece a la cuenca baja del Guayas (MAGAP, 2012).

Figura N° 5. Hidrografía de la finca Blanca América

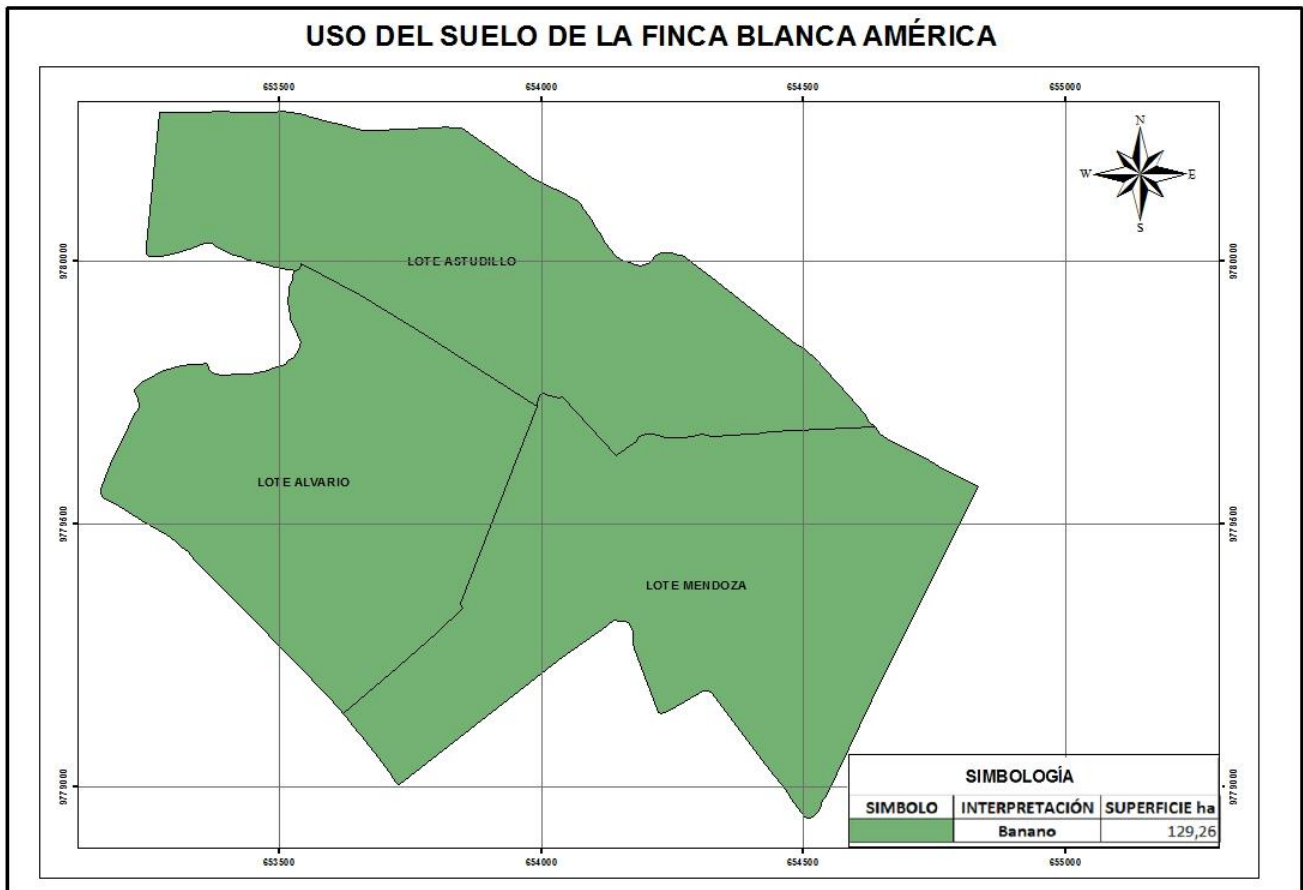


Fuente: Elaboración propia

1.9.3.3 Uso del suelo de la finca Blanca América

En la actualidad la superficie total de la propiedad (129,26 ha), se encuentra destinada al cultivo de banano.

Figura N° 6. Uso del suelo de la finca Blanca América.



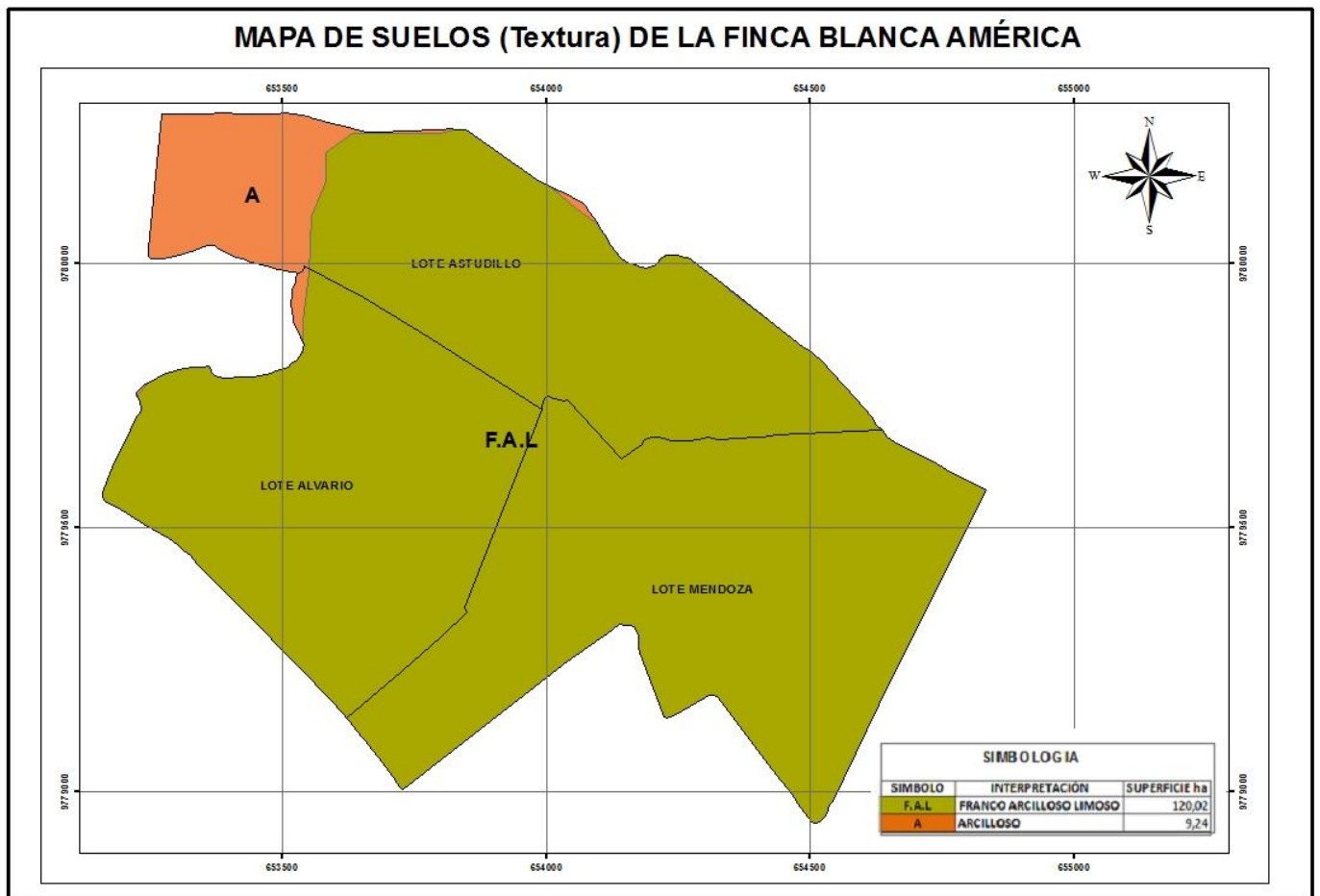
Fuente: Elaboración propia

1.9.3.4 Suelo

Los suelos la finca Blanca América se clasifican de acuerdo con su textura en: Franco Arcillo – limoso y Arcilloso (MAGAP, 2012)

En este contexto según la FAO (1999), los suelos Franco: Corresponden a la mejor textura, tiene proporciones adecuadas de arena, limo y arcilla, que le da al suelo una excelente condición para el uso para plantas.

Figura N° 7. Textura de suelos del cantón San José de Yaguachi



Fuente: Elaboración propia.

CÁPITULO II

TELEDETECCIÓN E IMPORTANCIA DE LA RESPUESTA ESPECTRAL Y DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN

La teledetección es una herramienta muy utilizada en la actualidad y determinante a la hora de establecer indicadores de degradación y conservación de los recursos naturales, dentro de la cual se pueden evaluar dinámicas en los cambios de usos de suelo y coberturas vegetales. La teledetección se destaca por sus estudios medioambientales y su capacidad de seguir procesos dinámicos, ya que las imágenes se captan por un sensor que observa la tierra desde una órbita estable y repetitiva (Chuvieco, 1998). 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 & Muñoz, 2006). Debido a las características multispectrales y multitemporales de los datos satelitales, resulta posible diversificar diferentes tipos de cobertura vegetal.

El uso de los satelitales multispectrales, se los ha empleado en este caso para los índices de vegetación. Los mismos que son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática, entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen (Esperanza & Zerda, 2002). 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.

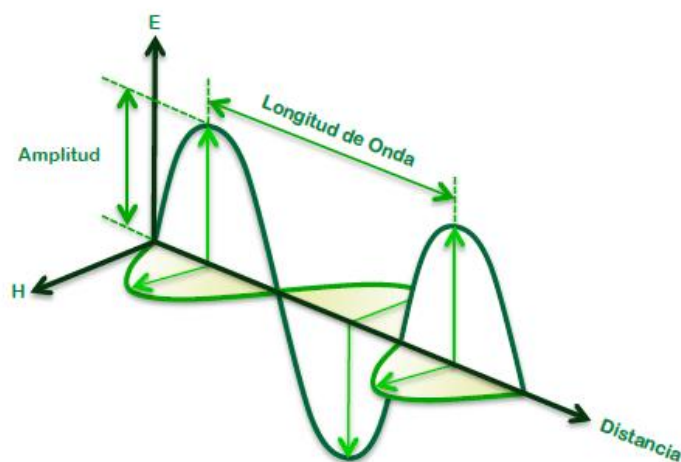
2.1 Espectro electromagnético y las características de cada banda satelital

La radiación electromagnética es un fenómeno de transporte de energía que porta información del sistema que la genera o la remite. La percepción remota hace uso de esta propiedad, utilizando la interacción de la radiación con el objeto de estudio y así poder analizar su comportamiento bajo diversas condiciones, generando información oportuna al modelado del medio ambiente (Hernández, 2015).

Históricamente la propiedad de la radiación electromagnética se ha explicado por dos teorías aparentemente contrapuestas: aquella que la concibe como un haz ondulatorio (teorías de Huygens & Maxwell), y aquella otra que considera como una sucesión de unidades discretas de energía y fotones, con la masa igual a cero (teorías Planck y Einstein). Las teorías se pueden compaginar, pues se ha demostrado que la luz presenta comportamientos que pueden explicarse de acuerdo con ambos planteamientos (Hernández, 2015).

La radiación electromagnética se traslada a la velocidad de la luz directamente de la fuente al espacio libre o indirectamente por reflexión o dispersión al sensor. Los modos de energía electromagnética más habituales son la luz visible, las ondas de radio, el calor, los rayos X y ultravioleta. Para entender las propiedades de la radiación electromagnética se han planteado dos modelos aparentemente opuestos: el de la teoría ondulatoria y el de la teoría del movimiento de partículas. No obstante, ambas conjeturas se pueden compaginar, debido a que se ha demostrado que la luz puede comportarse de acuerdo con ambos patrones (Hernández & Montaner, 2009) (Ver Gráfico 3).

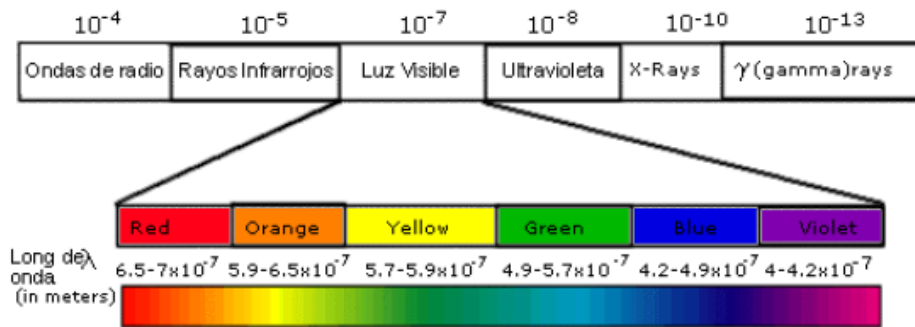
Gráfico 3. Diagrama de la radiación electromagnética



Fuente: (Hernández & Montaner, 2009).

En vista que el espectro electromagnético, es una sucesión continua de longitudes de onda, la misma que se compone de bandas en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar.

Gráfico 4. Longitudes de onda del espectro electromagnético.



Fuente:(Hernández & Montaner, 2009).

Cada una de estas bandas ocupa un rango que se detallan a continuación.

- Luz visible: 0,4 – 0,7 μm
 - **Azul:** 0,4 – 0,5 μm
 - **Verde:** 0,5 – 0,6 μm
 - **Rojo:** 0,6 – 0,7 μm
- Infrarrojo cercano: 0,7 – 1,3 μm
- Infrarrojo medio: 1,3 – 8,0 μm
- Infrarrojo Lejano o Térmico: 8,0 – 14,0 μm
- Microondas: A partir de 1mm

Fuente: (Hernández, J& Montaner, D 2009).

2.2 Respuesta espectral y su concepción en la vegetación, suelo y agua

Se refiere a la respuesta espectral de la vegetación verde y a la respuesta espectral característica del suelo. La vegetación presenta un claro contraste entre las regiones del espectro correspondientes al rojo visible y al infrarrojo cercano (Lobo, 1995). Mientras en la región visible, las estomas (son dos células oclusivas que forman parte de la

epidermis de la planta), intervienen en los procesos fotosintéticos, absorbiendo la mayor parte de la luz que reciben, mientras que en el infrarrojo cercano estas sustancias son bastante transparentes.

Mientras que la reflectancia del suelo constituye un elemento importante en la determinación global del cultivo.

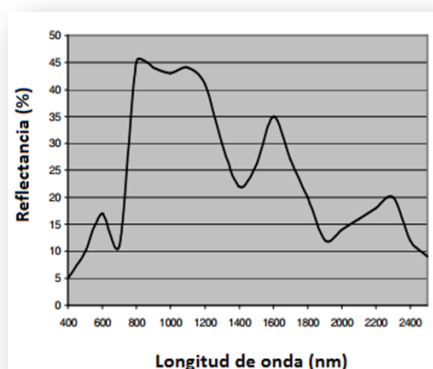
2.2.1 Comportamiento espectral de la vegetación

La radiación solar reflejada ha sido la forma de energía más estudiada en teledetección de la vegetación, mientras que la región del espectro electromagnético correspondiente al infrarrojo termal y a las microondas pueden ser también utilizadas (Castaño & Quintanilla, 1999).

La radiación electromagnética al tener contacto con el blanco puede ser absorbida, transmitida y reflejada. En el caso específico de la vegetación, la interacción con la radiación ocurre distintamente para cada longitud de onda del espectro. El Gráfico 5 presenta una curva patrón de la respuesta espectral de una hoja vegetal, donde se observa un pico de absorción en la región del azul (450 nm) y otro en la región del rojo (650 nm), ambos debidos a la presencia de pigmentos en el interior del cloroplasto, tales como: clorofila, xantofila, carotenos y otros. La absorción de la energía solar que ocurre en estas longitudes de onda depende principalmente de la concentración de la clorofila (Hoffer, 1982).

En la región denominada infrarrojo cercano (700 a 1300 nm), la vegetación verde y sana se caracteriza por la alta reflectancia (45 a 50%), causada por la difusión resultante de los índices de refracción del líquido intracelular y de los espacios intercelulares del mesófilo (Hoffer, 1982).

Gráfico 5. Comportamiento espectral patrón de la vegetación verde y sana.

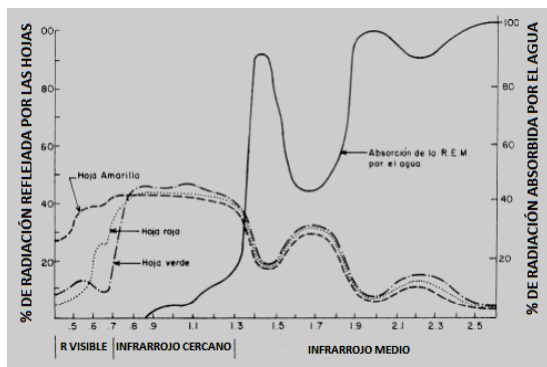


Fuente: Hoffer (1982).

2.2.2 Características de la reflectancia espectral de los cuerpos de agua

La reflectividad de los cuerpos de agua, al igual que la vegetación y el suelo, varía con la longitud de onda de acuerdo con las interacciones que tienen lugar entre ella y la radiación solar. En los cuerpos (Gráfico 6) de agua pura, la radiación incidente es transmitida o absorbida en gran proporción. La reflexión es considerablemente menor si se compara con la situación de la vegetación y los suelos. La reflexión en los cuerpos de agua es con mucha frecuencia de tipo especular, ya que su superficie generalmente es muy uniforme, por lo tanto, en las irregularidades superficiales tienen magnitud menor que la mayoría de las longitudes de onda. Cuando la superficie es disturbada, el fenómeno equivale a un incremento en las irregularidades superficiales, por tanto, se presenta una notoria variación en las propiedades de reflexión (Hernández & Montaner, 2009).

Gráfico 6. Curvas de absorción del agua y reflectividad de la vegetación.



Fuente: Telesat, (1999)

Otro fenómeno significativo en los cuerpos de agua es la dispersión, la cual está condicionada en gran parte por las partículas disueltas o en suspensión, tales como partículas minerales y orgánicas, algas, plancton y las moléculas del agua misma. Esta radiación que ha sido dispersada es captada por los instrumentos sensores y registrada.

Por tanto, la imagen satelital se forma predominantemente como resultado de este fenómeno y no como resultado de la reflexión que se presenta en otros cuerpos naturales. En las grandes masas de agua, las diversas longitudes de onda presentan diferentes índices de transmisión para las longitudes de onda corta. En la región azul y verde, la transmisión será mayor y por ende habrá mayor absorción que en el rojo donde la transmisión es absolutamente menor, con el correspondiente incremento en la absorción; en el infrarrojo cercano la absorción es prácticamente total, por tanto, la transmisión será nula. Estos fenómenos explicarían el color azul a verde de las grandes masas de agua limpia. La radiación transmitida sufre una fuerte dispersión, presentando color azul. Las aguas costeras de los océanos son producto de la absorción selectiva por materiales disueltos más no depende de dispersión selectiva (Hernández & Montaner, 2009).

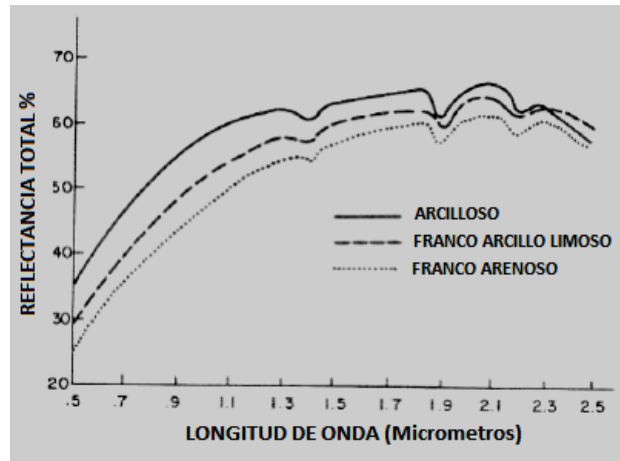
2.2.3 Características de la reflectancia espectral del suelo

Las propiedades espectrales de los suelos difieren considerablemente de aquellas de la vegetación, dado que la mayoría de los sensores captan información sobre la capa superficial de la tierra. Sólo donde el suelo está expuesto es posible captar información directa sobre éste como, por ejemplo, áreas áridas, semiáridas, o bien, en zonas recién preparadas para la siembra o erosionadas. Donde exista cualquier tipo de cobertura, será ésta la que condicione la reflexión de energía electromagnética. Los factores que condicionan la reflexión de energía en los suelos son el contenido de humedad, textura, estructura y composición del suelo (. (Hernández & Montaner, D 2009).

2.2.3.1 Textura del Suelo

La textura juega un papel importante en el comportamiento espectral de los suelos, debido a su influencia en la capacidad de retención de humedad como a la influencia que ejercen el propio tamaño de las partículas sobre la reflectividad (Gráfico 7).

Gráfico 7. Firmas espectrales del suelo en relación con su textura.



Fuente: Telesat, (1999)

En términos generales, el tamaño de las partículas influye en la proporción de radiación reflejada por los suelos en relación inversa a su tamaño. A mayor diámetro de las partículas menor proporción de reflectancia. En el caso de suelos arcillosos, aun en el caso de poca humedad, su reflectividad está influida por la curva de absorción del agua. En cambio, para los suelos arenosos su reflectividad es independiente de la curva de absorción del agua, siempre que la humedad del suelo no sea alta. En condiciones de laboratorio, las curvas de reflectancia para diversas texturas presentan formas muy similares, tanto en la región visible como en el infrarrojo cercano y medio (Telesat,1999).

2.2.3.2 Composición del suelo

La materia orgánica es una forma más directa que condiciona la reflexión en los suelos. Se ha demostrado que al destruir la materia orgánica en los suelos se produce un incremento en el nivel de radiación reflejada, situación que también se manifiesta en condiciones de campo. Otro constituyente que influye directamente en las propiedades

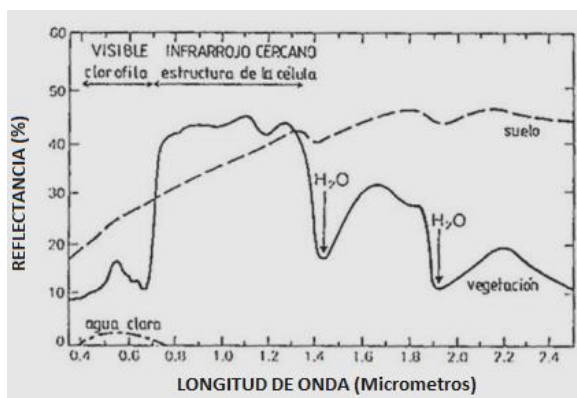
espectrales de los suelos son la presencia de óxidos de Fe, concentraciones notables de calcio, u otras sales que pueden acumularse en la superficie o afectar el desarrollo de la cobertura vegetal. Estos componentes influyen en las propiedades espectrales de los suelos, en tanto afecten el color en la superficie. Así las concentraciones de calcio, producen suelos blanquecinos cuya reflectancia es mayor que la de los suelos rojos derivados de óxidos de Fe; los suelos negros ricos en materia orgánica, presentan los menores porcentajes de reflectancia (Telesat,1999).

2.2.3.3 Reflectividad del sistema Suelo – Vegetación

Las curvas de reflectancia del suelo y la vegetación pueden estar muy próximas en algunos rangos del espectro electromagnético y aún cruzarse, tal es el caso del rango visible (0,4 a 0,7 mm) donde la curva de la vegetación verde ocupa un rango intermedio entre la curva de los suelos orgánicos y arcillosos (Manzano, 2004).

En esta situación es bastante difícil discriminar suelo de vegetación. Por ello es necesario utilizar una región del espectro donde las curvas estén más separadas, tal como sucede en el infrarrojo, como se ilustra en el Gráfico 8.

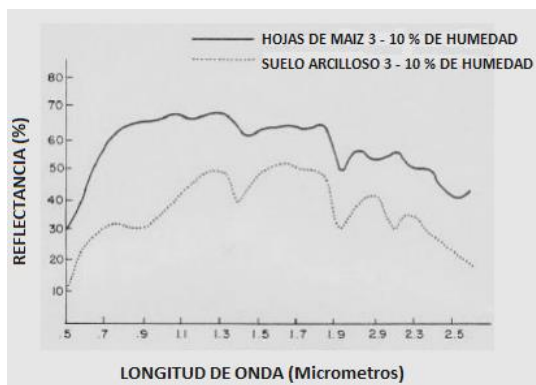
Gráfico 8. Firmas espectrales de suelo y vegetación.



Fuente: Telesat, (1999)

Algunos suelos que conservan contenidos relativamente altos de humedad pueden presentar curvas de reflectancia muy similares a las de vegetación en el infrarrojo medio, como se presenta en el Gráfico 9.

Grafico 9. Relación entre contenido de humedad del suelo y de la vegetación

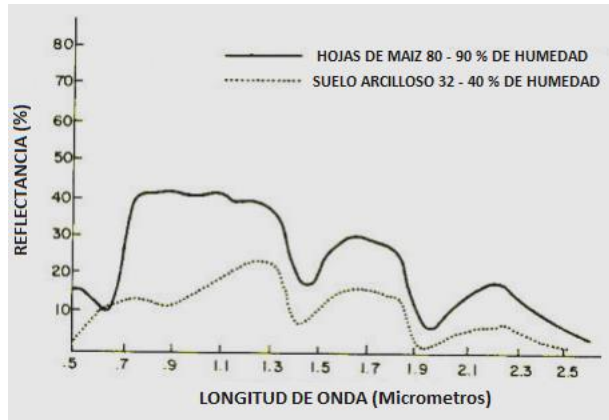


Fuente: Telesat, (1999).

En el gráfico se observa una mayor respuesta espectral de hojas secas de maíz que las de un suelo arcilloso en estas mismas condiciones de humedad.

Los suelos arenosos, conservan menos humedad, y sus curvas difieren notoriamente de las correspondientes a la vegetación.

Grafico 10. Relación entre contenido de humedad del suelo y de la vegetación



Fuente: Telesat, (1999)

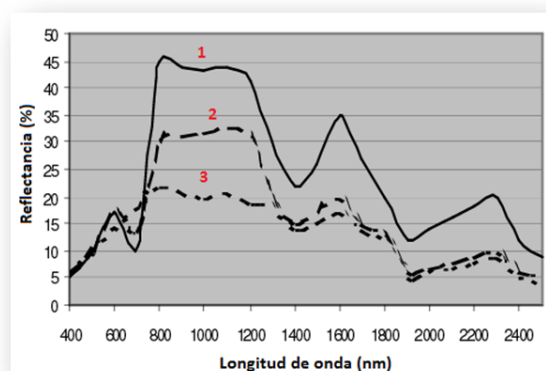
En el caso de los suelos arcillosos que aún después de secados al aire conservan bastante humedad en su estructura interna y para todas las longitudes de onda, su reflectancia es menor que la vegetación, como se observa en el Gráfico 10. (Telesat,1999)

2.2.4 Características de la reflectancia espectral de las plantas enfermas

En el lugar donde la cobertura vegetal está sufriendo estrés debido al ataque de plagas y enfermedades, los cambios en la estructura foliar y color dan un indicativo para detectar las áreas más afectadas dentro de una determinada área (Castaño & Quintanilla, 1999).

Los cambios en la reflectancia como síntomas de enfermedades en plantas son más patentes en la porción del espectro correspondiente al infrarrojo cercano, como muestra el Gráfico 11. Por esta razón, el uso de imágenes infrarrojas para la detección de enfermedades en la vegetación cada vez ha sido más empleada (Telesat,1999).

Gráfico 11. Curvas características de la vegetación sana y enferma.



Fuente: (Telesat,1999).

Donde:

1: planta sana

2: en el inicio del ataque

3: seriamente dañada

En el Gráfico11, se comprueba que en la región del infrarrojo cercano la reflectancia está bastante alterada, incluso en el inicio del ataque de la enfermedad, por el contrario, no ocurre con la misma expresión en la región del visible. Esta aplicación permite una detección más temprana de los daños, pues el ataque de enfermedades puede ser detectado incluso antes de que la planta presente síntomas visuales de decoloración. En ese sentido, las técnicas de teledetección pueden auxiliar en la eficiencia del control

fitosanitario, pues se puede llevar a cabo el tratamiento adecuado con antelación (Castaño & Quintanilla, 1999).

2.2.5 Reflectividad de las cubiertas vegetales

La reflectividad de cubiertas vegetales es una combinación de la reflectividad de las propias plantas y de la del suelo subyacente. Conforme una cubierta vegetal se desarrolla, la contribución del suelo disminuye progresivamente. Por ello, durante el crecimiento de las plantas, las reflectividades del visible y del IR medio disminuyen en tanto que aumenta la del IR próximo. Durante la senescencia¹ se aprecia el efecto inverso. Por ello es importante medir el nivel de cobertura del suelo por parte de la vegetación, en este sentido hemos de considerar el LAI (Índice de Área Foliar) el cual expresa el total de superficie de hojas por unidad de superficie de terreno (Lamolda, 2008).

Conforme aumenta el desarrollo de una cubierta vegetal, la influencia del suelo va siendo progresivamente menor, ello hasta llegar a un nivel de "saturación" de la respuesta espectral. Ese nivel de saturación depende, no sólo de la longitud de onda, sino también del LAI. En el visible y el IR medio, el nivel de saturación se alcanza cuando el LAI toma un valor próximo a 3, en tanto que en el IR próximo se alcanza para un valor entre 5 y 6. Sin embargo, el valor del LAI al cual se alcanza el nivel de saturación también depende de la geometría de la planta. Así, se requieren mayores valores del LAI para hojas verticales que para hojas horizontales (Lamolda, H, 2008).

2.2.6 Factores de influencia en las cubiertas vegetales

Diversos son los factores que pueden influenciar sobre las cubiertas vegetales, los mismos que se detallan a continuación.

2.2.6.1 Influencia de la elevación solar

¹ **Senescencia:** Proceso que comienza como una consecuencia directa del daño y el estrés que tiene lugar en una célula de la hoja en una planta

Los rayos de sol penetran, tanto más profundamente en una cubierta vegetal, cuanto mayor es la verticalidad de los mismos, por ello, varía la relación entre superficie iluminada y superficie en sombra con la incidencia correspondiente sobre la reflectividad. Este efecto de la elevación solar se aprecia en dos niveles temporales, uno de ellos como consecuencia de la variación de la elevación solar a lo largo del día y el otro como consecuencia de la variación a lo largo del año (Lamolda, 2008).

Cuando las características de una superficie natural no cambian, significativamente, a lo largo del año (bosque de coníferas, suelo desnudo, rocas, etc.) la variación de sus características espectrales a lo largo del año, se debe, principalmente, a las variaciones anuales de la elevación solar, en este caso, la influencia de ésta, puede estimarse con cierta facilidad (Lamolda, 2008).

Todos los estudios demuestran que la reflectividad bidireccional aumenta en el visible y disminuye en el IR próximo conforme aumenta la elevación solar. Cuando el sol está próximo al horizonte, se produce una menor reflectividad en el visible, en tanto que la reflectividad del IR próximo alcanza sus mayores valores. Estas consideraciones son válidas cuando la cubierta vegetal es continua, presentándose variaciones según las cubiertas, por ejemplo, en el caso de cubiertas forestales, donde debe considerarse la densidad de arbolado, la forma de las copas, etc. (*Li y Strahler, 1985; Otterman y Weiss, 1984*)

2.2.6.2 Influencia de otros factores

La orientación de las líneas de cultivo con respecto al azimut solar puede ejercer gran influencia sobre la reflectividad. El efecto de la orientación de las líneas es mayor en el visible que en el IR próximo, debido al mayor contraste entre reflectividad del suelo y de las hojas en ese intervalo del espectro (Lamolda, H, 2008).

El efecto de la orientación también depende del porcentaje de terreno cubierta se ha demostrado que el máximo efecto se observa cuando el porcentaje de cobertura varía entre el 40 y el 60% (Lamolda, 2008).

El factor más importante que influye en sobre las propiedades ópticas de una cubierta vegetal es su estructura geométrica. Uno de los aspectos principales que caracterizan la geometría de una cubierta vegetal es el ángulo de inclinación de las hojas, como en una cubierta no todas las hojas tienen la misma inclinación, es necesario considerar, no solamente la inclinación media, sino también la Función de Distribución de la Inclinación (LIDF) (Lamolda, 2008).

La actividad fisiológica de las plantas puede afectar a la reflectividad de una cubierta vegetal si se altera la LIDF, así sucede por ejemplo con el estrés por sequía y con algunas plagas o enfermedades que atacan al sistema radicular de la planta, en estos casos no se producen diferencias de reflectividad en las hojas, pero sí se altera la LIDF lo que modifica la reflectividad del conjunto.

Así mismo, en ciertas cubiertas vegetales, la LIDF varía a lo largo del día en función de la posición del sol (fototropismos) y, consecuentemente, se ve afectada la reflectividad (Lamolda, 2008).

2.3 Índices de vegetación

Un índice de vegetación se podría definir como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectividad a distintas longitudes de onda y pretende extraer del mismo la información relacionada con la vegetación minimizando la influencia de perturbaciones como las debidas al suelo y a las condiciones atmosféricas. El índice de vegetación mejor aceptado ha sido descrito “como aquel particularmente sensible a la cubierta vegetal, insensible al brillo y color del suelo y poco afectado por la perturbación atmosférica, los factores medioambientales y las geométricas de la iluminación y de la observación” (Jackson et al, 1983: pg.187). Evidentemente el Índice de vegetación ideal no existe y los índices de vegetación definidos hasta el momento tienen en común el uso de los valores de reflectividad en las zonas espectrales del rojo e infrarrojo cercano.

2.3.1 Índice de diferencia normalizado de vegetación (NDVI)

El NDVI forma parte de los índices de vegetación los cuales son calculados por medio de la combinación matemática de bandas para reflejar las condiciones fisiológicas y biométricas de las plantas (Jensen, 1983).

Éste se expresa como la diferencia entre la banda infrarroja cercana y roja normalizada por la suma de esas bandas, es decir:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

2.3.2 Índice mejorado de vegetación (EVI)

Según Chuvieco (2008), define el índice de vegetación mejorado como una alternativa más sólida a los índices tradicionales, por ser más robusto frente a la aportación del suelo y de las influencias atmosféricas.

El EVI se define como:

$$EVI = G \frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + C_1 \rho_R - C_2 \rho_A + L}$$

Donde L es la corrección al efecto del fondo del follaje y C1 y C2 son coeficientes para la corrección del efecto del aerosol en las bandas rojo y azul.

2.3.3 Índice transformado de vegetación (SAVI)

Entre los factores que modifican notablemente el comportamiento del NDVI figura la proporción de vegetación/suelo observada por el sensor. Los mismos valores de NDVI pueden corresponder a cubiertas vigorosas, pero poco densas, o a cubiertas densas con poca vitalidad. Para incluir explícitamente el factor suelo, clave cuando se trabaja en zonas áridas, Huete y colaboradores propusieron incluir en la fórmula del NDVI un parámetro (L), que ajuste el índice a una reflectividad promedio de fondo (Chuvieco 2008).

$$SAVI_{i,j} = \frac{\rho_{i,j,IRC} - \rho_{i,j,R}}{\rho_{i,j,IRC} + \rho_{i,j,R} + L} (1 + L)$$

CÁPITULO III

CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO DE BANANO

El cultivo de banano constituye el cuarto producto agrícola más importante del mundo y es uno de los cultivos que genera un mayor ingreso económico al país, además de que es una fruta tropical, posee una excelente combinación de energía, minerales, y vitaminas que la convierte en un alimento indispensable en cualquier dieta, incluidas las de diabetes y adelgazamiento, perteneciendo a la familia de las musáceas (AEBE ,2016).

3.1 Origen

El banano geográficamente es originario del Sureste asiático y el Archipiélago Malayo. Actualmente hay dos grupos de banano comercial que son el Gros Michel y Cavendish (Ochse & Soule, 1986).

Es una planta herbácea perteneciente al género *Musa* y familia de las Musáceas. El banano comestible se originó a través de una serie de mutaciones y cambios genéticos, a partir de especies silvestres no comestibles, *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*, de fruto pequeño con numerosas semillas. Para llegar a las mutaciones se producen cambios en los cromosomas que tienen las características hereditarias que dieron origen al banano comestible comercial. Los bananos vigorosos poseen sus frutos grandes y carecen de semilla. Debido a que el banano no produce semillas fértiles, se propaga vegetativamente (SICA, 2008)

3.2 Producción del banano en el Ecuador

El banano ecuatoriano es muy cotizado a nivel mundial gracias a su alta calidad, esto se debe a la ubicación geográfica, excelentes condiciones climáticas y del suelo, además de la baja incidencia de enfermedades y plagas, lo que conlleva a minimizar la frecuencia en los ciclos de fumigación, convirtiéndose en ventajas competitivas en países productores, también se considera uno de los principales productos agrícola de exportación, con el 28% del PIB Agrícola , y se ubica en segunda posición entre los

productos no petroleros después de la acuicultura, además tiene una representación en el PIB nacional del 2% (AEBE,2016).

Según la Asociación de exportadores de banano del Ecuador (2016), se ubica como uno de los principales exportadores de banano con aproximadamente el 30% del mercado mundial, obteniendo este porcentaje ya que destina el 95% de la producción nacional a la exportación. Cuenta con alrededor de 218.000 hectáreas de este cultivo, las mismas que tienen una producción promedio de 1600 cajas por hectárea al año.

Según los datos de la Tabla 3 (ESPAC, 2013), tres provincias poseen la mayor cantidad de hectáreas cultivadas de banano en el País, estas son: El Oro con 64.094 hectáreas que produce 2.594000 toneladas por año, y representa el 43,3% de la producción a nivel nacional, Los Ríos con 72.838 hectáreas, produce 1.729 216 t/Año esto representa el 28,8% de la producción nacional, y Guayas que posee 41.965 hectáreas y produce 1.388 458 t/Año.

Tabla 3. Superficie y Producción del banano en Ecuador

AÑO	Superficie (hectáreas)		Producción (Toneladas métricas)			
	Sembradas	Cosechadas	El Oro	Los Ríos	Guayas	TOTAL
2011	200.110	191.973	2.443.670	2.670.050	1.692.680	7.427.776
2012	221.775	210.894	2.269.901	2.753.720	1.585.130	7.012.244
2013	217.874	188.658	2.594.000	1.729.220	1.388.46	5.995.527

Fuente: INEC, 2013

3.3 Requerimientos del cultivo de banano

De acuerdo con la Guía de Buenas Prácticas Agrícolas (Andrade, 2013), las condiciones ambientales óptimas del cultivo del banano son las siguientes ver tabla 4:

Tabla 4. Requerimientos del cultivo de Banano

REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO DE BANANO	
Temperatura	La temperatura adecuada oscila desde los 20°C a 35,5°C. Si es inferior a 20°C el crecimiento se retarda y la producción decae, sin embargo, con temperaturas de 40° C no se observan efectos negativos si la provisión del agua es adecuada.
Precipitación	La pluviosidad necesaria debe estar en un rango de 120 a 180mm de lluvia mensual promedio o precipitaciones medias semanales de 28 a 42mm.
Luminosidad	El rango óptimo varía de 1000 a 1500 horas luz de brillo solar por año, siendo un promedio de 4 horas de brillo solar por día.
Viento	Se recomienda la siembra en zonas donde los vientos no superen los 30 km para evitar su volcamiento, por ello la ausencia de vientos fuertes favorece al cultivo de banano.
Humedad Relativa	Humedad relativa superior a 80% favorece el desarrollo de enfermedades.
Épocas	Durante la época lluviosa (Diciembre - Mayo) aparecen altas precipitaciones y temperaturas que oscilan entre 22 y 35°C. Durante la época seca (Junio - Noviembre) las precipitaciones son insignificantes o simplemente no llueve, y la temperatura varía en un rango de 18 a 30°C. La época de siembra en el cultivo de banano es indiferente cuando la infraestructura de riego y drenaje esta lista y funcional.
Altitud:	Se recomienda la siembra en zonas donde la altura varía de 0 a 300 metros sobre el nivel del mar; estos no deben de ser inundables y tener capacidad de evacuación del agua.

Fuente: Andrade, (2013).

3.4 Principales plagas del cultivo de banano

- **Larvas defoliadoras:** las tres especies más comunes: caterpillar (*Ceramidia viridis*), monturita (*Sibine apicalis*) y vaquita verde y café (*Caligo teucer* y *Opsiphanes tamarindi*), se alimentan de las hojas del banano y producen perforaciones. Estas larvas son muy susceptibles al control biológico por parte

de algunos predadores y parásitos, y en caso de ser necesario se controla químicamente (Martínez,1995).

Figura 8 . Planta de banano afectada por Larvas defoliadoras



Fuente: Martínez, (1995).

- **Mosca Blanca:** (*Aleurotrixus floccosus*, *Tetraleurodes mori* y *Aleyrodicus dispersus*). Las hembras de la *A. floccosus* ovopositan en círculos, las hembras de *T. mori* ovopositan de manera dispersa y las hembras de *A. dispersus* ovopositan en forma de espiral. Las ninfas cuando nacen forman colonias en el envés, las mismas que succionan la sabia de las hojas en las plantas. Los excrementos de estos insectos son gotitas de miel en las cuales se desarrolla el hongo de fumagina (cladosporium) de color negro, que impide la capacidad fotosintética de las hojas (Martínez, 1995).

Figura 9. Planta de banano afectada por Mosca Blanca



Fuente: Martínez, F. (1995)

- **Escarabajo verde:** (*Colaspis submetallica*) es un insecto de color verde metálico claro que para alimentarse vuela directamente hacia los frutos o hacia la hoja bandera, mordisquea la fruta ocasionando cicatrices profundas rodeadas de halos acuosos que desmejoran su presentación o producen perforaciones en las hojas (Martínez, 1995).

Figura 10. Escarabajo verde (*Colaspis submetallica*)



Fuente: Martínez, (1995)

- **Nemátodos:** Los nemátodos parásitos de la planta del banano están diferenciados en tres grupos: endoparásitos como el *Radopholus similis* que causan lesiones profundas en las raíces; endoparásitos facultativos como el *Helicotylenchus multicinctus* que provoca lesiones menos profundas; y, endoparásitos sedentarios como el nemátodo agallador representado por el género *Meloidogyne* (Martínez, 1995).

Figura 11. Raíces de Banano afectadas por Nemátodos



Fuente: Martínez, (1995)

3.5 Principales enfermedades del cultivo de banano

Las enfermedades causan pérdidas no sólo de la producción sino también grandes pérdidas económicas. Entre las enfermedades más conocidas y que afectan a las plantaciones ecuatorianas se encuentran las siguientes:

- **Mal de Panamá** (*Fusarium oxysporum*): Es una enfermedad ocasionada por el hongo *Fusarium*. Los síntomas se evidencian en la aparición de franjas amarillentas en el limbo de las hojas. Por lo común, las raíces se ennegrecen y pudre. Cuando se abre los pseudotallos enfermos se puede apreciar que sus haces sistemas vasculares tiene una decoloración rojo-vinosa. Los frutos maduran irregularmente y muy rápido, se deforman la pulpa se vuelve esponjosa y amarga. La solución planteada a este mal es la de realizar trabajos genéticos para aumentar la resistencia (Martínez,1995).

En 1966 en el Ecuador 163,772 Has. de cultivo de banano de la variedad *Gross Michel* fueron atacados y posteriormente destruidos por este mal. Esto condujo a la creación de las variedades del grupo Cavendish que son más resistentes a esta enfermedad y la aplicación de nuevas tecnologías a la producción (Martínez,1995).

Figura 12. Planta de banano afectado por el Mal de Panamá



Fuente: Martínez, F. (1995)

- **Sigatoka amarilla** (*Mycosphaerella musicola*): Se presentan pequeñas manchas foliares de color amarillo pálido, las cuales crecen y se transforman en manchas café-oscuras de tamaño variable. La parte central de estas manchas eventualmente se seca y se torna ligeramente gris, bordeada por un halo amarillo. Cuando estas manchas se unen, cubren gran parte del área foliar, dándole un aspecto quemado (Martínez, 1995).

Figura 13. Planta de banano afectado por *Pseudomonas solanacearum*



Fuente: Martinez, (1995)

- **Sigatoka Negra:** (*Mycosphaerella fijiensis*), afecta a todas las variedades de banano comercial debido a la influencia de factores ambientales como temperatura (25-28°C), alta humedad relativa superior al 80 % y un prolongado periodo de lluvias. Produce alteración del proceso de maduración de la fruta, tornándose prematura y en casos extremos la fruta se amarilla antes de la cosecha. Las plantaciones afectadas por Sigatoka Negra producen racimos pequeños, dedos cortos y deformes, pulpa crema y con sabor ligeramente ácido (Martínez, 1995).

Figura 14. Planta de banano afectado por *Mycosphaerella fijiensis*



Fuente: Martínez, F. (1995)

3.6 Caracterización de la respuesta espectral del banano

La absorción del agua oculta las características de absorción del nitrógeno en las bandas del infrarrojo medio y las bandas de onda corta, es difícil detectar la absorción del nitrógeno en este rango del espectro (Chen,2010). Por lo tanto, se usaron las bandas del espectro visible y del infrarrojo cercano para estimar las concentraciones de nitrógeno y clorofila en el cultivo del banano. En el Gráfico 12. se muestra el comportamiento obtenido de las respuestas espectrales del banano en tres etapas fenológicas (vegetativa, reproductiva y productiva). Se puede observar una mayor reflectancia en la etapa fenológica vegetativa, debido posiblemente a que, en esta etapa fenológica las plantas de banano están en el proceso de acumulación de materia seca (Martínez & Cayon, 2011).

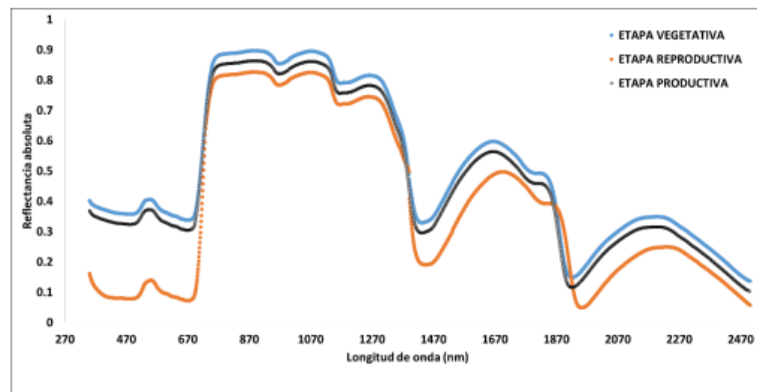
En la etapa fenológica reproductiva se presenta una alta absorbancia y una baja reflectancia debido a que en esta etapa es en donde se presenta el pico más alto de acumulación de materia seca, por lo tanto, el contenido de nutrientes principalmente el de nitrógeno, que está directamente relacionado con la acumulación de materia seca y a su vez relacionado con el contenido de clorofilas, hace que la reflectancia tenga los valores más bajos y las mayores absorbancias (Martínez & Cayon, 2011).

Estos resultados son concordantes con los encontrados por Torres et al. (2014), quien evidenció la mayor concentración de materia seca en las hojas principalmente en la etapa reproductiva. Esto se debe a que la planta acumula la mayor cantidad de nutrientes necesarios, para el llenado del racimo en la siguiente etapa fenológica de producción.

En la etapa productiva se presenta una mayor reflectancia en las hojas, debido a que en esta etapa se presenta una desaceleración en la acumulación de la materia seca en plantas de banano y se da inicio a la translocación de los nutrientes para el llenado del racimo.

Esta translocación de nutrientes concuerda con Sánchez & Mira (2013), quien demuestra que en la etapa productiva se aprecia una reducción de la materia seca acumulada, debido a que las hojas y pseudotallo, empiezan a translucir los productos elaborados y nutrientes al racimo y a los nuevos hijos de sucesión.

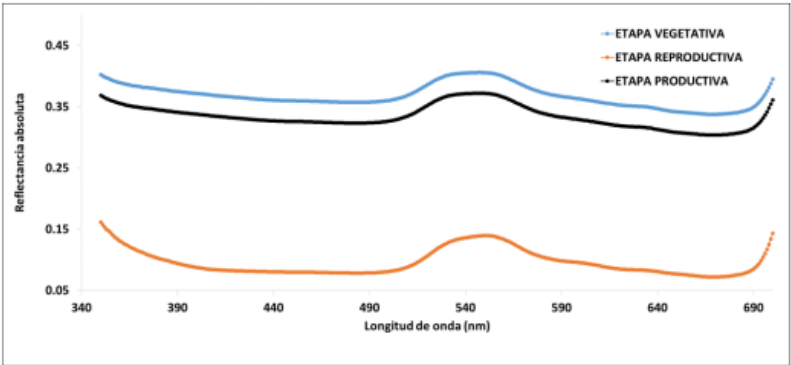
Gráfico 12. Respuestas espectrales de plantas del banano en diferentes etapas fenológicas



Fuente: Sánchez & Mira (2013).

En Gráfico 13. se muestra el comportamiento de las respuestas espectrales del banano en el espectro visible. Estas respuestas son de plantas sanas se caracterizan por una fuerte absorción en el azul (400 a 500 nm), un incremento en la reflectancia del verde (500 a 600 nm), una fuerte absorción en el rojo (600-700 nm) y una fuerte reflectancia en el infrarrojo cercano (700 a 1500 nm) (Sánchez & Mira, 2013).

Gráfico 13. Respuestas espectrales del promedio de las tres etapas productivas en el espectro visible



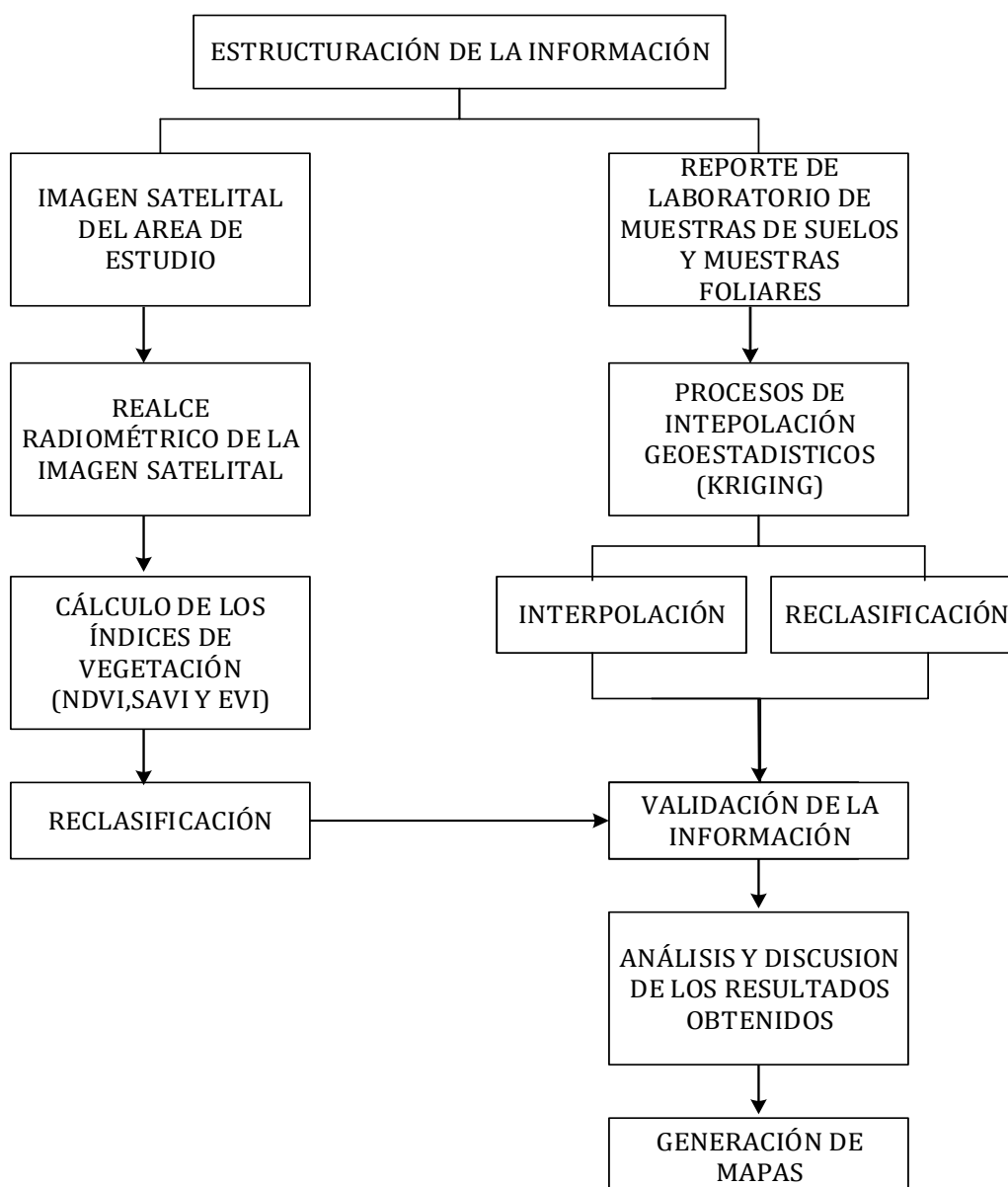
Fuente: Sánchez y Mira (2013),

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA RESPUESTA ESPECTRAL

El proceso metodológico empleado en el presente estudio, involucra diversos aspectos referentes a la teledetección y su aplicación a resolver problemas de tipo agrícola, ya que, por medio de la aplicación de sensores remotos, se buscó identificar posibles cambios en la cobertura vegetal.

Gráfico 14 Diagrama de flujo de la metodología a aplicar en el estudio.



Fuente: Elaboración propia.

4.1 Características y particularidades específicas del satélite pléiades

4.1.1 Especificaciones técnicas del satélite Pléiades.

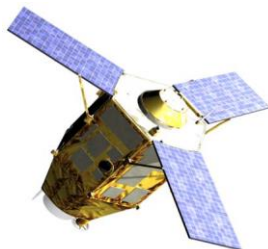
Pléiades 1A y Pléiades 1B operan como una constelación sobre la misma órbita, separados 180°. Estos satélites gemelos idénticos proporcionan productos ópticos en muy alta resolución con una fiabilidad incomparable en la adquisición de nuevas imágenes. Sus principales aplicaciones son: Defensa, Cartografía, Vigilancia, Agricultura, Medioambiente, Geología e Ingeniería Civil (Airbus defence & Space 2016). (Ver Tabla 5).

Las principales características de la imagen Pléiades son las siguientes:

- Detalle y precisión: productos de 50 cm.
- Rápida y frecuente: capacidad de revisita diaria y programación muy reactiva.
- Disponible y flexible: agilidad avanzada y máxima disponibilidad.
- Archivo y nuevas adquisiciones estéreo y triestéreo.

El cuerpo del satélite como se puede apreciar en el Gráfico 15, está fabricado con forma hexagonal, tiene 3 paneles solares a 120° y 3 sistemas seguidores de estrellas (star-tracker) para optimizar la precisión en los parámetros de orientación (Airbus defence & Space 2016).

Gráfico 15. Cuerpo hexagonal del satélite Pléiades



Fuente: T. Fernández de Sevilla, (2008)

Tabla 5. Especificaciones Técnicas del satélite Pléiades

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Número de satélites	(Pléiades 1A y Pléiades 1B), que forman una auténtica constelación
Lanzamiento Pléiades	1A: 17 de diciembre de 2011; Pléiades 1B: 2 de diciembre de 2012
Órbita	Sincrónica al Sol, 10:30 AM nodo descendente, ciclo de 26 días, altitud 694 km
Bandas espectrales	Pancromática, azul, verde, roja e infrarrojo cercano para todas las adquisiciones
Resolución del producto	Pancromática: 0,5 m; Multiespectral: 2 m
Precisión de geolocalización	8,5 m CE90 en el nadir
Rango dinámico de adquisición	12 bits
Ancho de barrido	20 km en el nadir
Capacidad de revisita	Diaria sobre cualquier lugar
Agilidad de enfoque	Permite escenarios de adquisición en un solo paso sobre áreas de hasta 120 x 110 km y también la adquisición de imágenes estéreo y triestéreo. Giro de 60° en 25 segundos – 200 km en 11 segundos, incluyendo el tiempo de estabilización
Capacidad de adquisición	700.000 km ² /día (capacidad máx.), a una media de 500.000 km ² /día – 1,2 veces el equivalente a la masa terrestre cada año
Vida útil de la misión	Mínimo de cinco años con una vida estimada de más de 10 años

Fuente: Airbus defence & Space 2016

4.1.2 Principales ventajas del satélite Pléiades

De acuerdo con los aspectos citados anteriormente, la utilización de las imágenes Pléiades, presenta las siguientes ventajas:

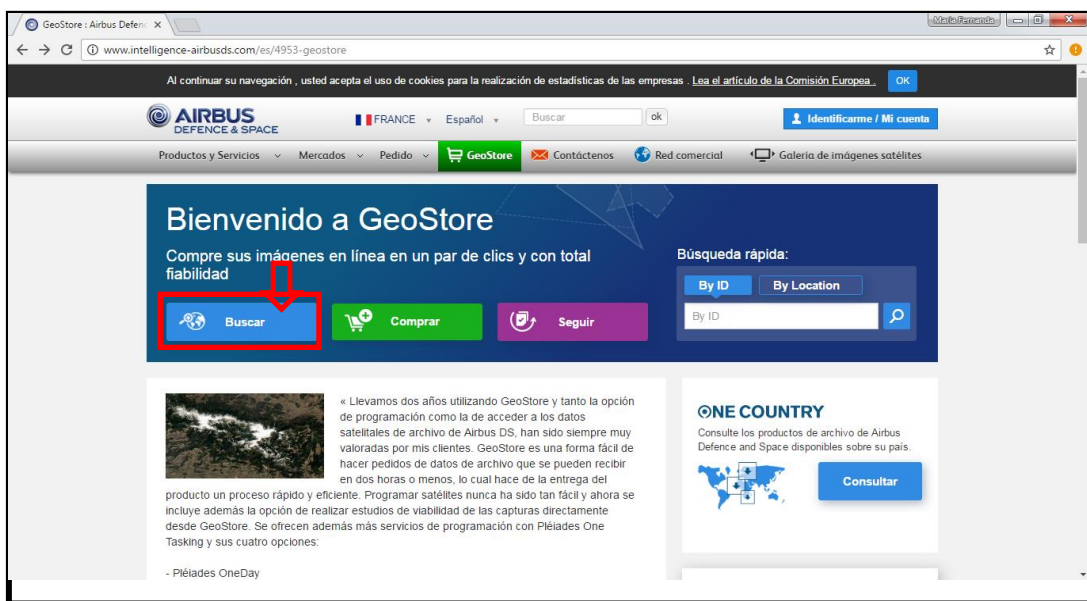
- Es idóneo para cartografía de precisión.
- Esta especialmente adaptado para responder en caso de emergencia y detectar cambios incluso diariamente.
- Posee una tasa de éxito en la adquisición de imágenes líder en el sector, lo que permite tomar decisiones fiables rápidamente.

- Modelos en 3D detallados y fiables, asequibles incluso en las ubicaciones más inaccesibles.

4.2 Obtención de la imagen satelital pléiades del área de estudio.

Para la obtención de la imagen Pléiades, que comprende el área de estudio, se realizó una programación de la escena en el GeoStore de Airbus (Figura 15), que es la empresa que comercializa este tipo de imágenes.

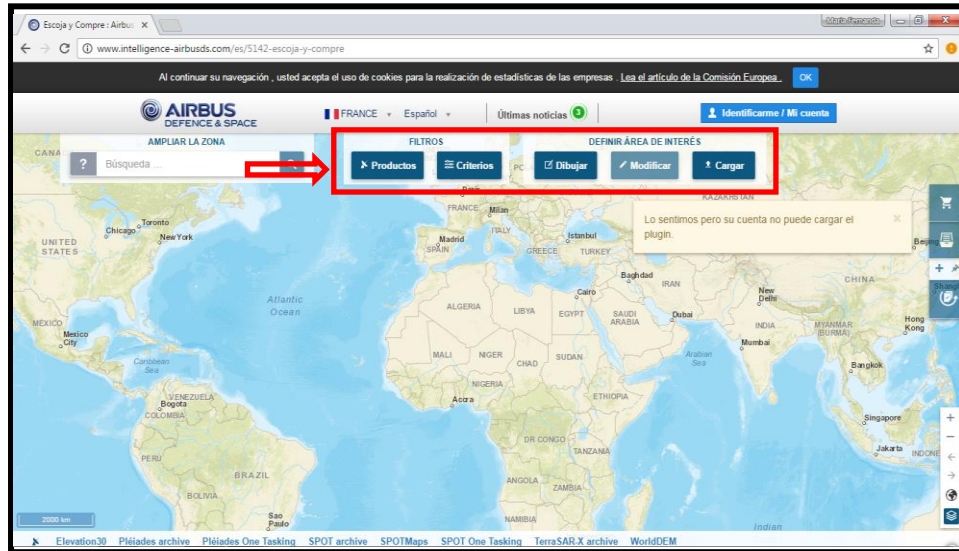
Figura 15. Pantalla de inicio del visualizador de imágenes del GeoStore



Fuente: Visor Geostore, 2017

Para ello se realizó una búsqueda en el portal de Geostore, el mismo que brinda varias herramientas para la búsqueda o programación de la imagen que se desee adquirir, dentro de ellos permite seleccionar el tipo de producto, es decir el tipo de imagen, pudiendo ser esta una imagen Pléiades o una imagen Spot, considerando las necesidades y resolución de la imagen que se desee adquirir (Figura 16).

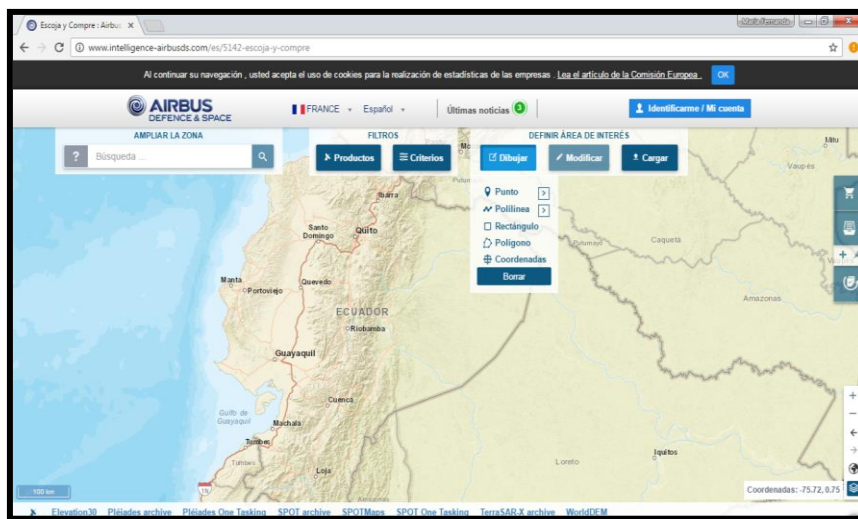
Figura 16. Iconos de herramientas del visualizador de imágenes del GeoStore



Fuente: Visor Geostore, 2017

Brinda además opciones en las que se puede dibujar el área de estudio o simplemente cargar los archivos (* shp, *kml) correspondientes a los límites del área de interés. (Ver figura 17)

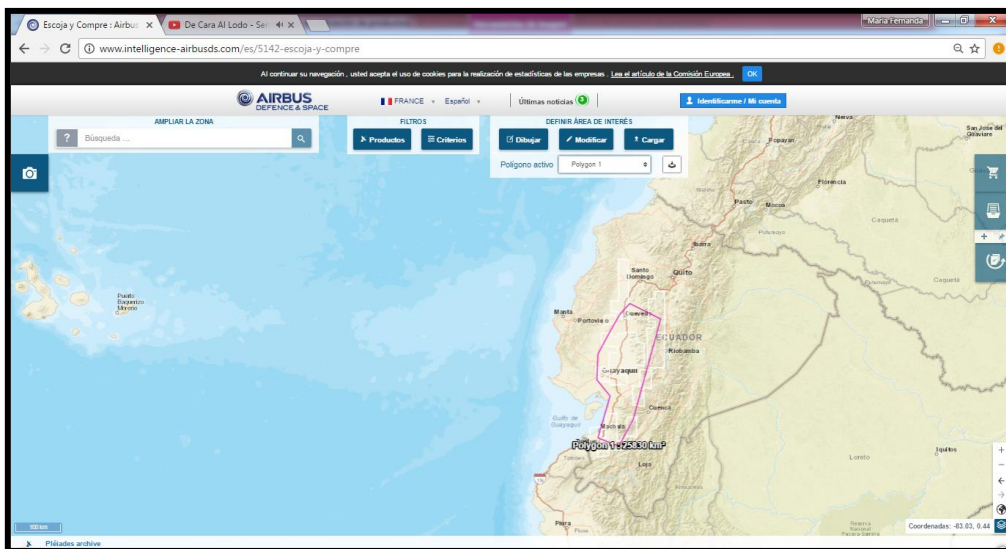
Figura 17. Opciones de edición del visualizador de imágenes del GeoStore



Fuente: Visor Geostore, 2017

Siguiendo con el proceso antes mencionado se identificó el área que involucra a la propiedad considerada para la presente investigación. (Ver figura 18)

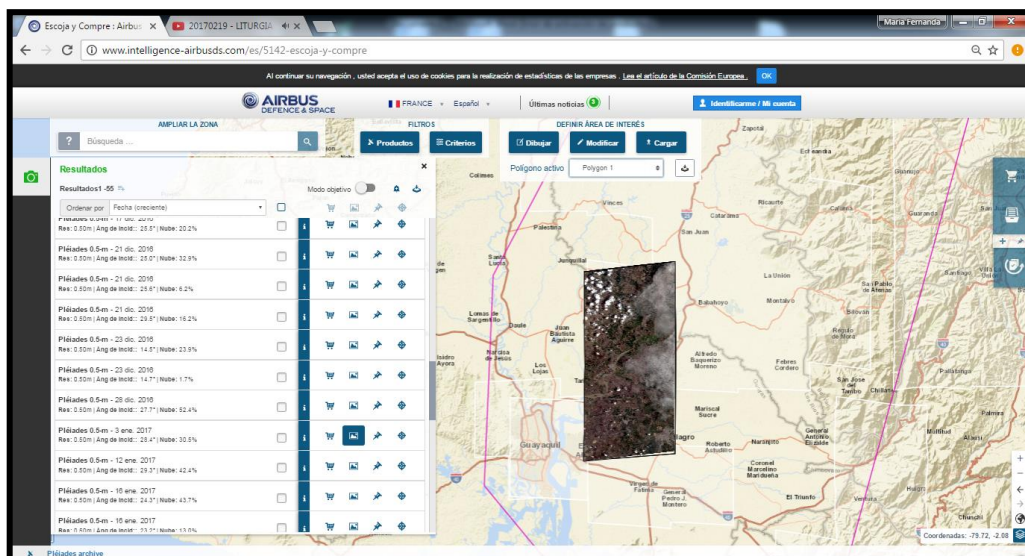
Figura 18. Identificación del área, para obtención de la imagen en el GeoStore



Fuente: Visor Geostore, 2017

Identificada el área para la adquisición de la imagen, el visor nos muestra las imágenes que se encuentran a disposición, en la cual considera aspectos relevantes como son la fecha de captura de la imagen y el porcentaje de nubosidad de las mismas.(Ver figura 19)

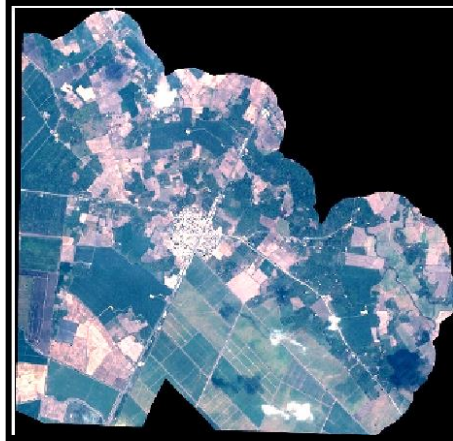
Figura 19. Vista previa del área de programación, para obtención de la imagen en el GeoStore.



Fuente: Visor Geostore, 2017

Identificada la imagen, que mejor características obtuvo se realizó la compra de la misma, el tiempo de entrega de la imagen desde el día de la compra es de 8 días. (Ver figura 20)

Figura 20. Imagen Pléíades adquirida correspondiente al área de estudio

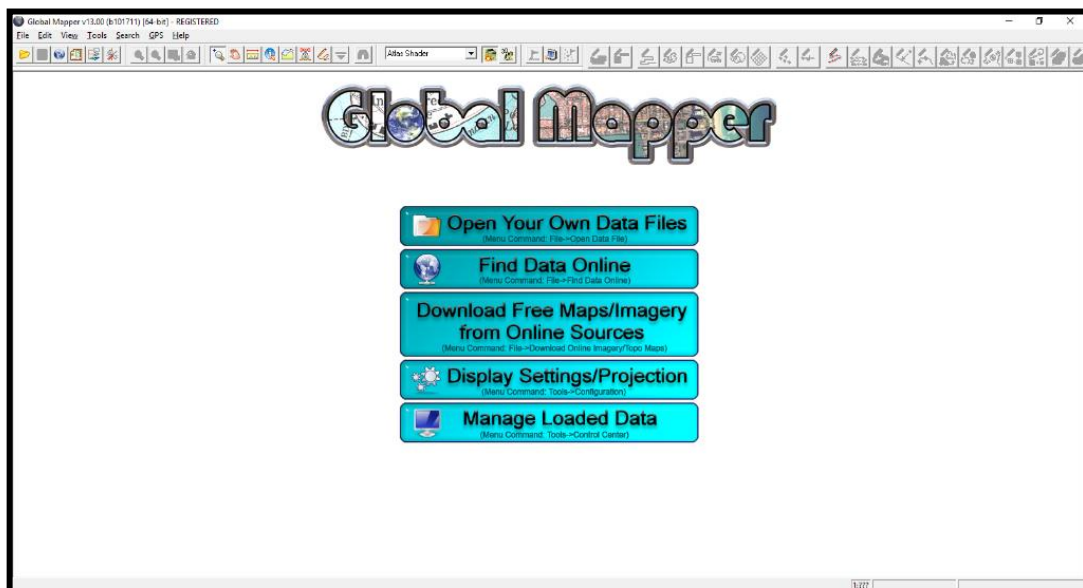


Fuente: Elaboración propia.

4.3 Pasos para el procesamiento de la imagen satelital

Paso 1.- Para realizar el corte de imágenes de satélite se trabajará con el software Global Mapper, a partir de la versión 13.

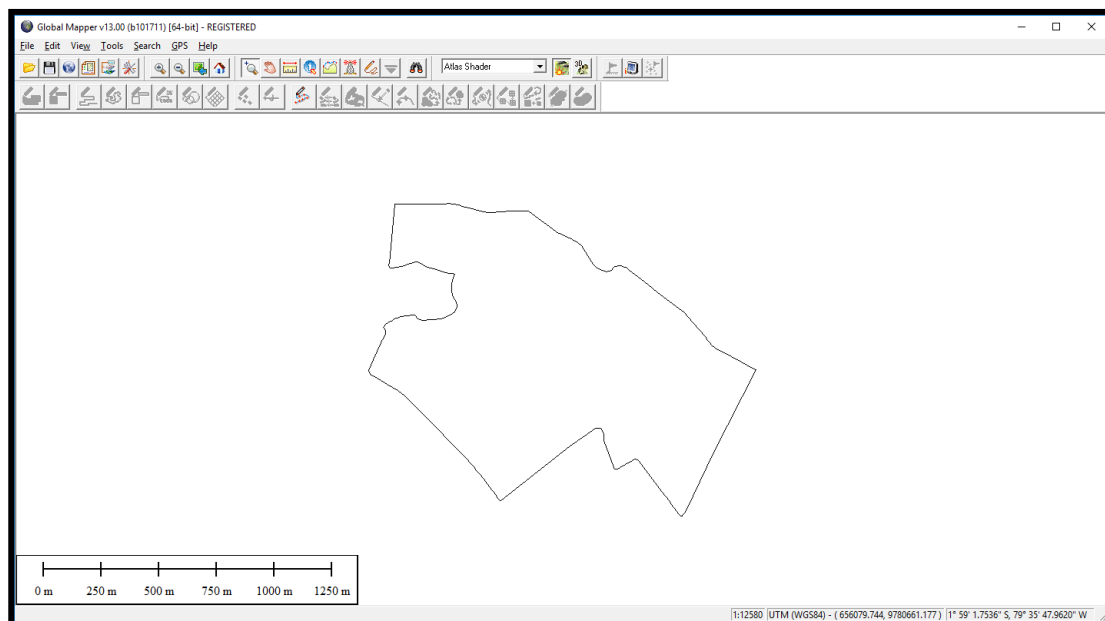
Figura 21. Pantalla de inicio del software Global Mapper



Fuente: Software Global Mapper, 2016

Paso 2.- A continuación, se procedió a cargar la capa del predio (límite) (Ver figura 22).

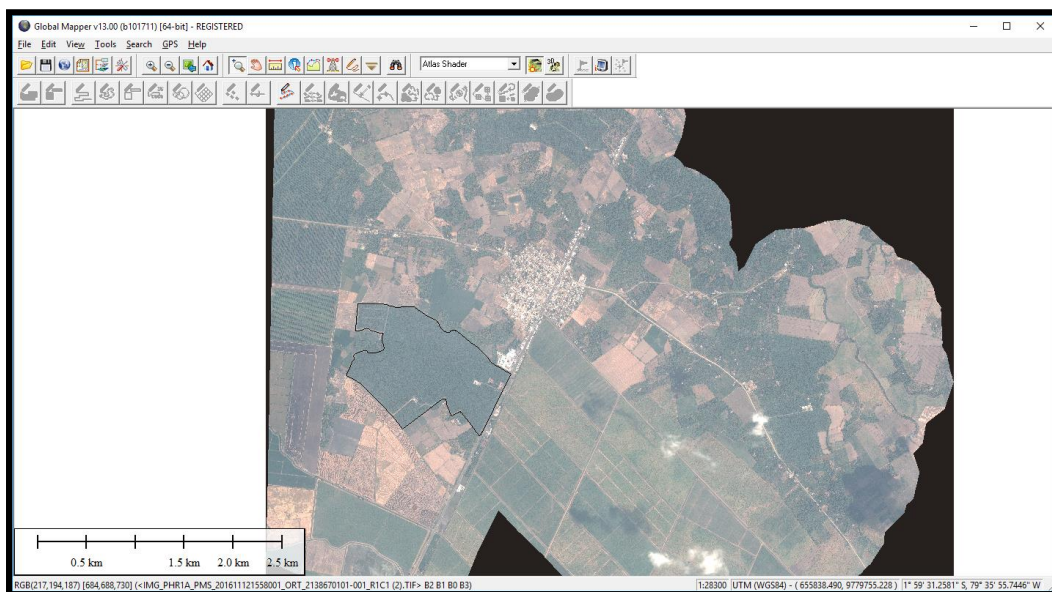
Figura 22. Visualización del límite de la hacienda Blanca América



Fuente:Software Global Mapper, 2016.

Paso 3.- De la misma manera que se cargó la imagen de satélite adquirida, con el propósito de realizar un corte que se ajuste al límite de la propiedad (Ver figura 23).

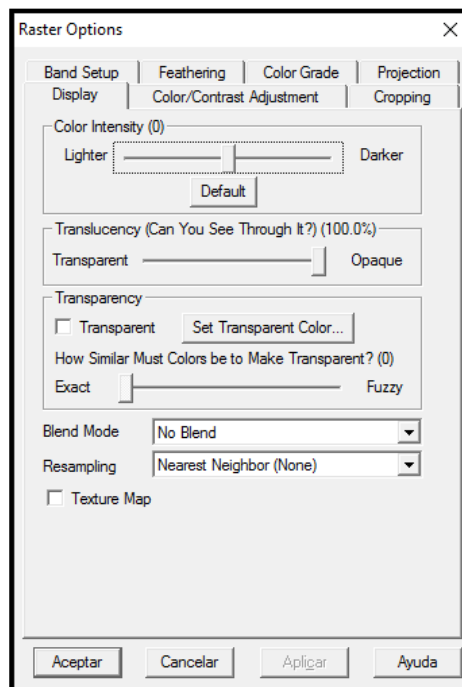
Figura 23. Visualización de la imagen adquirida de la hacienda Blanca América



Fuente:Software Global Mapper, 2016

En la ventana de propiedades de la imagen, se realizó los ajustes necesarios, refiriéndonos al brillo, contraste y saturación (IHS) de ser el caso (Ver figura 24).

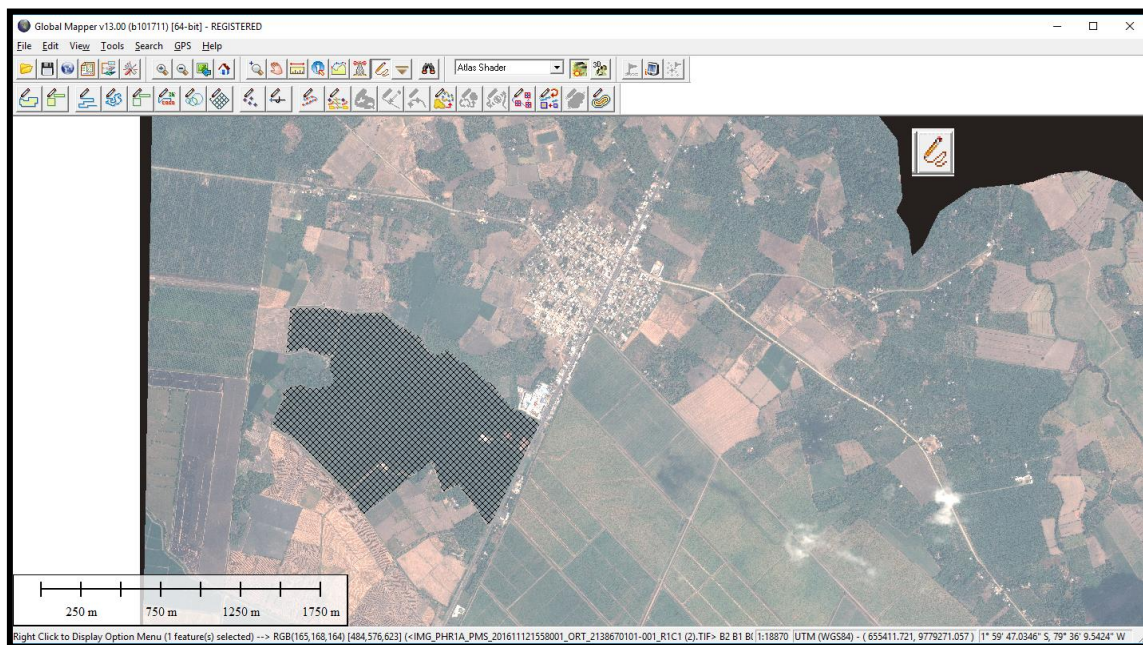
Figura 24. Ventana de edición de imagen de Global Mapper



Fuente:Software Global Mapper, 2016

Paso 4.- Seleccionar el vector con ayuda de la herramienta de “digitalización” (Ver figura 25)

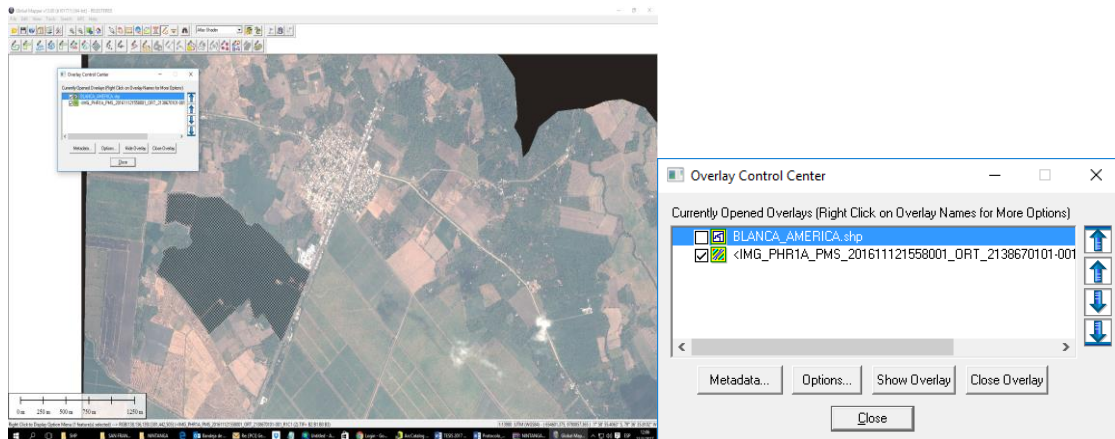
Figura 25. Selección del área de estudio



Fuente:Software Global Mapper, 2016

Seleccionada la capa vectorial, se procede a apagarla, con el propósito de que la imagen exportada no contenga elementos ajenos a su formato (Ver figura 26)

Figura 26. Herramienta de activación de imagen

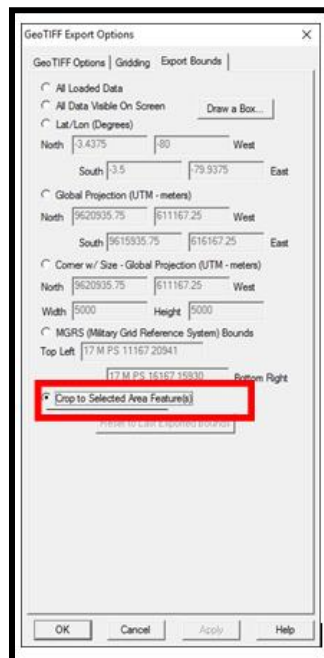


Fuente:Software Global Mapper, 2016

Paso 5.- Realizado el proceso anterior, se procede a exportar el raster en formato GeoTif, de la siguiente manera:

- Seleccionar la pestaña Export Bounds y escoger “Crop to selected área feature(s)” (Ver figura 27).

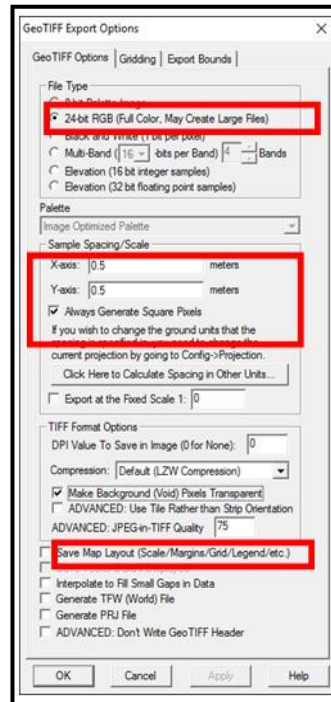
Figura 27. Ventana para exportar imagen



- **Fuente:**Software Global Mapper, 2016
- Escoger GeoTiff Options, donde se considerará lo siguiente: Tipo de Archivo: 24-Bit (Conserva el color real y no se hace multibanda), Espacio de Muestreo:

Se refiere a la resolución espacial y depende del tipo de imagen y finalmente las opciones de Formato: Tiff: Make Background Pixels Transparent (Ver figura 28).

Figura 28. Identificación de aspectos a considerar para exportar la imagen



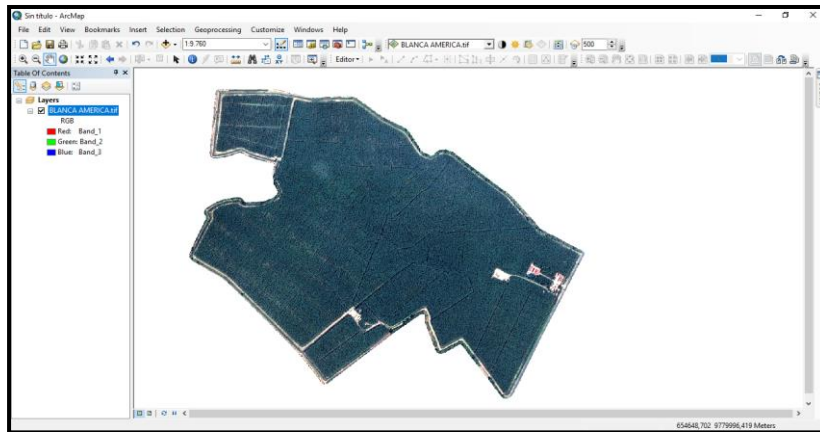
Fuente:Software Global Mapper, 2016

Finalizado este procedimiento, se procede a guardar en la carpeta de destino.

4.4 Análisis de respuesta espectral del banano utilizando determinados índices de vegetación

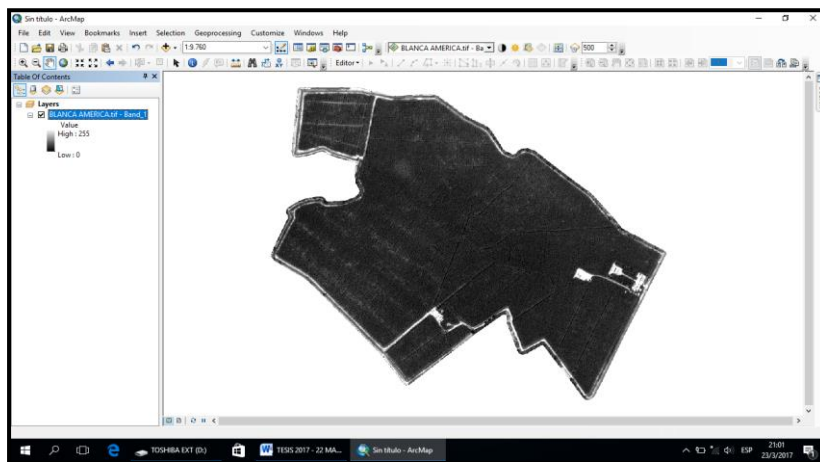
A continuación en las imágenes 29, 30, 31 ,32 ,33 y 34 se especifica el procedimiento para proceder con el cálculo de los diferentes índices de vegetación desplegaremos la imagen con las cuatro bandas que la conforman son: Rojo, Verde, Azul, Infrarrojo cercano de tal manera que con la ayuda de la “Calculadora Raster” ingresar los diferentes arreglos matemáticos para el cálculo de los Índices de vegetación, según cada caso.

Figura 29. Visualización de la imagen en Falso Color



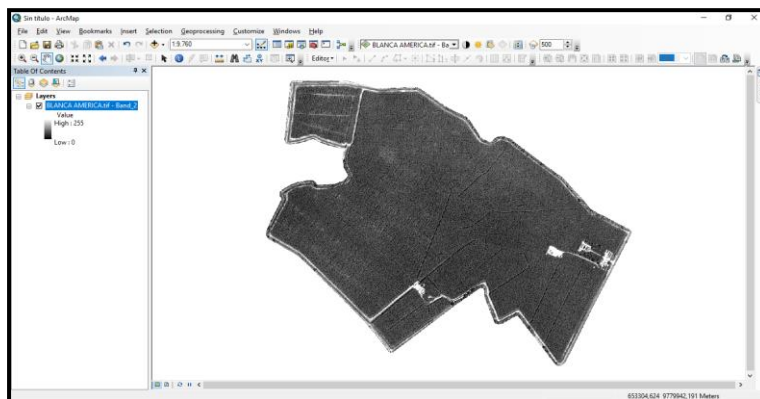
Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Banda 1 (Roja) de la imagen Pléiades



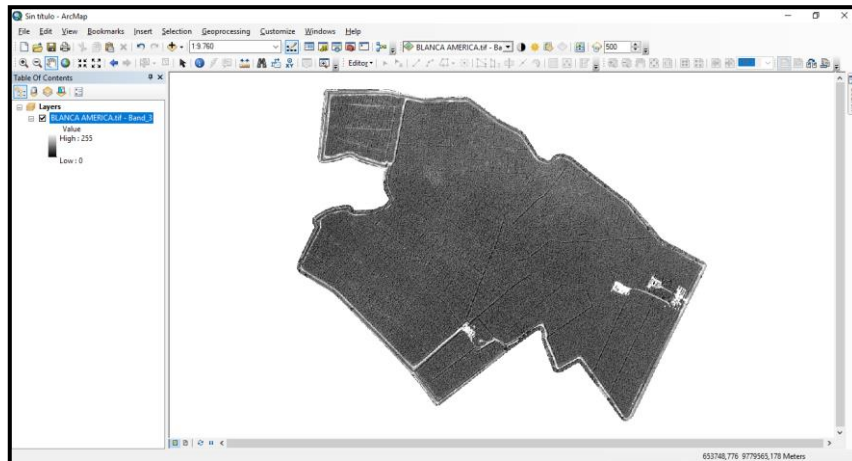
Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Banda 2 (Verde) de la imagen Pléiades



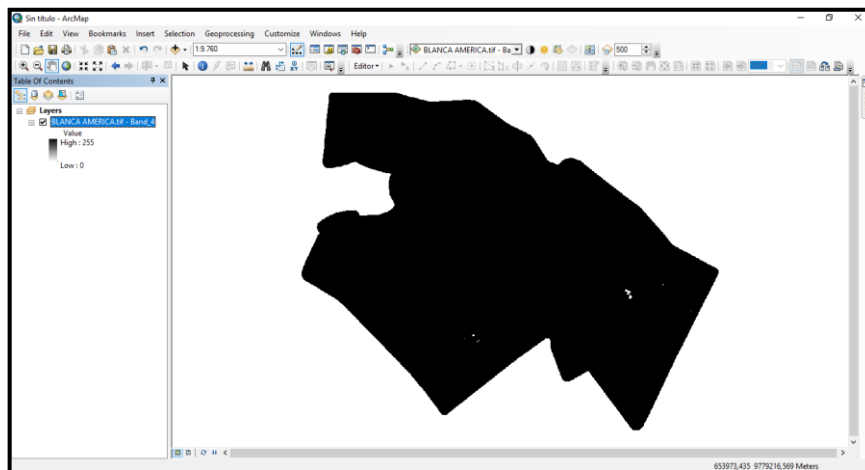
Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. Banda 3 (Azul) de la imagen Pleíades



Fuente: Elaboración propia.

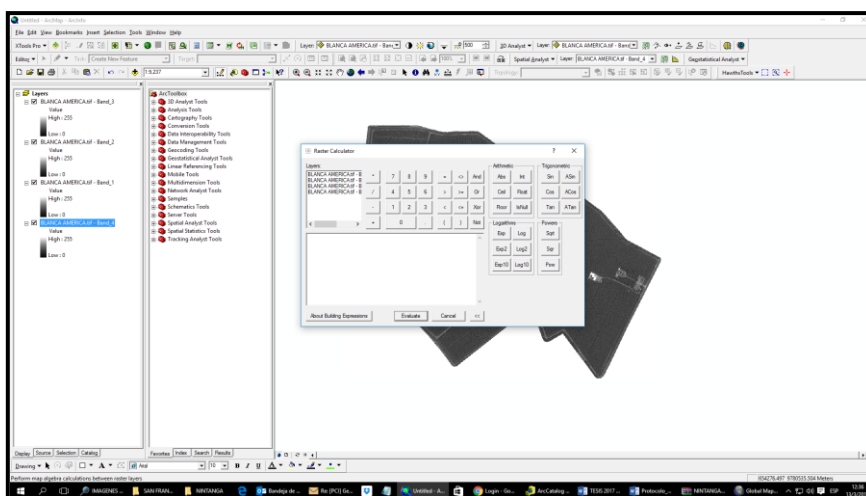
Figura 33. Banda 4 (Infrarroja) de la imagen Pleíades



Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Calculadora raster (Raster Calculator)

$$\text{NDVI} = \text{Banda 4 (infrarrojo cercano)} - \text{Banda 1 (Roja)} / \text{Banda 4 (infrarrojo cercano)} + \text{Banda 1 (Roja)}$$



Fuente: Elaboración propia.

4.4.1 Índice de diferencia normalizada de vegetación NDVI.

Para el cálculo del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) se generó de acuerdo al siguiente modelo matemático:

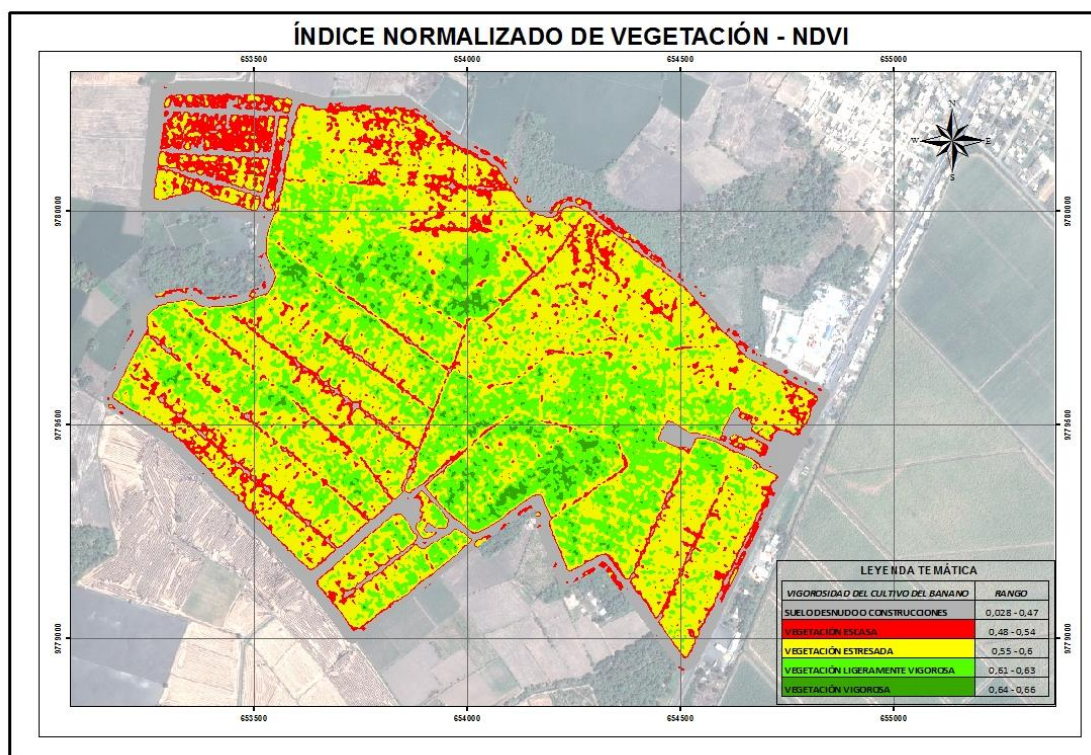
$$\text{NDVI} = [\text{Banda 4 (infrarrojo cercano)} - \text{Banda 1 (Roja)}] / [\text{Banda 4 (infrarrojo cercano)} + \text{Banda 1 (Roja)}]$$

$$\text{NDVI} = [\text{Float}(\text{"blancac4"} + \text{"blancac1"})] / [\text{Float}(\text{"blancac4"} - \text{"blancac1"})^2]$$

Una vez corrido el modelo matemático se generó el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI), como se muestra en la Figura 35.

² **Nota:** esta es la forma de ingreso de datos en el Raster Calculator.

Figura 35. Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) calculado



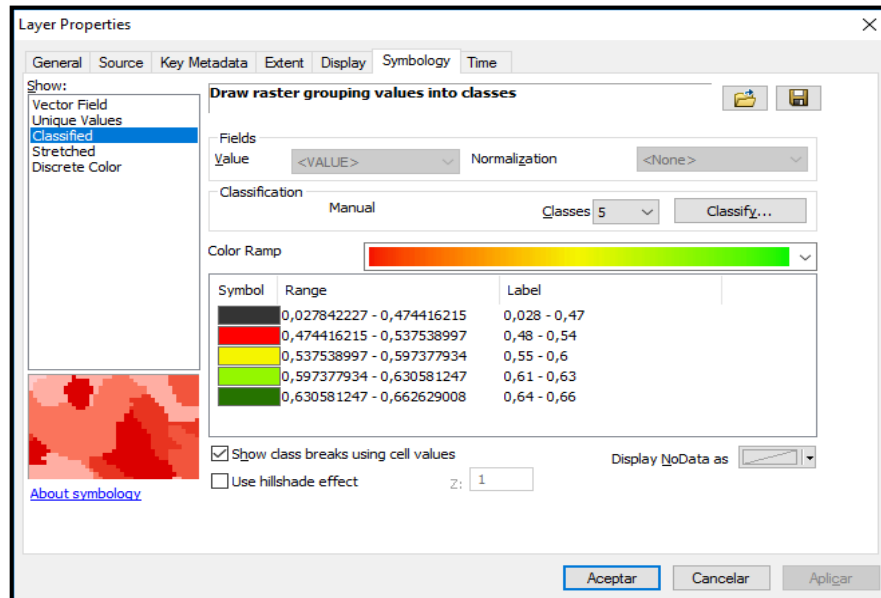
Fuente: Elaboración propia.

El índice normalizado de vegetación (NDVI) (anexo 1) se obtiene dividiendo el índice de diferencia entre la suma de la reflectancia en el infrarrojo cercano y rojo. De acuerdo con esta relación, la vegetación sana absorbe la mayor parte de la energía incidente en las longitudes de onda visibles y refleja una gran parte de la energía en las bandas del infrarrojo cercano.

El NDVI es comúnmente utilizado para darle seguimiento a la evolución de las características de la vegetación, sin embargo, en este caso con una sola imagen de una sola fecha se demuestra que la cobertura vegetal de la plantación es menos vigorosa, los valores de NDVI se ven seriamente afectados por diferentes factores biológicos y fenológicos, por ejemplo: el agua tiene reflectancia mayor en el infrarrojo que en el rojo, por lo tanto, son valores negativos en el NDVI y se muestra de coloración rojo. El suelo descubierto, construcciones y con vegetación rala presenta valores positivos, aunque no muy elevados.

La vegetación densa, sana y bien desarrollada presenta los mayores valores de radianza respecto a sus niveles de gris.

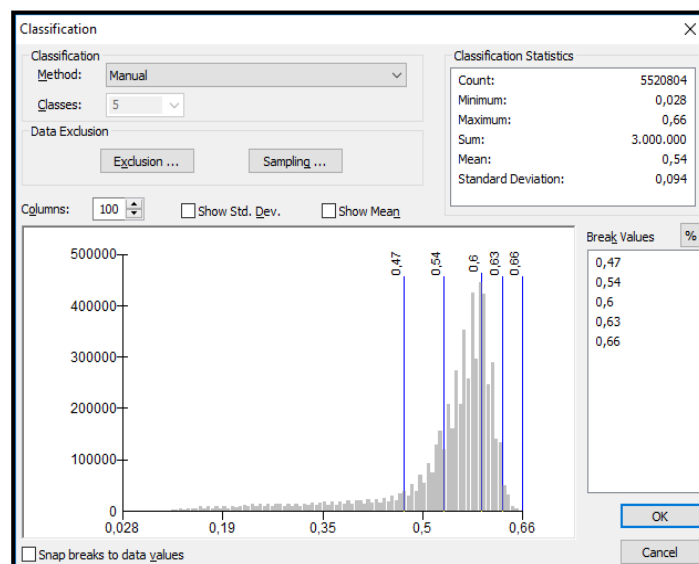
Figura 36. Clasificación y valores del vigor de la vegetación



Fuente: Elaboración propia.

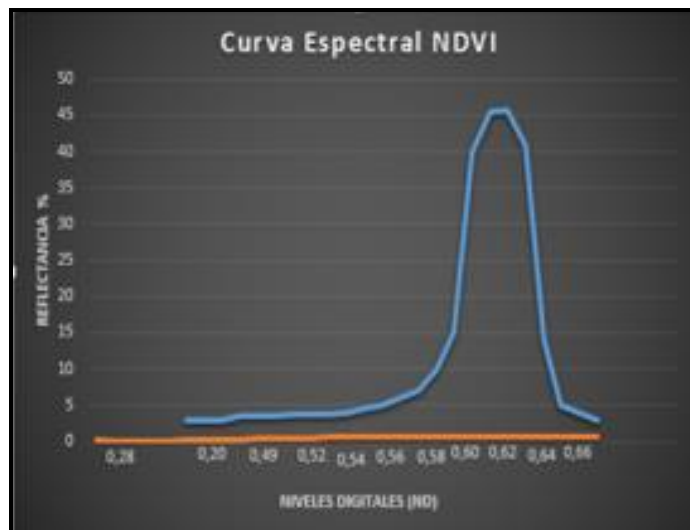
La clasificación permite obtener un rango de valores ND, además de permitir dar una trama de color.

Figura 37. Clasificación en forma de histograma. (NDVI)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 38. Curva espectral (NDVI)



Fuente: Elaboración propia.

Se muestra la distribución de los valores según el índice de vegetación.

Podemos observar que el vigor de la vegetación (NDVI) tomó valores de -1 a 1, en donde los datos correspondientes a vegetación oscilan en el intervalo de 0,02 a los 0,6 μm en este caso los valores bajos de NDVI ($< 0,2$) corresponden a suelos desnudos, cuerpos de agua y zonas de suelo desprovisto de vegetación para el efecto los valores de “NDVI son muy cercano o menor a cero , ya que su superficie absorbe de igual manera la luz visible y la radiación infrarroja” (Maruri, 2005; Alcaraz et al., 2008).

De la metodología encontrada se observa que los valores según el índice de vegetación presente muestran un distribución casi normal, para este caso observamos que el valor acumulado en la imagen oscila entre 0,61 – 0,66 y una desviación estándar de 0,094.

En este entorno los valores positivos según el NDVI hace referencia a las zonas de fuerte actividad fotosintética principalmente (vegetación sana).

Los valores entre 0,02 a 0,54 hacen referencia a categorías de vegetación escasa y suelo desnudo o construcciones .

4.4.2 Índice mejorado de vegetación EVI

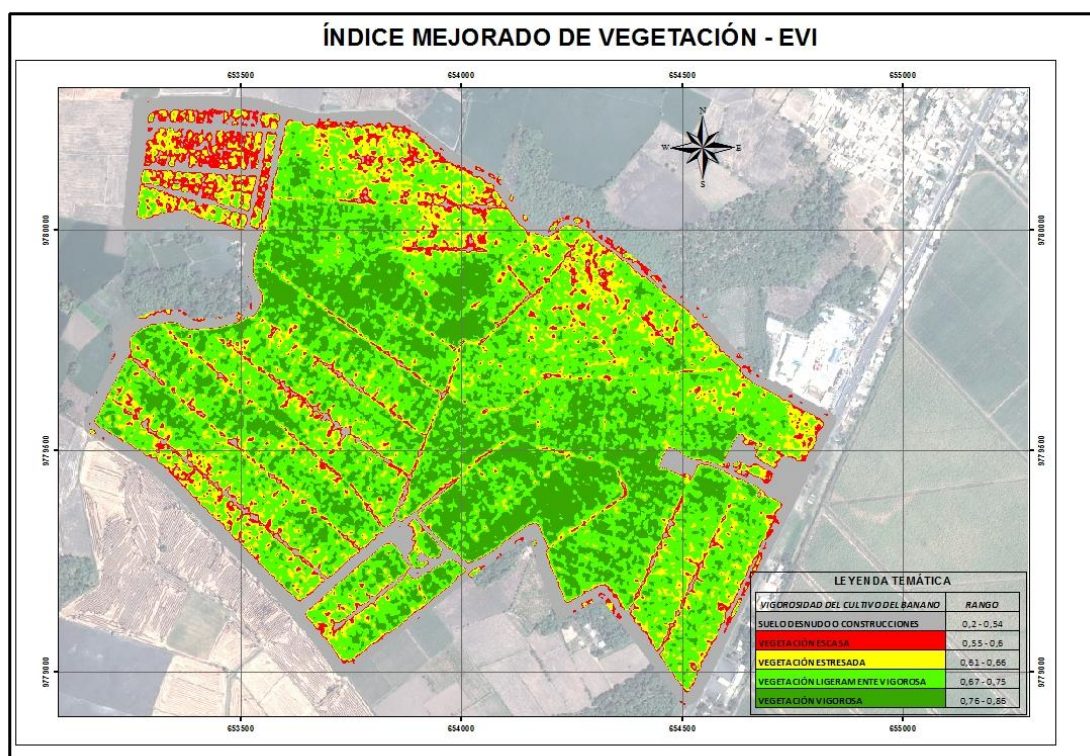
Para el cálculo del Índice Mejorado de Vegetación (EVI) se generó de acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$Evi = [2,5 * (\text{banda 4} - \text{banda 1})] / [(1 + \text{banda 4} - \text{banda 1} - 7,5 / \text{banda 3})]$$

$$Evi = [2,5 * \text{Float}(\text{"blancac4"} - \text{"blancac1"})] / [\text{Float}(1 + \text{"blancac4"} + 6 * \text{"blancac1"} - 7,5 / \text{"blancac3"}).^3]$$

Una vez corrido el modelo matemático se generó el Índice Mejorado de Vegetación (EVI), como se muestra en la Figura 32.

Figura 39. Índice Mejorado de Vegetación (EVI) calculado. (Anexo 2)



Fuente: Elaboración propia.

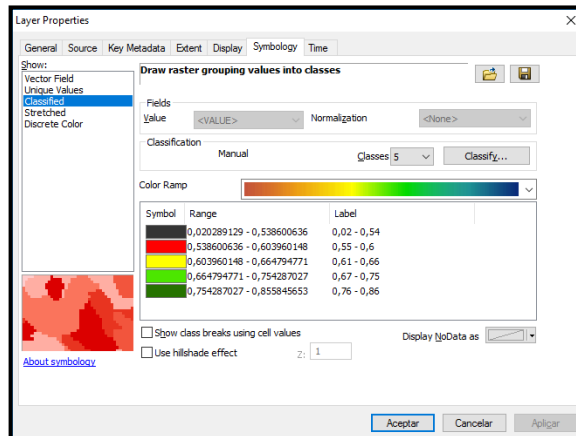
El índice EVI (Huete 1999), con igual significado biológico (Glenn et al. 2008), cuyo cálculo incluye también la reflectancia en las longitudes de onda del azul (además del rojo y el infrarrojo cercano), supone una mejora sobre el NDVI, ya que considera el

³ **Nota:** esta es la forma de ingreso de datos en el Raster Calculator.

efecto de la atmósfera y la señal radiométrica bajo la cobertura vegetal (Liu y Huete 1995).

Las respectivas clasificaciones para este índice se muestran en el Mapa generado que se presenta en el Anexo 2.

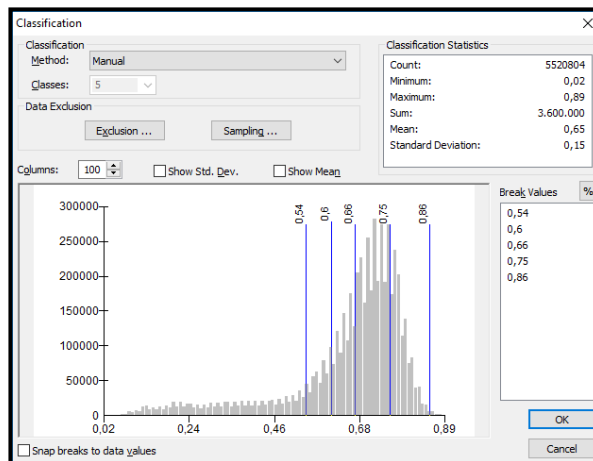
Figura 40. Clasificación y valores del vigor de la vegetación



Fuente: Elaboración propia.

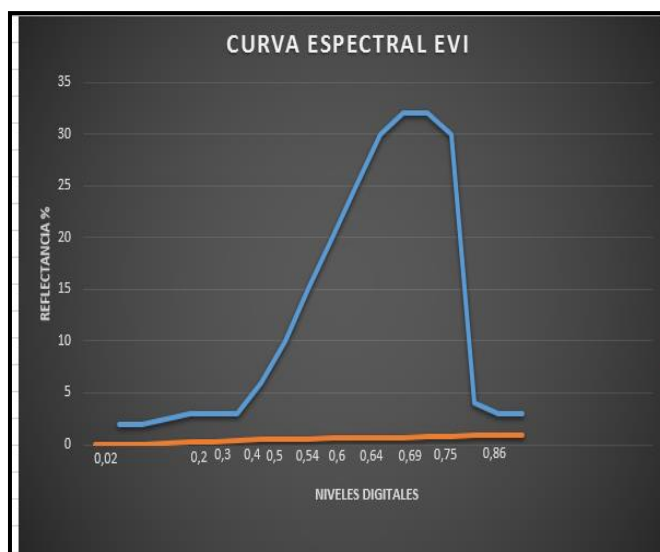
La clasificación permitió obtener un rango de valores ND, además de dar una trama de color.

Figura 41. Clasificación en forma de histograma. EVI



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Curva espectral (EVI)



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 41 y 42 se muestra la distribución de los valores según el índice de vegetación.

Al aplicar el índice EVI que supone una mejora sobre el NDVI, este índice nos arroja valores entre 0,02 a 0,86. En la imagen podemos decir que los valores acumulados oscilan entre 0,75 y 0,86 y una desviación estándar de 0,15 ; esto nos permite tener una mejor discriminación en cuanto a la vegetación. En este entorno los valores que se encuentran en el rango de los 0,75 y 0,86 hacen referencia a valores con una fuerte actividad fotosintética, demostrando así una vegetación sana en estos valores. Los valores bajos 0,02 a 0,6 hacen referencia a las categorías : vegetación escasa y suelo desnudo o construcciones.

4.4.3 Índice transformado de vegetación SAVI

Para el cálculo del Índice Transformado de Vegetación (SAVI) se generó de acuerdo al siguiente modelo matemático:

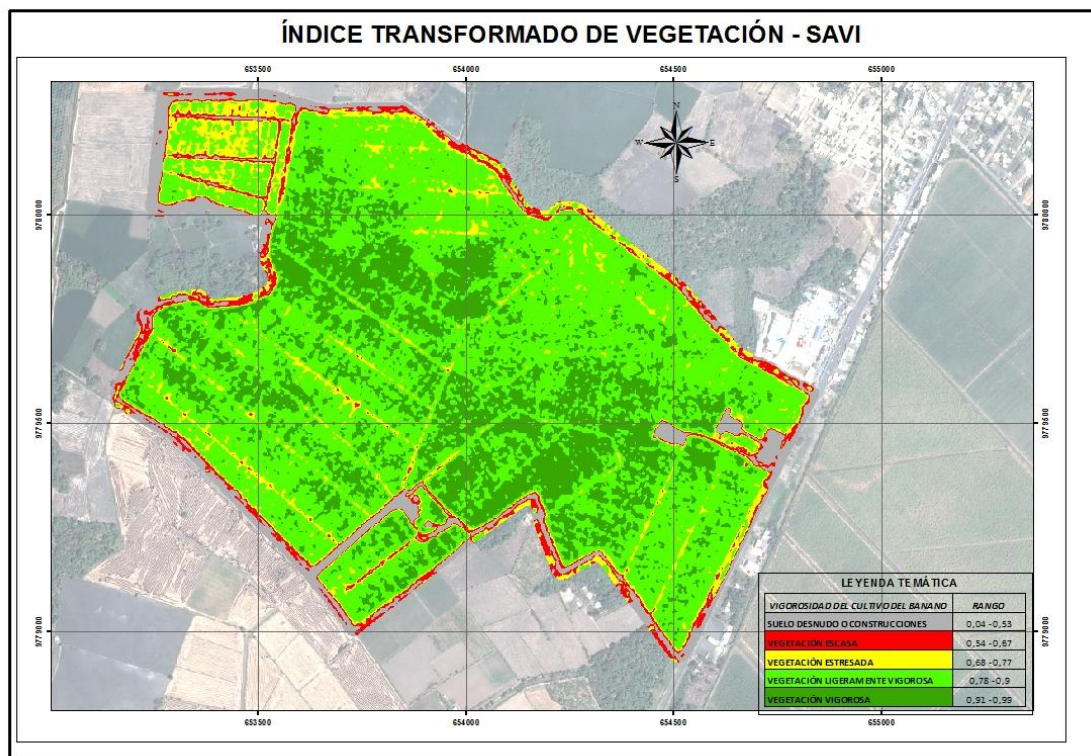
$$\text{SAVI} = [(1 + 0,5) * (\text{Banda 4} - \text{banda 1})] / [(\text{Banda 4} - \text{banda 1} + 0,5)].$$

$$\text{SAVI} = [\text{Float}(1 + 0,5) * \text{Float}(\text{"blancac4"} - \text{"blancac1"})] / [\text{Float}(\text{"blancac4"} + \text{"blancac1"} + 0,5)^4]$$

⁴ **Nota:** esta es la forma de ingreso de datos en el Raster Calculator.

Una vez corrido el modelo matemático se generó el Índice Transformado de Vegetación (SAVI), como se muestra en la Figura 43

Figura 43. Índice Transformado de Vegetación (SAVI) calculado

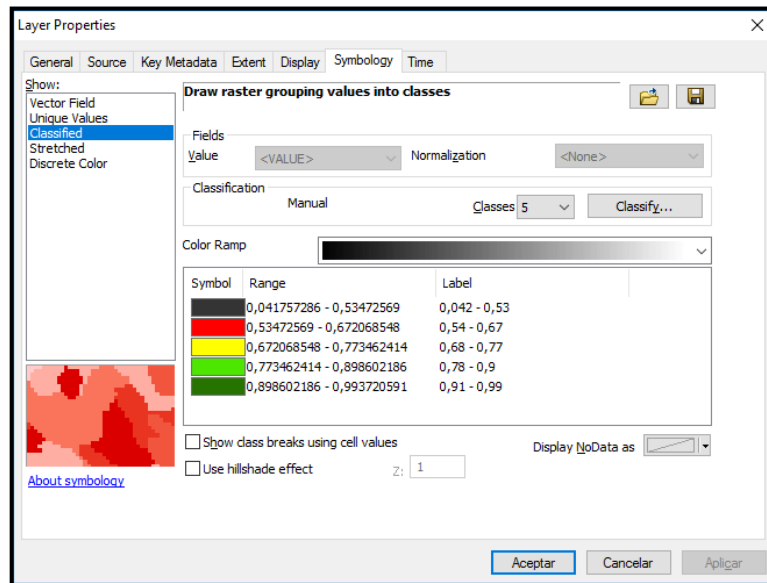


Fuente: Elaboración propia.

Para corregir este efecto de ruido provocado por la reflectancia del suelo, Huete et al. (1988) desarrolló el índice de vegetación ajustado a suelos, SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index). Para una cubierta de vegetación intermedia, Huete llega a la conclusión de que se obtiene el mejor ajuste para reducir al mínimo el brillo del suelo con $L= 0,5$; mientras que $L = 0,25$ proporciona una mejor estimación para las coberturas densas. En la firma espectral de los suelos se observa que su reflectividad es similar en las bandas roja e infrarroja cercana. También, al cambiar las condiciones de mayor o menor humedad del suelo la reflectividad aumenta o disminuye simultáneamente en ambas bandas.

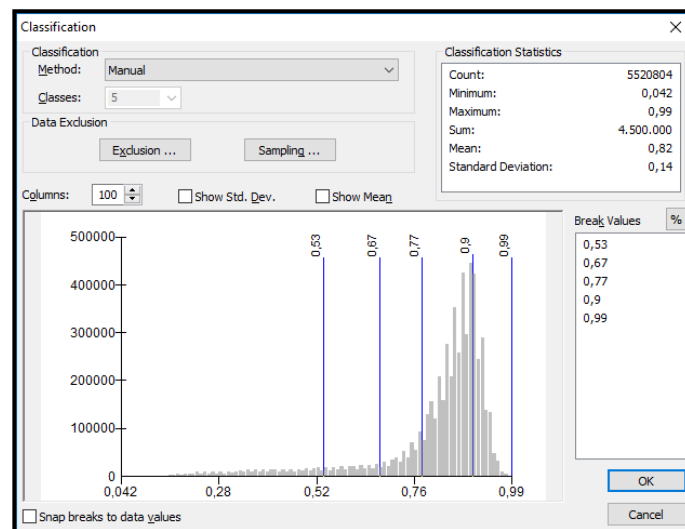
Las respectivas clasificaciones para este índice se muestran en el Mapa generado que se presenta en el Anexo 3.

Figura 44. Clasificación y valores del vigor de la vegetación



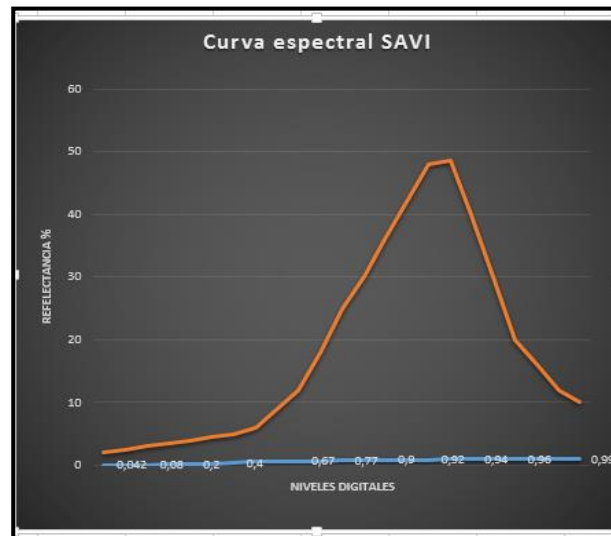
Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Clasificación en forma de histograma. SAVI



Fuente: Elaboración propia.

Figura 46. Curva espectral SAVI



Fuente: Elaboración propia.

El índice SAVI muestra una distribución normal, y mejor distribuidos sus valores de ND (niveles digitales), para este caso observamos valores en la imagen que se encuentran entre 0,04 a 0,99.

En este entorno los valores positivos según el SAVI hacen referencia a las zonas de fuerte actividad fotosintética, lo que significa que los valores que están entre 0,91 y 0,99 se muestran como una vegetación sana.

Los valores bajo 0,04 a 0,53 hacen referencia a las categorías: vegetación escasa y suelo desnudo o construcciones.

CAPÍTULO V

5.0 TRABAJO DE CAMPO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PLAGAS Y ENFERMEDADES Y SU POSTERIOR CORRELACIÓN CON LA RESPUESTA ESPECTRAL.

El trabajo realizado en campo fue de suma importancia para el avance de la investigación, esto permitió validar la información obtenida en escritorio al momento de obtener cada uno de los diferentes índices aplicados en la presente investigación, y al mismo tiempo contrarrestar con los datos reportados por el análisis de suelos y foliares realizados en la propiedad.

5.1 Identificación de zonas donde se evidencia presencia de plagas y enfermedades.

El área de estudio se escogió en julio del 2016, por cumplir con los requisitos que se necesitaba para la investigación, la hacienda Blanca María fue apta para el estudio donde se evidencia enfermedades en una parte de la hacienda (Ver foto N°1)



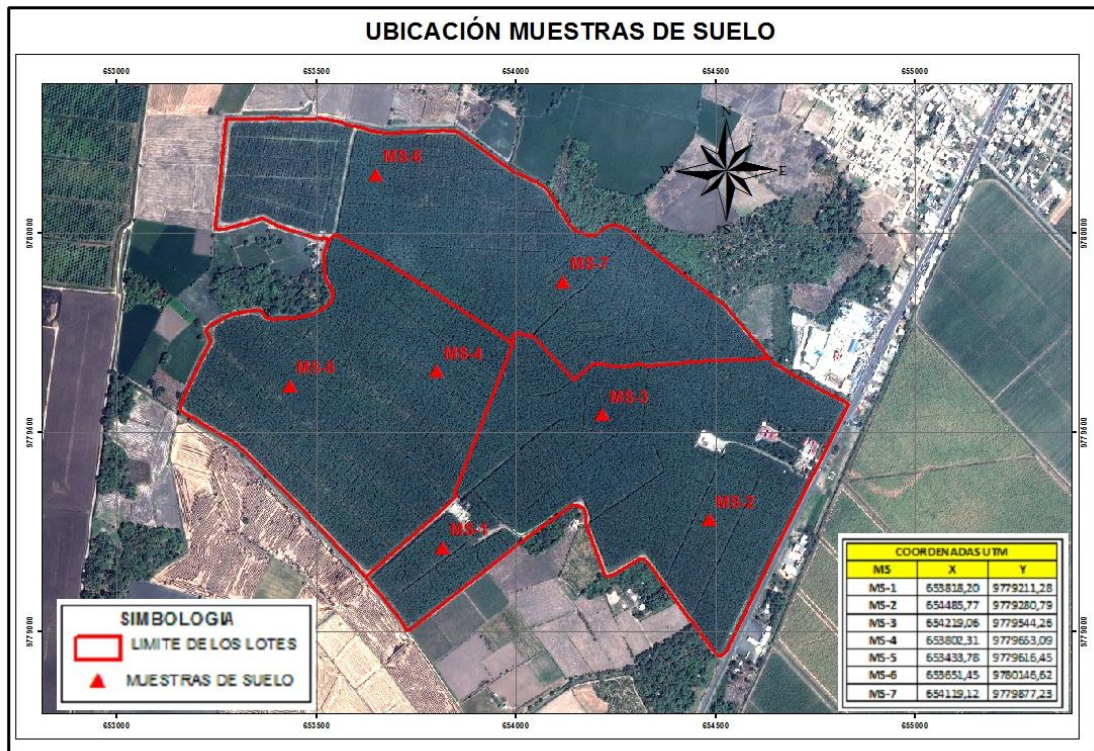
Foto N°1 Cultivo de banano de la finca Blanca América

Fuente: Lizeth Tipantuña, 2017.

Al momento de realizar el levantamiento de la información en el campo y una vez analizado cada uno de los índices procesados se centra el estudio en las zonas en que los niveles digitales (ND), nos indicaban un cambio en la coloración del cultivo dentro de la imagen, alertando así algún problema causado en el cultivo ya sea este por la presencia de plagas y/o enfermedades, o algún cambio en la fisiología del cultivo causado por la ausencia de algún elemento esencial para el desarrollo del mismo.

Para la correlación entre las características de los suelos y la reflectancia del cultivo; se tomaron muestras de suelos (Gráfico 47) y muestras foliares (Gráfico 48), en hojas que mostraban tonalidades diferentes y que podrían evidenciar deficiencia de algún nutriente, posteriormente las diferentes muestras se enviaron al laboratorio del INIAP para sus respectivos análisis químicos.

Figura 47. Ubicación de puntos para toma de muestras de suelo



Fuente: Elaboración propia.

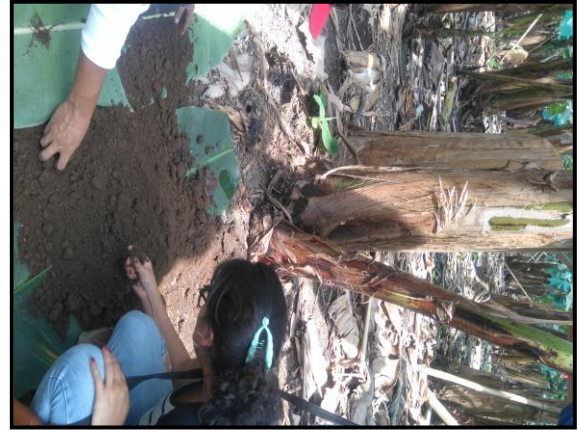


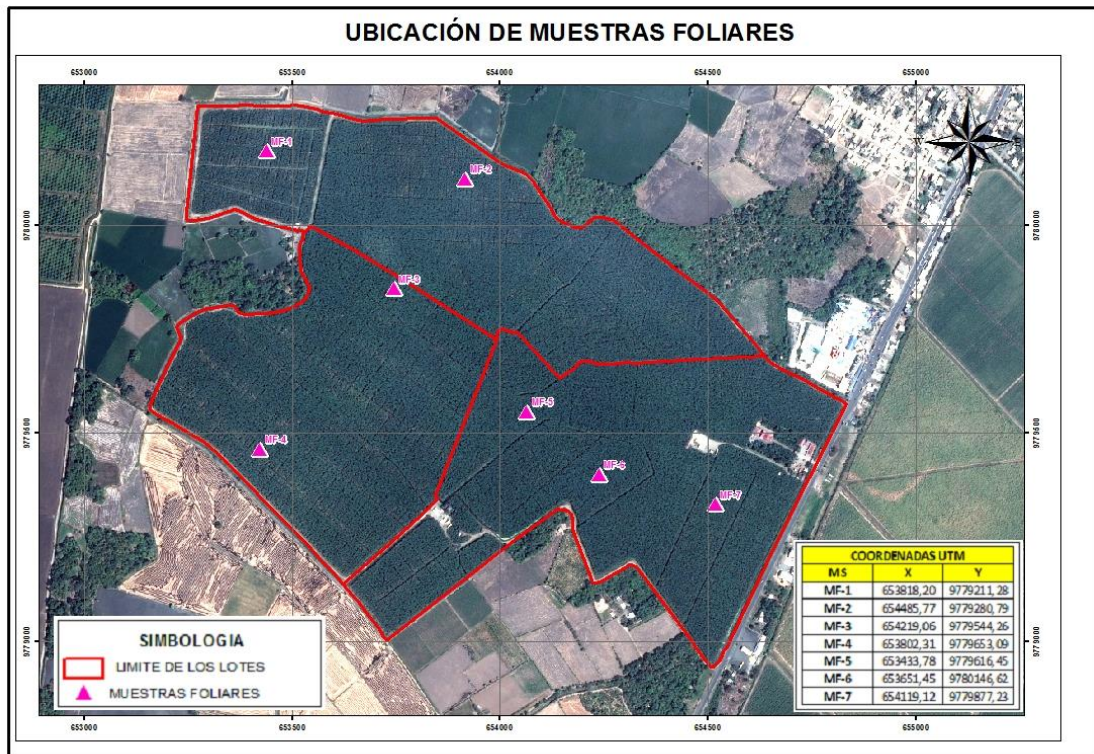
Foto N°2 Toma de muestras de suelo

Fuente: Lizeth Tipantuña, 2017.

Estas fotografías muestran la toma de suelo para el estudio de los análisis de laboratorio, estos fueron un indicador confiable para la elaboración de mapas de fertilidad, la toma de muestra nos aseguró unos resultados de análisis de gran utilidad.

La interpretación de los análisis foliares permite evidenciar una nutrición del cultivo saludable. Esto ha logrado ser una buena herramienta de diagnóstico que ayuda con el manejo de la nutrición de los cultivos, particularmente si se toman en cuenta los síntomas visuales de deficiencias, las condiciones de suelo y la historia de fertilizaciones (Lahav & Turner ,1992).

Figura 48. Ubicación de puntos para la toma de muestras foliares



Fuente: Elaboración propia.



Foto N°3 Toma de muestras foliares

Fuente: Lizeth Tipantuña, 2017.

La mayoría de las plantaciones de banano en nuestro país están infestados por nematodos especialmente por las lesiones de las raíces. El control de nematodos es indispensable (INIAP, 2011).



Foto N°4 Muestras de raíces para determinar enfermedades por nemátodos

Fuente: Lizeth Tipantuña, 2017.

5.2 Aplicación de álgebra de mapas y procesos de interpolación geoestadístico para la generación de mapas de suelo y muestras de área foliar

Se entiende por álgebra de mapas el conjunto de técnicas y procedimientos que, operando sobre una o varias capas en formato ráster, nos permite obtener información derivada, generalmente en forma de nuevas capas de datos. Aunque nada impide que este proceso se lleve a cabo sobre capas vectoriales, se entiende que el álgebra de mapas hace referencia al análisis desarrollado sobre capas ráster, pues estas, por su estructura regular y sus características inherentes, son mucho más adecuadas para plantear los algoritmos y formulaciones correspondientes. Los procedimientos que se aplican sobre información geográfica en formato vectorial son por regla general clasificados dentro de otros bloques de conocimiento, como es por ejemplo el caso de las operaciones geométricas sobre datos vectoriales (Moral, 2004).

La Geoestadística por su parte, en su análisis utiliza métodos exploratorios y de interpolación, estos métodos requieren un conocimiento básico estadístico, pues cuando hay variación irregular en los datos, la muestra es representativa y/o la interpolación simple arroja resultados incoherentes con la realidad, los métodos geoestadísticos proporcionan estimaciones probabilísticas de la calidad de la interpolación.

Paralelamente, proporcionan una herramienta (semivariograma) que permiten explorar y obtener una mejor comprensión de los datos, además se tiene el control para crear las mejores estimaciones basadas en la información disponible, permitiendo la toma de decisiones óptimas (García, 2009).

Hoy en día, la Geoestadística es un nombre asociado con una clase de técnicas, para analizar y predecir los valores de una variable que está distribuida en espacio o tiempo. Se asumen tales valores implícitamente, para ser puestos en correlación entre sí, y el estudio de semejante correlación normalmente se llama un "análisis estructural" o un "Variograma". Después del análisis estructural, se hacen estimaciones a las situaciones de los sectores no muestreados usando la técnica de interpolación "Kriging".

La Geoestadística, tiene como objetivo el caracterizar e interpretar el comportamiento de los datos que están distribuidos espacialmente "variables regionalizadas" (Rodríguez, 2005).

Los pasos principales de un estudio Geoestadístico son:

- Análisis de los datos exploratorios.
- Análisis Estructural (Cálculo y modelación de los Variogramas).
- Estimaciones (Kriging o simulaciones).

5.3 Método de interpolación de Kriging

Kriging es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z (Henaó, 2005).

El proceso del Kriging consiste en asignar pesos a los vecinos más cercanos, considerados para la estimación, la diferencia del Kriging con otros métodos de interpolación, es que utiliza un método semejante a la interpolación por media móvil ponderada, a diferencia que los pesos son asignados a partir de un análisis espacial, basado en el semivariograma experimental (Henaó, 2005).

Un método de interpolación será exacto cuando, pase por los puntos muestrales, lo más cercano posible a ellos. Es importante que un modelo para semivariograma que ha sido ajustado, represente una tendencia a los modelos antes descritos, para que las estimaciones obtenidas por medio del Kriging sean más exactas y más confiables (Oliver , 1990).

5.4 Proceso Geoestadístico

El trabajo geo estadístico se llevó a cabo en 3 etapas:

1. Análisis exploratorio de los datos: Aquí se obtuvieron los datos muestrales de los puntos de la hacienda considerando la distribución geográfica.
2. Análisis estructural: Esta etapa consistió en el estudio de la continuidad y variabilidad espacial de los análisis de suelo y los análisis foliares mediante el cálculo del variograma, para esto se utilizó el software ArcGis 9.3 módulo Geostatistical Analyst.⁵
3. Predicción de las variables: A partir de los resultados de obtenidos en el campo generaron las superficies continuas de estas variables, que se obtuvieron mediante interpolación método de kriging, se utilizó el software ArcGis 9.3 módulo Geostatistical Analyst.

5.5 Análisis Exploratorio de los datos

El análisis exploratorio tiene como objetivo identificar el modelo más adecuado para representar la población de la cual proceden los datos muestrales.

A. Información básica

Obtenidas las muestras de análisis de suelos en formato shapefile (*.shp) debidamente georeferenciadas, se procedió a revisar la variabilidad y tendencia de la información

⁵ Variograma, puede verse en <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>

para cada una de las variables, y de esta manera ajustar a una tendencia normal aplicando diferentes tipos de transformación geoestadístico (ver figura 49 y 50:

Geostatistical Analyst >> Explore Data >> Histogram

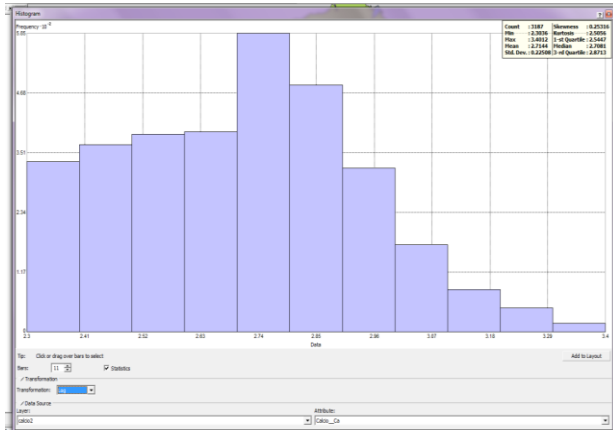


Figura 49. Histograma con transformación normal para ajuste de datos

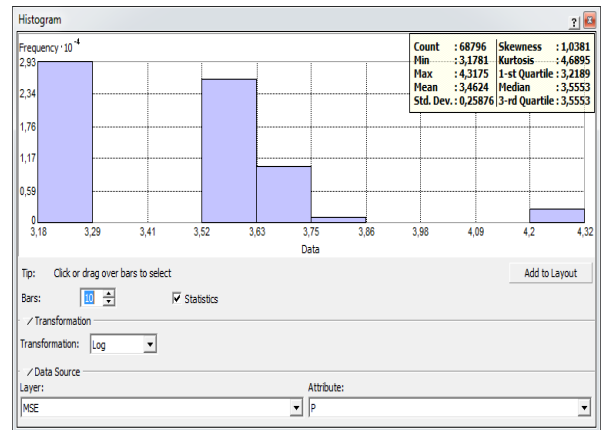


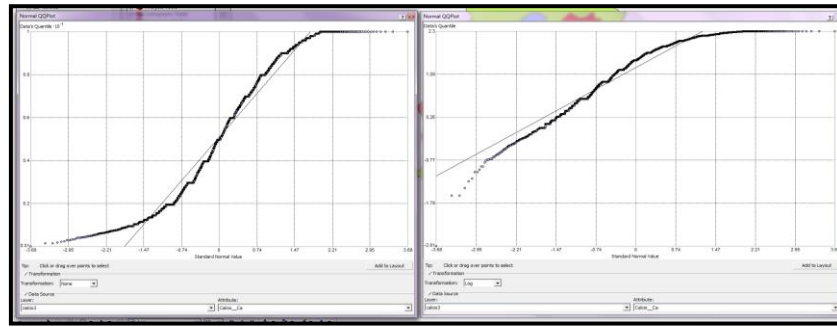
Figura 50. Histograma con transformación logarítmica para ajuste de datos

Fuente:Software Arcgis v. 9.3, 2016

B. Selección de las variables a utilizar

A continuación de estimar una transformación que ajuste la tendencia de los datos, se procedió a estimar el valor estándar normal de la muestra representativa para cada una de las variables (ver figura 51).

Figura 51. Valor estándar normal de la muestra para cada variable



Fuente:Software Arcgis v. 9.3, 2016

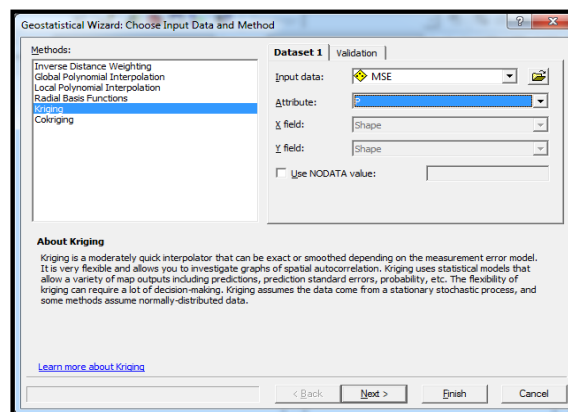
Esto en la herramienta GeostatisticalAnalyst>> Explore Data >> Normal QQplot

C. Selección del método.

Como se mencionó anteriormente, kriging un estimador lineal y es el método que mayor aproximación nos da a la realidad de los datos y se lo realizó en base al siguiente procedimiento (ver figura 52):

Geostatistical Analyst>>Geostatistical Wizard >>Kriging>> Ordinary Kriging

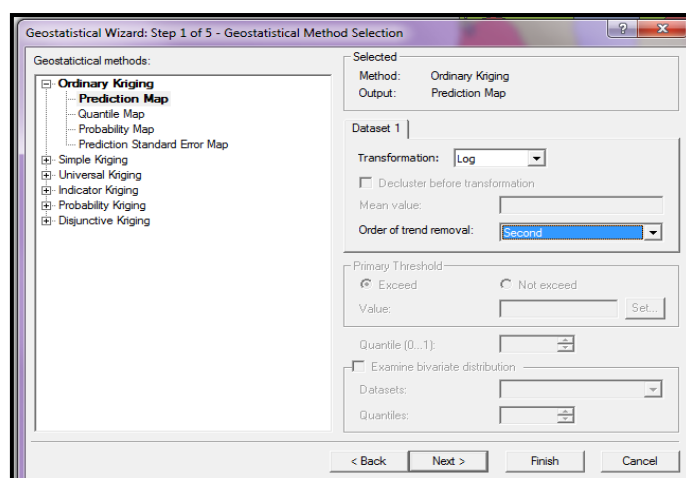
Figura 52. Kriging ordinario



Fuente:Software Arcgis v. 9.3, 2016

Luego de esto se eligió el histograma y el tipo de transformación a realizar a los datos, de acuerdo con el tipo de curva que presenta en la información de los datos determina el orden de eliminación de la tendencia. Para a la mayoría de las variables se realizó una transformación logarítmica. En la siguiente figura se muestra la ventana de selección (ver figura 53).

Figura 53. Transformación de datos y orden de la tendencia

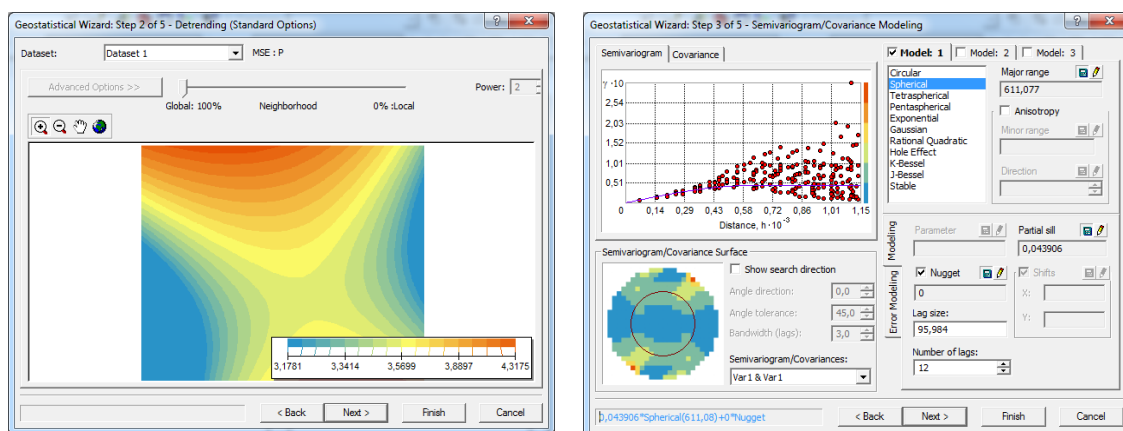


Fuente: Software Arcgis v. 9.3, 2016

D. Análisis estructural y cálculo

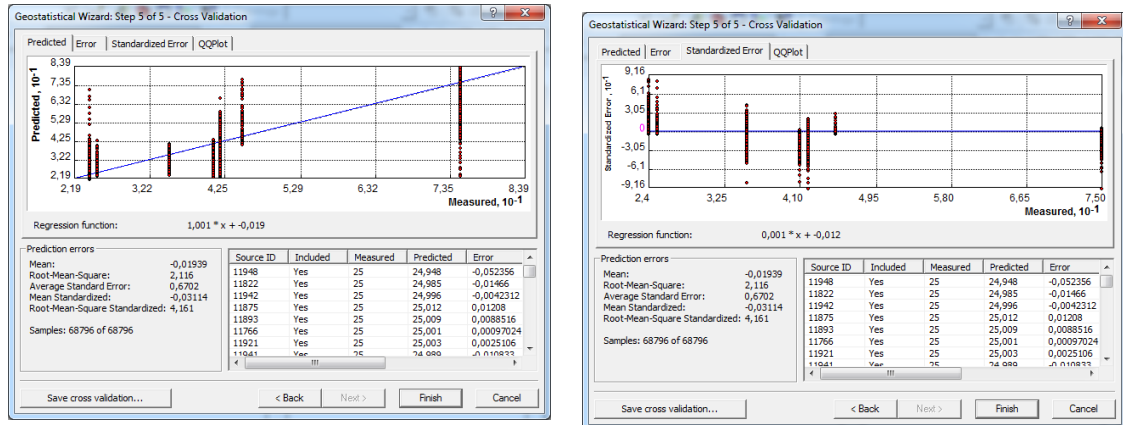
Se calculó el variograma experimental con la función de correlación espacial mediante la semivarianza, determinando así el número de puntos más cercanos a la línea de tendencia como se puede observar en la figura 42, luego de lo cual en el semivariograma experimental se buscó el modelo teórico (Esférico, Exponencial, Gaussiano y Potencial) que mejor se ajuste con el fin de obtener el modelamiento del semivariograma. Finalmente se define el número y tamaño de los “Lag” (logaritmos) que se van a utilizar en el modelo (ver figura 54 y 55).

Figura 54. Tendencia de la distribución y semivariograma



Fuente: Software Arcgis v. 9.3, 2016

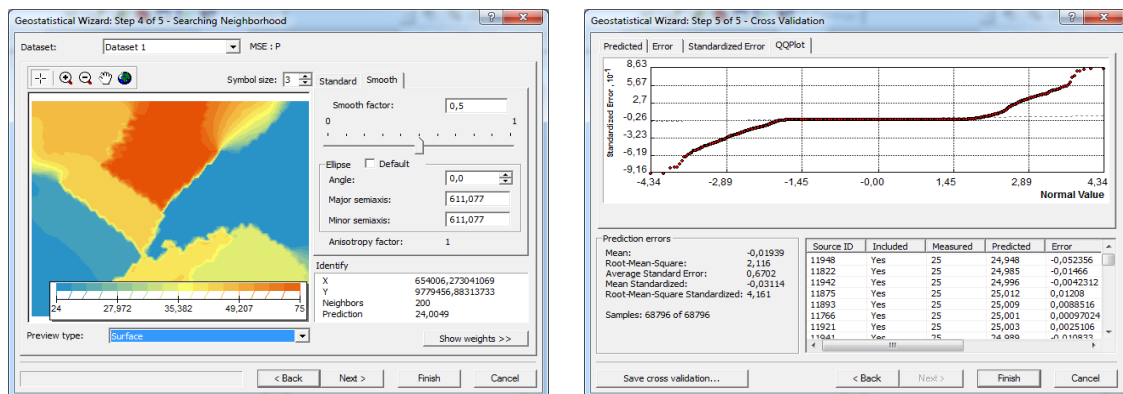
Figura 55. Predicción y error de modelo de interpolación



Fuente:Software Arcgis v. 9.3, 2016

Al seleccionar el modelo teórico adecuado al que se ajuste la tendencia de los datos, se procede a revisar el error estandarizado junto con el ajuste de la información:

Figura 56. Cercanía de los puntos a la tendencia y modelación aplicando un modelo de suavidad de 0,5



Fuente:Software Arcgis v. 9.3, 2016

Para una mejor visión de la modelación realizamos un factor de suavidad, con esto se obtiene una interpretación de la interpolación más definida en colores.

Como se había mencionado el modelo Kriging es una interpolación que predice valores para las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestra. Puede utilizarse para prever valores desconocidos de cualquier dato de un

punto geográfico, tales como: elevación, precipitaciones, concentraciones químicas y niveles de ruido (Esri, 2017).

Además de la suposición que hace la interpolación es una opción viable, que los objetos distribuidos espacialmente están correlacionados entre sí; es decir, las cosas que están cerca tienden a tener características similares. Por ejemplo, si llueve de un lado de la calle, se puede prever con un alto nivel de confianza que está lloviendo del otro lado de la calle (Esri, 2017).

Con esta analogía, resulta sencillo ver que los valores de los puntos cercanos a los puntos de muestra tienen más posibilidades de ser similares que los que están más alejados, esta es la base de la interpolación.

Esto permitió que este modelo geoestadístico de las herramientas adecuadas para realizar los mapas de interpolación con muestras de suelo y foliares, y que sea el método más adecuado para este estudio por la cantidad de muestras que fueron tomadas.

Adicionalmente se pudo obtener una correlación con los mapas de índices de vegetación obtenidos versus los valores que reflejaron los análisis de suelo y foliares, esto nos permitió identificar las zonas que tuvieron algún cambio en la estructura y follaje de las hojas de la vegetación.

5.6 Análisis de condiciones químicas de los suelos y área foliar con los resultados del método kriging.

En la hacienda se tomó muestras de análisis de suelo y foliar, se consideró la imagen con el NDVI para la toma de muestras, ya que esta imagen que se generó tiene valores de los ND bajos y altos, requiriéndose comprobar si existe algún problema significativo aparte de los problemas fitosanitarios.

Para una mejor interpretación de los datos de cada uno de los nutrientes del suelo y con el fin de obtener un modelo de cada uno de estos, se procedió a interpolar los macronutrientes Nitrógeno (N), Fosforo(P) y Potasio (K), analizados en el laboratorio para así obtener mapas de fertilidad que interpreten los niveles de cada uno de estos

elementos presentes en el suelo, los mismos que fueron reclasificados de acuerdo a diferentes tablas de interpretación que identifican diferentes rangos dependiendo del contenido de los diferentes nutrientes en el suelo y en el área foliar.

Los rangos y los niveles de Interpretación fueron tomados de la información del INIAP, interpretación técnica (1979), reconocidos por la Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo – SECS.

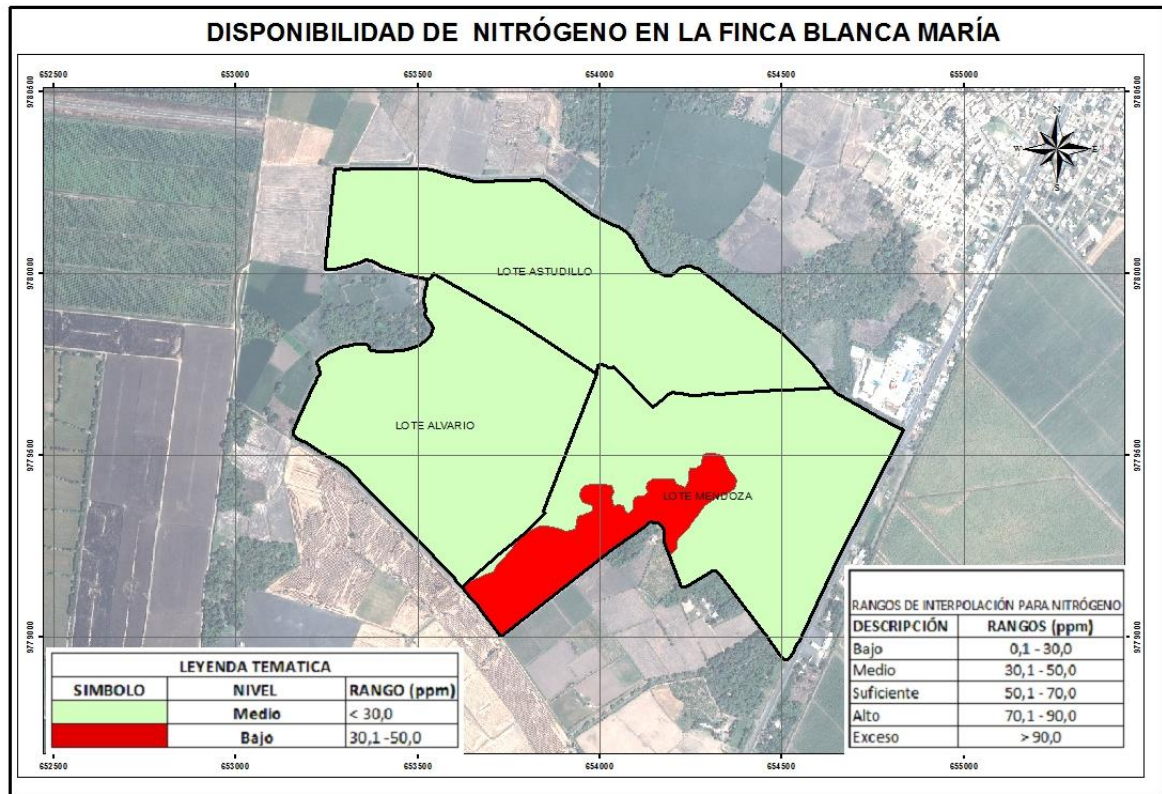
5.7 Disponibilidad de elementos en muestras de suelo

Una vez tomadas las diferentes muestras de suelo se las envió al laboratorio para que sean analizadas. Dicho reporte de laboratorio evidenció el contenido de los diferentes nutrientes en el suelo los mismos que se manifiestan a continuación.

5.7.1.1 Nitrógeno (N)

El contenido de nitrógeno en los suelos varía en un amplio espectro. El nitrógeno tiende a incrementarse al disminuir la temperatura de los suelos y al aumentar las precipitaciones atmosféricas. Si el suelo tiene deficiencia de nitrógeno, las plantas se vuelven altas, débiles y pálidas (Bertha, 2003).

Figura 57. Disponibilidad de nitrógeno de acuerdo con el análisis de suelos



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Estadística general para nitrógeno de la Finca Blanca América

NIVEL	SUPERFICIE (ha)	SUPERFICIE (%)
MEDIO	118,13	91,39
BAJO	11,13	8,61
TOTAL	129,26	100,00

Fuente: Elaboración propia.

El nitrógeno es necesario para el cultivo, esto evita el agotamiento de la materia orgánica que muchas veces puede promover a que se pierda las características de agregación por elementos orgánicos que son muy deseadas.

5.7.1.2 Fósforo (P)

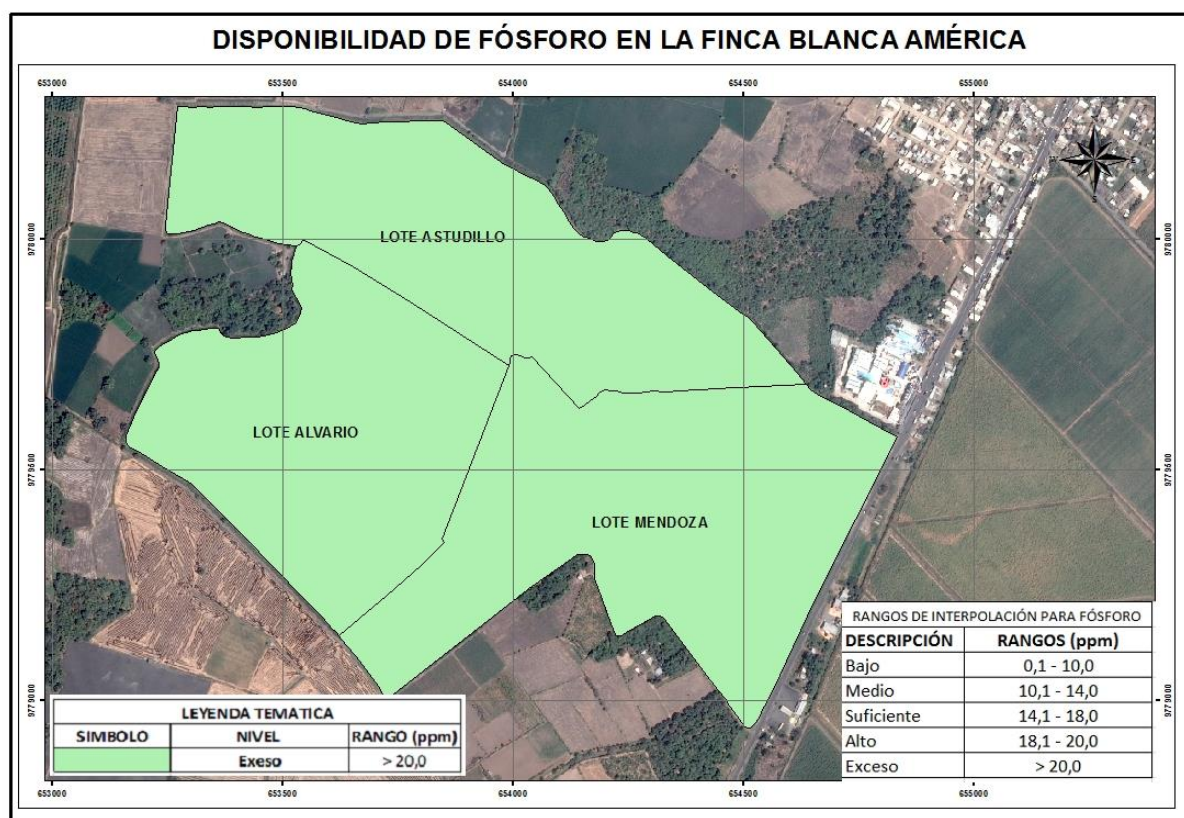
El fósforo es un elemento de gran importancia en las plantas, siendo este el que provee la energía y forma parte estructural del material genético. Una vez analizados los reportes de laboratorio y generado las diferentes interpolaciones para obtener el mapa de este elemento, se identificó que el nivel de fosforo presente en la propiedad es alto. Generalmente cuando se añade fósforo al suelo en grandes cantidades, la solubilidad de la masa total del fósforo en el suelo es más alta que cuando se añade en cantidades pequeñas, debido fundamentalmente al proceso de fijación que experimentan algunos suelos (Bertha, 2003).



Foto N° 5 Evidencia de enrollamiento de hojas.

Fuente: Lizeth Tipantuña, 2017.

Figura 58. Disponibilidad de fósforo de acuerdo con el análisis de suelos



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Estadística general del elemento fósforo (P) de la Finca Blanca América

NIVEL	SUPERFICIE (ha)	SUPERFICIE (%)
EXCESO	129,26	100,00
TOTAL	129,26	100,00

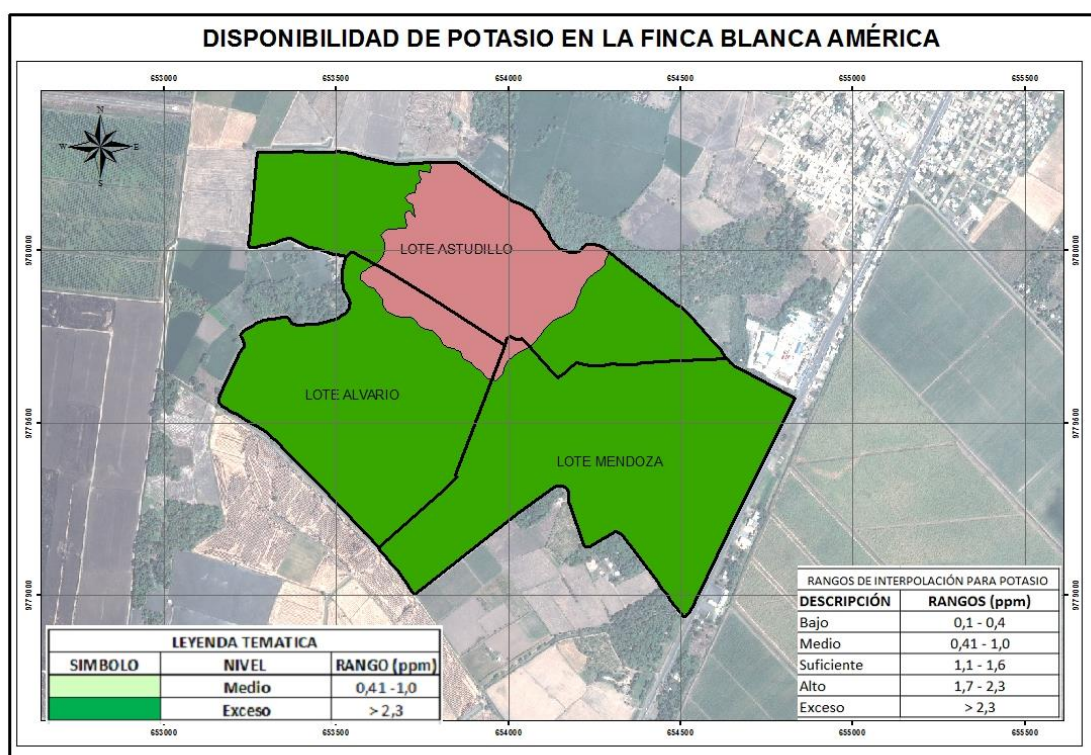
Fuente: Elaboración propia.

El elemento fósforo se encuentra en niveles altos, seguramente por una fertilización constante, la cual podría suspenderse y con nuevos análisis en futuro evaluar si se requieren nuevas aplicaciones de fertilizante para evitar bajones en la disponibilidad de este importante elemento.

5.7.1.3 Potasio K

El potasio (k) es uno de los macronutrientes esenciales más importantes que permiten el funcionamiento de sistemas agropecuarios. Cumple funciones vitales en la fisiología vegetal y por lo tanto su deficiencia origina importantes desgastes en el rendimiento y/o calidad de los cultivos (Bertha, 2003).

Figura 59. Disponibilidad de potasio de acuerdo con el análisis de suelos



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Estadística general para Potasio (K) de la Finca Blanca América

NIVEL	SUPERFICIE (ha)	SUPERFICIE (%)
MEDIO	105,28	81,45
EXCESO	23,98	18,55
TOTAL	129,26	100,00

Fuente: Elaboración propia.

El Potasio se encuentran en altas cantidades, pero entre ellos desbalanceados, siempre se requiere que estén en una relación aproximada de Ca-Mg-K de 70-20-10, pero en este caso el elemento Potasio se encuentra bajo de esta relación, es de decir, que a pesar de existir altas cantidades son dominadas por los cationes Calcio, lo que crea una aparente deficiencia de K, por lo que es necesario aplicar K para suplir esa deficiencia.

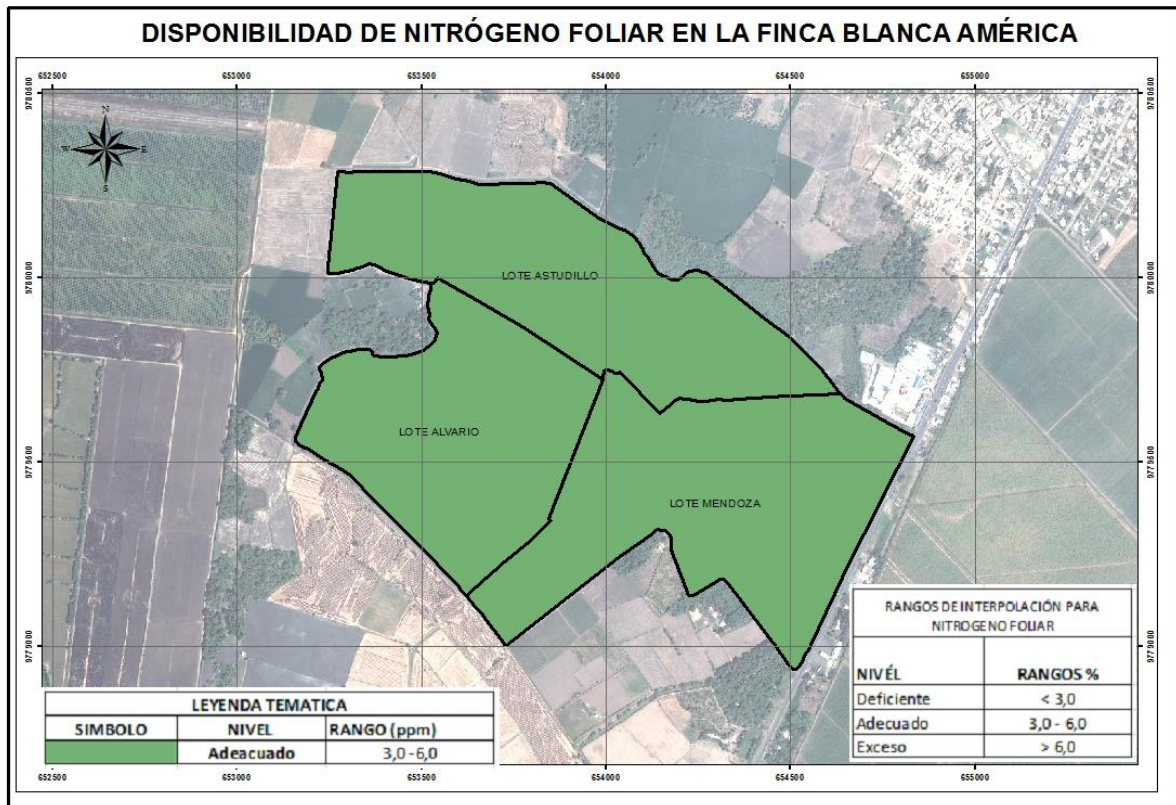
5.8 Disponibilidad de elementos en muestras de análisis foliares.

De igual manera con los reportes de laboratorio para muestras foliares y con el propósito de contrarrestar con los índices de vegetación obtenidos se generó los mapas de interpolación para Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K)

5.8.1.1 Nitrógeno foliar

Interpretado los resultados de laboratorio para muestras foliares y generado el mapa para el contenido de Nitrógeno, se determinó que el contenido de este elemento en las hojas es adecuado lo cual se vio evidenciado en el follaje del cultivo.

Figura 60. Disponibilidad de nitrógeno de acuerdo con el análisis foliar



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Estadística general para nitrógeno foliar de la finca Blanca América

NIVEL	SUPERFICIE (ha)	SUPERFICIE (%)
ADECUADO	129,26	100,00
TOTAL	129,26	100,00

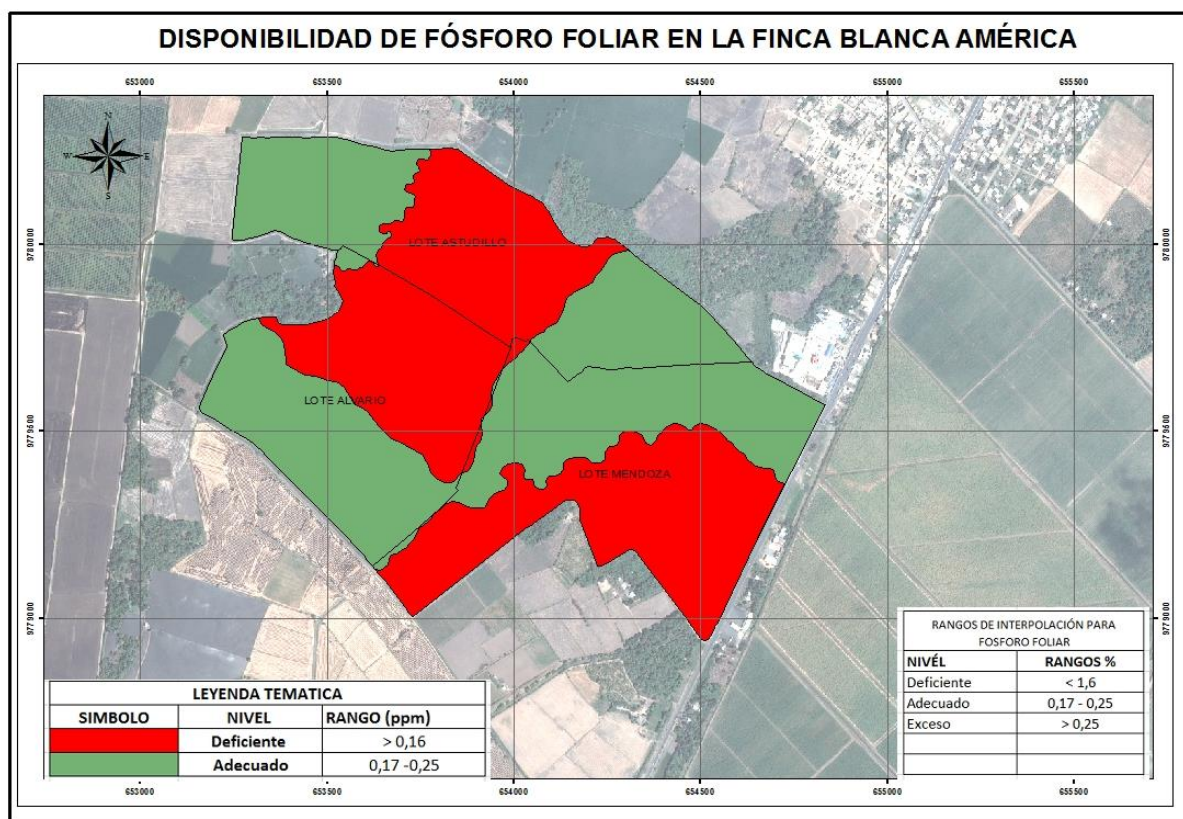


Foto N° 6 Nitrógeno en el cultivo de banano
Fuente: Lizeth Tipantuña, 2017

5.8.1.2 Fósforo foliar

Interpretado los resultados de laboratorio para muestras foliares y generado el mapa para el contenido de Fosforo, se determinó que existen zonas en el que el contenido de este elemento es deficiente, para lo cual es necesario incorporar este elemento al cultivo con el propósito que la deficiencia de este elemento pueda producir un crecimiento inadecuado de la parte foliar e incluso un decrecimiento de la masa radicular de la planta.

Figura 61. Disponibilidad de fósforo de acuerdo con el análisis foliar en la finca Blanca América



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Estadística general para fósforo (P) de la Finca Blanca América

NIVEL	SUPERFICIE (ha)	SUPERFICIE (%)
ADECUADO	61,24	55,03
DEFICIENTE	60,02	44,97
TOTAL	129.26	100.00



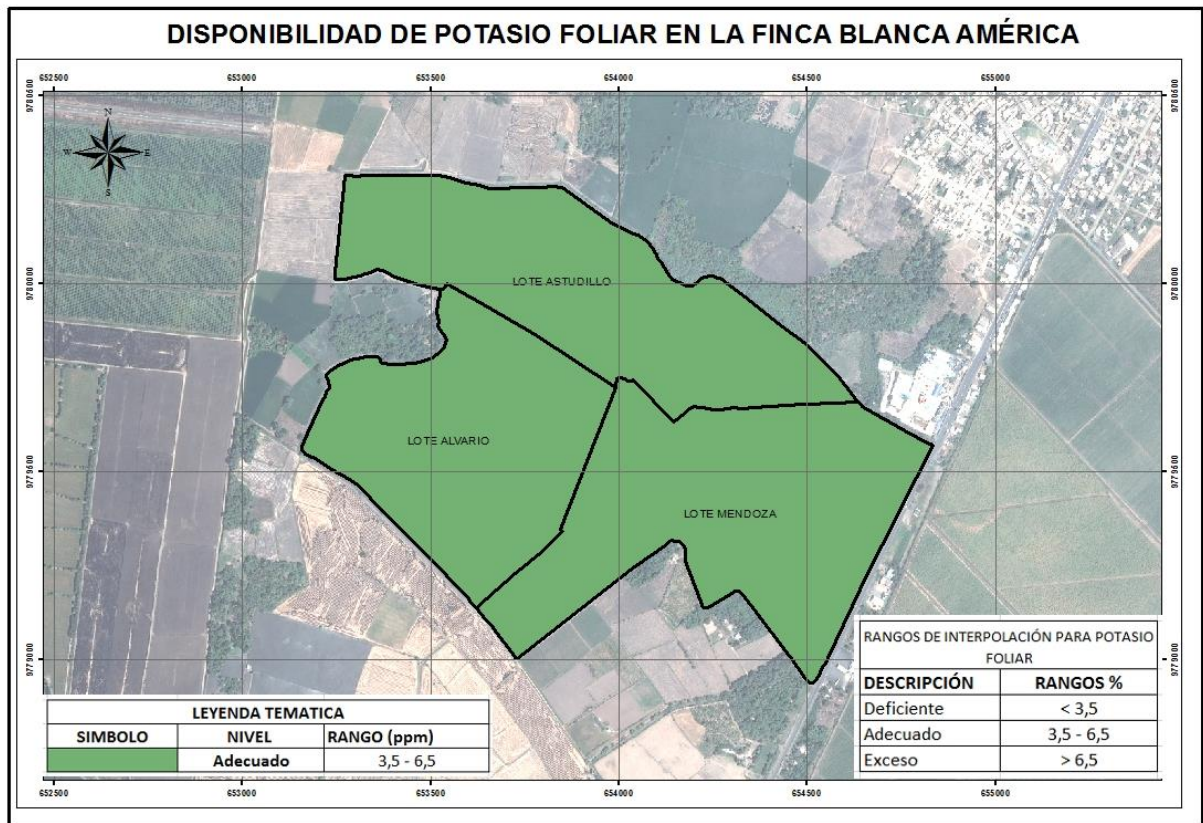
Foto N°7 Deficiencia de Fósforo en la hoja
Fuente: Lizeth Tipantuña, 2017

Los síntomas de deficiencia de P en banano se caracterizan por provocar una necrosis marginal en el borde de las hojas.

5.8.1.3 Potasio foliar

Interpretado los resultados de laboratorio para muestras foliares y generado el mapa para el contenido de potasio, se determinó que el contenido de este elemento en las hojas es adecuado lo cual se vio evidenciado en el follaje del cultivo.

Figura 62. Disponibilidad de potasio de acuerdo con el análisis foliar



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Estadística general para Potasio (K) de la Finca Blanca América

NIVEL	SUPERFICIE (ha)	SUPERFICIE (%)
ADECUADO	129,26	100,00
TOTAL	129,26	100,00



Foto N°8 Potasio adecuado en la hoja
Fuente: Lizeth Tipantuña, 2017

Además, con la información reportada por el laboratorio se generó mapas de Fertilidad los cuales sirvieron para contrarrestar con la información obtenida de la generación de los diferentes índices de vegetación.

5.9 Validación de la información reportada para muestras foliares y muestras de suelo y su correlación con la respuesta espectral de la planta.

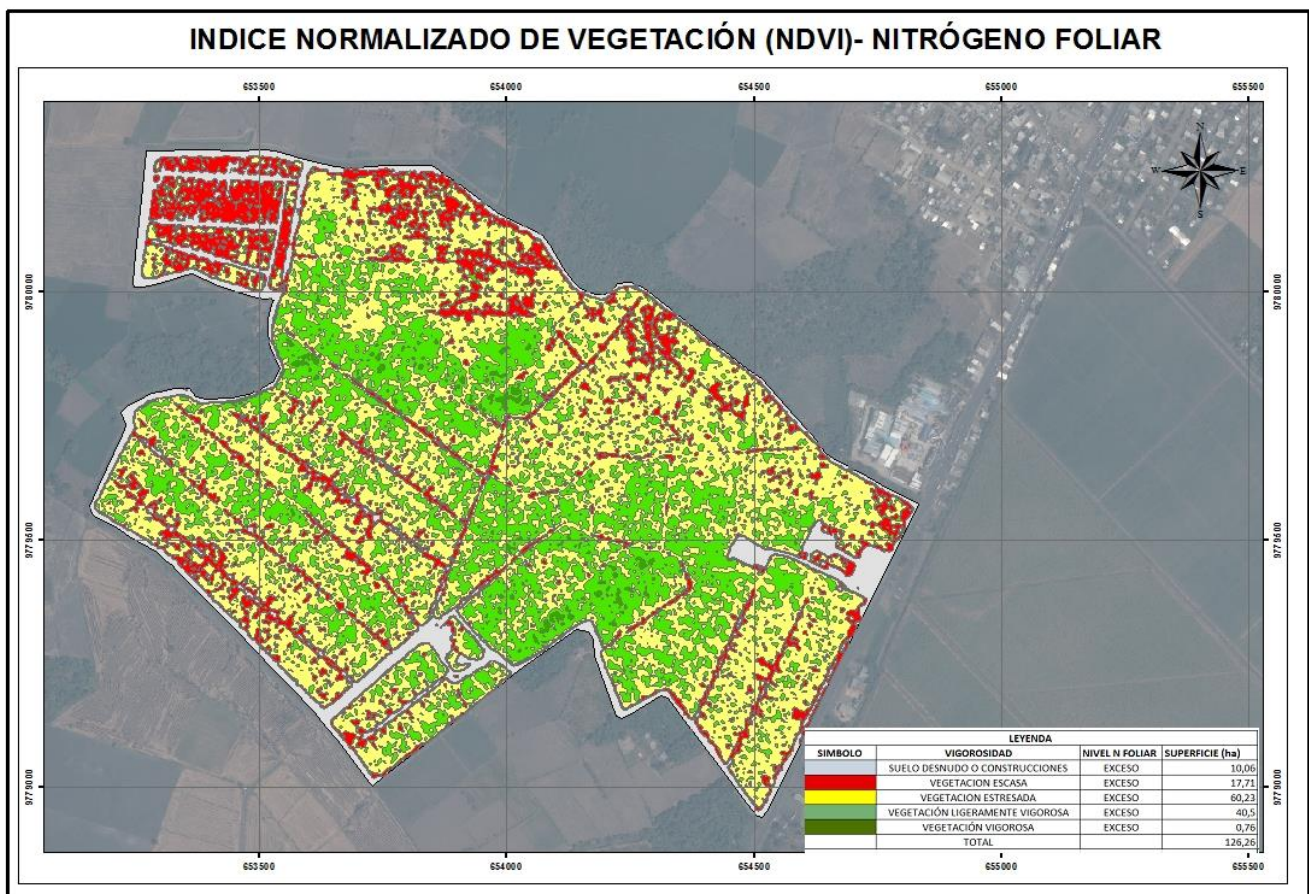
Las plantas dependen de los nutrientes del suelo para crecer. Ellas combinan el aire con productos que sintetizan la energía del sol y con los elementos que el suelo provee. Los elementos que necesitan son numerosos, los más importantes son nitrógeno(N), fósforo (P) y potasio (K). Siendo estos elementos primarios (Ronen,20058)(Ver tabla 12).

Tabla 12: Principales funciones de los nutrientes de las plantas

Nutriente	Función
Nitrógeno (N)	Síntesis de proteínas (crecimiento y rendimiento).
Fósforo (P)	División celular y formación de estructuras energéticas.
Potasio (K)	Transporte de azúcares, control de estomas, cofactor de diversas enzimas, reduce la susceptibilidad a enfermedades de las plantas

Fuente: Ronen,2005

Figura 63: Índice normalizada de vegetación más nitrógeno foliar

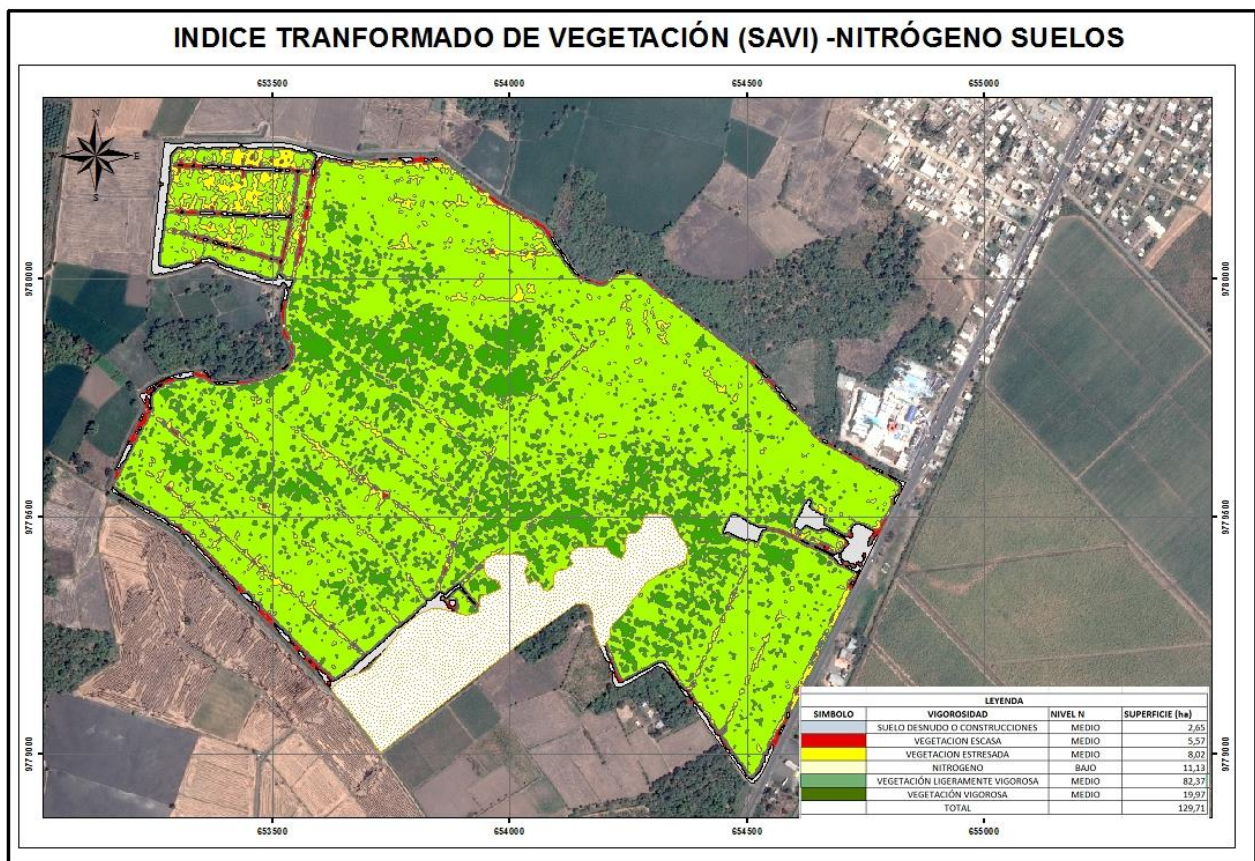


Fuente: Elaboración propia.

El nitrógeno está considerado como uno de los elementos más significativo para el desarrollo del cultivo del banano. Sólo es superado por el potasio en cuanto a la cantidad necesaria para el crecimiento del cultivo.

El nitrógeno muestra un cultivo bien nutrido el cual se presenta de color verde en la vegetación vigorosa y ligeramente vigorosa, además se evidencia que el crecimiento de las plantas es adecuado, el tamaño del racimo está dentro de las normas de calidad y además favorece el crecimiento de los hijos, sin embargo existen otros factores que condicionan el manejo del cultivo que son importantes, fue factible evidenciar problemas de exceso de humedad en épocas lluviosa, generándose así el color amarillento de las hojas debido a la disminución de la clorofila y presentando en la figura 63 una vegetación estresada y escasa.

Figura 64: Índice transformado de vegetación más nitrógeno en el suelo

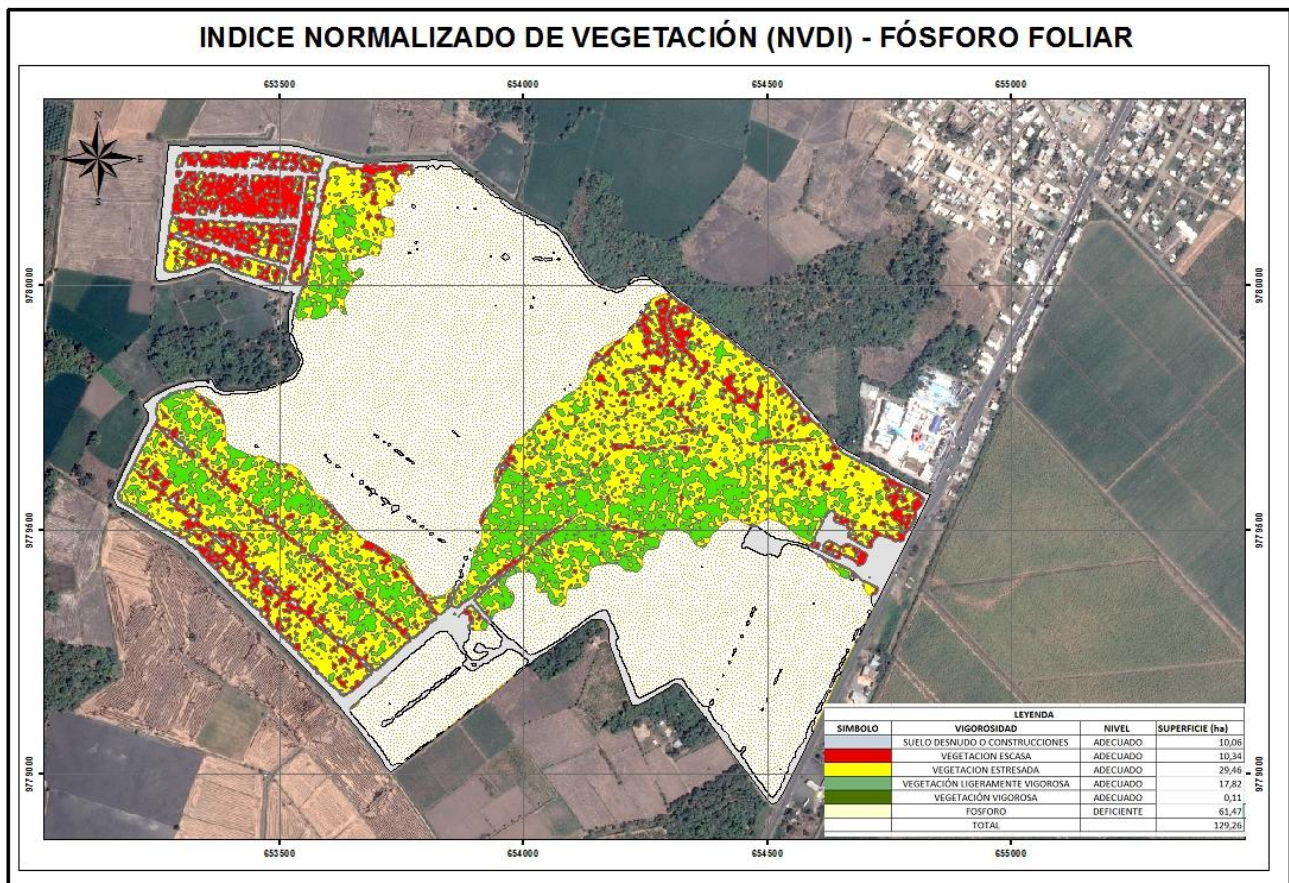


Fuente: Elaboración propia.

Las cantidades de Nitrógeno (N) presentes en el suelo están controladas por las condiciones climáticas, la vegetación, la topografía, las actividades humanas y el tiempo en que estos factores han actuado sobre el suelo (Fassbender, 1982).

La cantidad de Nitrógeno en el suelo en la finca es medio, pero existe una parte de la finca con 11,13 ha que muestra que la cantidad de nitrógeno es baja. El motivo de este bajo nutriente en esta parte de la finca es porque antes se la utilizaba como cultivo de arroz, esto ha generado un exceso de agua en esta zona. Por esta razón, se debe suplir este nutrimento con regularidad.

Figura 65: Índice normalizada de vegetación más fosforo foliar



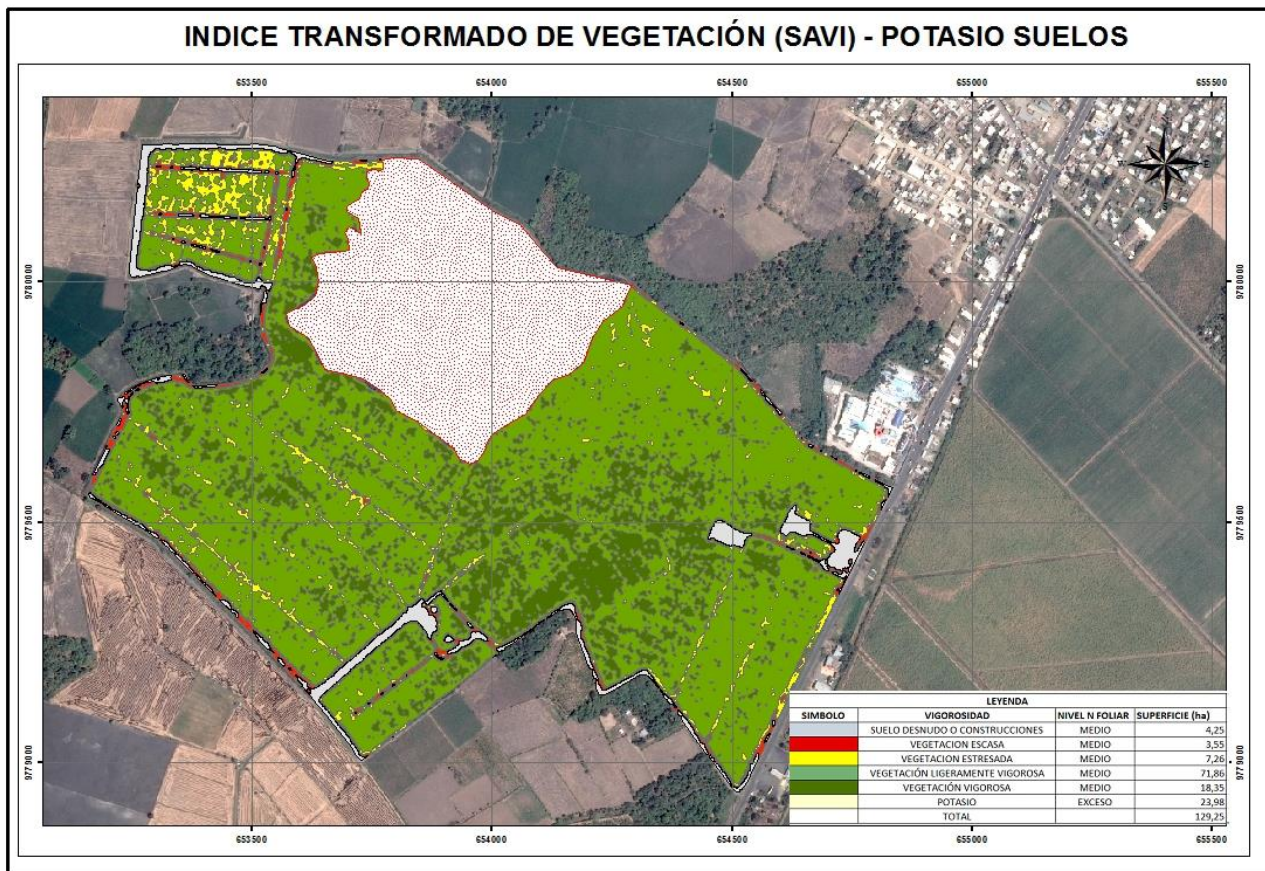
Fuente: Elaboración propia.

El banano no requiere grandes cantidades de fósforo, posiblemente debido a su movilidad y capacidad de reutilización dentro de la planta, si bien la fertilización con fósforo tiene efectos positivos sobre la producción. La capacidad que presenta el cultivo de asociarse con hongos (micorrizas), le confiere una mayor absorción de dicho nutriente (Lahav y Tumer ,1992).

El fósforo se encuentra deficiente en 65 ha de la finca, los otras 61,24 ha se encuentran el fósforo adecuado, dentro de los 65,0 ha de la finca se encuentran algunas plantas con clorosis en sus bordes, además que se manifiesta un crecimiento lento y plantas pequeñas que presentan un color verde oscuro con hojas viejas mostrando una pigmentación amarillenta.

Es decir, donde se muestra el fósforo bajo se muestra una vegetación ligeramente vigorosa y estresada.

Figura 66: Índice transformado de vegetación más potasio en suelos



Fuente: Elaboración propia.

El potasio es un elemento clave en la nutrición del banano. Según Lahav & Tumer (1992), su efecto sobre el cultivo es ejercer efectos positivos sobre la calidad de la fruta y la producción.

La importancia de la nutrición potásica en el desarrollo del banano ha sido puesta de manifiesto en numerosos trabajos de investigación en los que se ha comprobado que las más altas concentraciones de potasio en las hojas corresponden siempre a las plantas más productivas, independientemente del nivel máximo de potasio observado en cada caso Lahav & Tumer (1992).

El exceso de potasio se muestra en 23,98 ha, lo que demuestra que en este lugar existe vegetación estresada y ligeramente vigorosa, además que el exceso también ha causado una leve clorosis en el borde de sus hojas, lo cual se evidencio en la visita de campo.

5.10 Cálculo de los análisis de correlación entre las características químicas de análisis del suelo foliares y los índices de vegetación.

El análisis estadístico me permito relacionar dos variables, con el fin de predecir valores en función de otra variable, cuantificando previamente en términos de correlación lineal de Pearson.

El análisis de correlación es un grupo de técnicas estadísticas usadas para medir la fuerza de las relaciones entre variables, para ello obtendremos.

Diagrama de dispersión: En el que representaremos gráficamente la relación entre dos variables.

Coefficiente de correlación de Pearson que nos dio la medida de intensidad de la relación lineal entre dos variables, este índice se calcula en función de la covarianza de las dos variables y de la desviación típica de cada una de las variables.

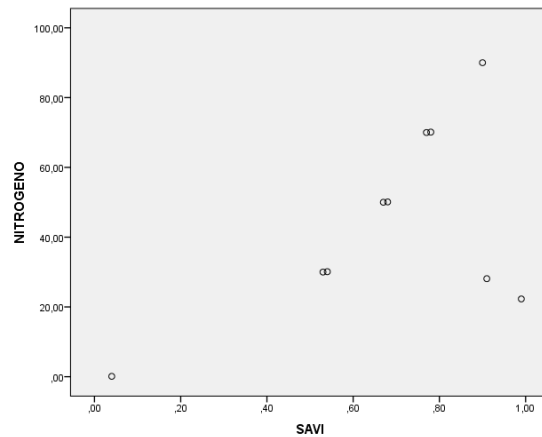
5.10.1 Correlación entre Nitrógeno Suelo y SAVI

Tabla de valores

(N) NITROGENO SUELO	SAVI
0,1	0,04
30	0,53
30,1	0,54
50	0,67
50,1	0,68
70	0,77
70,1	0,78
90	0,9
28,1	0,91
22,3	0,99

Gráfico de correlación

Nitrógeno Suelo – SAVI



Correlaciones

		NITROGENO	SAVI
NITROGENO	Correlación de Pearson	1	,555
	Sig. (bilateral)		,096
	N	10	10
SAVI	Correlación de Pearson	,555	1
	Sig. (bilateral)	,096	
	N	10	10

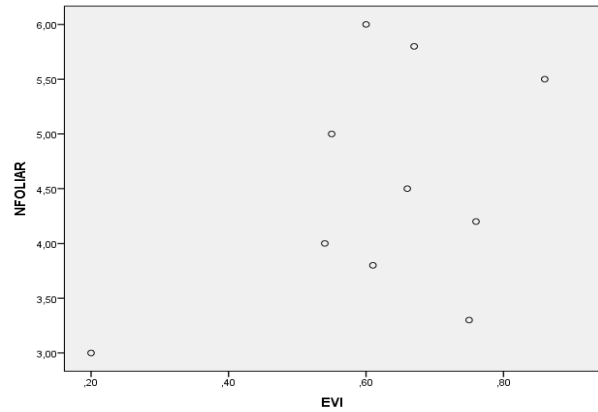
Conclusión: De acuerdo al cálculo en SPSS el p valor es de 0,096 > 0,05 por lo tanto aceptamos la hipótesis Nula y rechazamos la hipótesis H_1 ; decimos QUE NO EXISTE CORRELACIÓN ENTRE EL (N) NITROGENO SUELO Y EL SAVI.

5.10.2 Correlación entre Nitrógeno Foliar y EVI

Tabla de valores

(N) NITROGENO FOLIAR	EVI
3,0	0,2
4,0	0,54
5,0	0,55
6,0	0,6
3,8	0,61
4,5	0,66
5,8	0,67
3,3	0,75
4,2	0,76
5,5	0,86

Gráfico de correlación
Nitrógeno foliar- EVI



Correlaciones

	NITROGFO	EVI
NITROGFO	Correlación de Pearson	1
	Sig. (bilateral)	,213
	N	10
EVI	Correlación de Pearson	,431
	Sig. (bilateral)	,213
	N	10

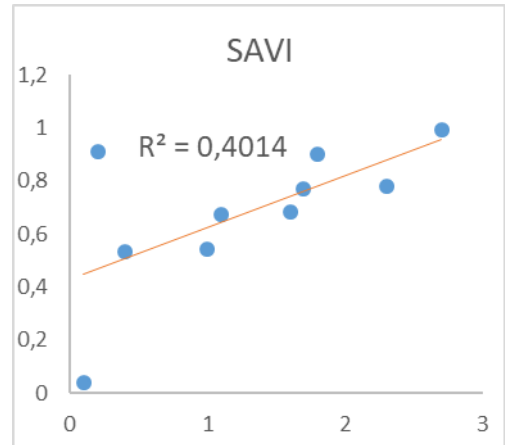
Conclusión: De acuerdo a la tabla de correlaciones con SPSS el p valor es de 0,213 > 0,05 por lo tanto aceptamos la hipótesis Nula y rechazamos la hipótesis H_1 ; decimos que NO EXISTE CORRELACIÓN ENTRE EL (N) NITRÓGENO FOLIAR Y EVI.

5.10.3 Correlación entre Potasio Suelo y SAVI

Tabla de valores

(K) POTASIO SUELO	SAVI
0,1	0,04
0,4	0,53
1	0,54
1,1	0,67
1,6	0,68
1,7	0,77
2,3	0,78
1,8	0,9
0,2	0,91
2,7	0,99

Gráfico de correlación
Potasio Suelo - SAVI



Correlaciones

	POTASIO	SAVI
Correlación de Pearson	1	,634*
POTASIO Sig. (bilateral)		,049
N	10	10
Correlación de Pearson	,634*	1
SAVI Sig. (bilateral)	,049	
N	10	10

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

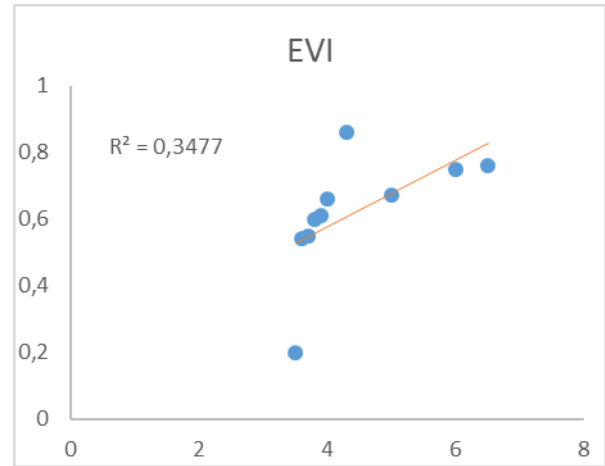
Conclusión: De acuerdo a la tabla de correlaciones con SPSS el p valor es de 0,049 < 0,05 por lo tanto rechazamos la hipótesis Nula y aceptamos la hipótesis H_1 ; decimos que EXISTE CORRELACIÓN ENTRE (K) POTASIO SUELO Y EL SAVI.

5.10.4 Correlación entre Potasio foliar y EVI

Tabla de valores

(K) POTASIO FOLIAR	EVI
3,5	0,2
3,6	0,54
3,7	0,55
3,8	0,6
3,9	0,61
4	0,66
5	0,67
6	0,75
6,5	0,76
4,3	0,86

Gráfico de correlación
Potasio Foliar - EVI



Correlaciones

		KFOLIAR	EVI
KFOLIAR	Correlación de Pearson	1	,590
	Sig. (bilateral)		,073
	N	10	10
EVI	Correlación de Pearson	,590	1
	Sig. (bilateral)	,073	
	N	10	10

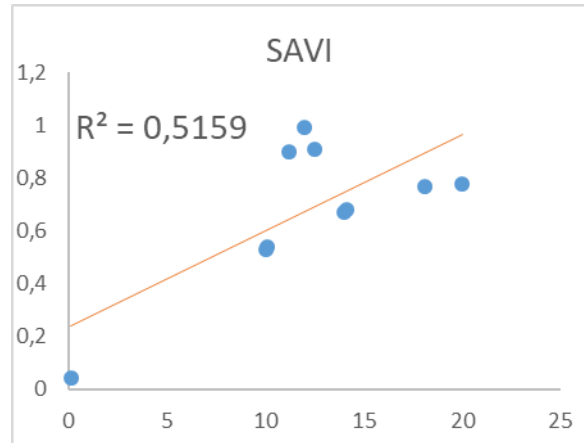
Conclusión: De acuerdo a la tabla de correlaciones con SPSS el p valor es de 0,073 > 0,05 por lo tanto aceptamos la hipótesis Nula y aceptamos la hipótesis H_1 ; decimos que NO EXISTE CORRELACIÓN ENTRE EL (K) POTASIO FOLIAR Y EL EVI.

5.10.5 Correlación entre Fósforo Suelo y EVI

Tabla de valores

(P) FOSFORO SUELO	SAVI
0,1	0,04
10	0,53
10,1	0,54
14	0,67
14,1	0,68
18,1	0,77
20	0,78
11,2	0,9
12,5	0,91
12	0,99

Gráfico de correlación
Fósforo Suelo y EVI



Correlaciones

	PSUELO	SAVI
Correlación de Pearson	1	,718*
Sig. (bilateral)		,019
N	10	10
Correlación de Pearson	,718*	1
Sig. (bilateral)	,019	
N	10	10

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

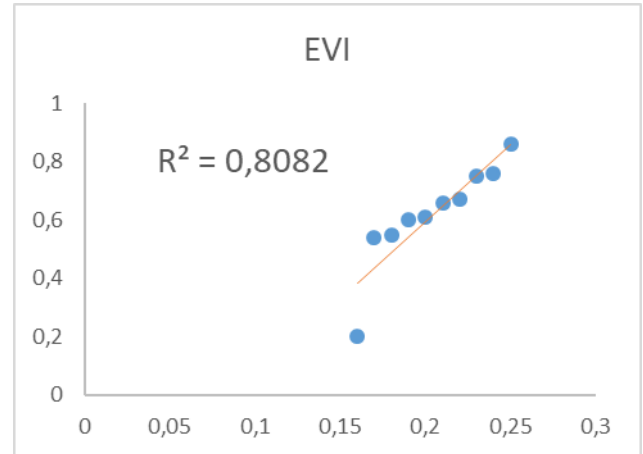
Conclusión: De acuerdo a la tabla de correlaciones con SPSS el p valor es de $0,019 < 0,05$ por lo tanto rechazamos la hipótesis Nula y aceptamos la hipótesis H_1 ; decimos que EXISTE CORRELACIÓN ENTRE EL (P) FOSFORO SUELO Y EL SAVI.

5.10.6 Correlación entre Fósforo Foliar y EVI

Tabla de valores

(P) FOSFORO FOLIAR	EVI
0,16	0,2
0,17	0,54
0,18	0,55
0,19	0,6
0,2	0,61
0,21	0,66
0,22	0,67
0,23	0,75
0,24	0,76
0,25	0,86

Gráfico de correlación
Fósforo Foliar y EVI



Correlaciones

	PFOLIAR	EVI
PFOLIAR	Correlación de Pearson	1
	Sig. (bilateral)	,899**
	N	10
EVI	Correlación de Pearson	,899**
	Sig. (bilateral)	,000
	N	10

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Conclusión: De acuerdo a la tabla de correlaciones con SPSS el p valor es de $0,000 < 0,05$ por lo tanto rechazamos la hipótesis Nula y aceptamos la hipótesis H_1 ; decimos que EXISTE CORRELACIÓN DIRECTAMENTE PROPORCIONAL ENTRE EL (P) FOSFORO FOLIAR Y EL EVI.

CONCLUSIONES

Las imágenes multiespectrales son una herramienta de gran utilidad para la obtención de datos relacionados con agricultura de precisión, estas son útiles para analizar determinadas áreas de grandes extensiones de terreno y extrapolar esta información al resto de la superficie. Siendo necesaria la teledetección para estudiar grandes explotaciones agrarias. La imagen satelital Pléiades de 0,5m de resolución, proporcionada por la Compañía Consultora Agroprecisión, permitió por sus características en cuanto a resolución espacial, radiométrica y espectral, utilizarla plenamente para la generación de los diferentes algoritmos matemáticos generados en la presente investigación.

La metodología propuesta fue apropiada para la evaluación de procesos en la identificación de plagas y enfermedades, ya que se dieron resultados positivos y plantados en los objetivos antes mencionados.

Los índices de vegetación generados para el cultivo de Banano arrojaron resultados satisfactorios, en especial el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) y el Índice Mejorado de Vegetación (EVI), evidenciándose que la mejor respuesta espectral la obtuvo el Índice Mejorado de Vegetación (EVI) teniendo mejor discriminación y clasificación.

El Índice Transformado de Vegetación (SAVI), tuvo una correlación directa con respecto a los resultados obtenidos de las muestras de suelos y una vez interpolada dicha información se obtuvo los mapas correspondientes a los elementos presentes en el suelo, se observó respuestas afines entre planta y suelo.

La validación de la información reportada para muestras foliares y muestras de suelo y su correlación con la respuesta espectral de la planta fueron satisfactorias en algunos casos por ejemplo el fósforo foliar con el EVI, el fósforo Suelo con SAVI y el potasio Suelo con SAVI tiene una correlación directa.

La simple percepción o medición de los datos espectrales no es suficiente para constituirse en una metodología de análisis, para esto es necesario llevar a cabo un proceso de calibración de los datos, que consiste en relacionar los datos espectrales con la o las variables que se están estudiando.

El diseño de toma de muestras disminuyó errores al levantar la información en cada punto a muestrear, así como una planificación y especialización adecuada que abarcó toda el área de estudio conllevando a tener una información más precisa y objetiva.

La presente investigación permitió en forma práctica y efectiva, un acercamiento en el campo de enseñanza como lo son la Edafología, Climatología, Estadística, Teledetección, y los Sistemas de Información Geográfica.

RECOMENDACIONES

Utilizar la presente investigación como guía metodológica para investigaciones futuras, que busquen la caracterización de las respuestas espectrales aplicadas a los cultivos. Ya que la misma puede brindar las pautas necesarias a ser aplicadas en el campo agrícola y así brindar de alertas a los diferentes agricultores sobre sitios específicos en donde se evidencie cualquier cambio en la cubierta vegetal de un determinado cultivo

Emplear imágenes satelitales de muy alta resolución, y aplicarlas en varios campos de la investigación, como en este caso en el análisis de respuestas espectrales, y en otras ramas asociadas a estudios de cultivos es satisfactorio por los resultados obtenidos. Además, existen cultivos demasiado extensos que tiene algún tipo de daños biológicos que a simple vista no se evidencian en este caso la utilización de una imagen de alta resolución y la aplicación de índices de vegetación es una alternativa a tomar en cuenta ya que permite tener un diagnóstico actualizado del estado de la propiedad y del cultivo que se esté manejando.

Utilizar la metodología empleada en la presente investigación como una alternativa diferente a las metodologías tradicionales empleadas a estudios de análisis vegetal, en donde se pueda relacionar al campo agrícola y el campo de la Geomática, con el propósito de buscar soluciones eficientes en tiempo y recursos.

BIBLIOGRAFÍA

- Achig, L. (1991): Guías y formularios para la elaboración de diseños tesis. Cuenca, Ecuador: Instituto de Investigaciones Sociales.
- Airbus defence & Space (2016): En Boletín Informativa.
- Bosque, J.(1992): Sistemas de Información Geográfica. Madrid: Rialp.
- Cerón, C.E. W. Palacios, R. Valencia & R. Sierra. 1999. Las formaciones naturales de la Costa del Ecuador. Pp. 55-78 En: R. Sierra (ed.), Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia, Quito
- Chuvieco, E. (1996): Fundamentos de la teledetección espacial, España: Rialp.S.A., Segunda edición.
- Chuvieco, E. (2008): Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio, España: Ariel S.A, Tercera edición.
- Chuvieco, E. (2000): Fundamentos de la Teledetección Espacial, España: Rialp.S.A., Tercera edición.
- Eastman, R. (2003): IDRISI Kilimanjaro-Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Clark Labs.312 p.
- 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.
- Guo, J; Mason, P. (2009): Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing. Oxford, UK. Wiley-Blackwell.462 p.
- Henao R. 2005. Introducción a la geoestadística, Teoría y Aplicación. Universidad Nacional de Colombia. 5 – 42 p.
- Pérez, C y Muñoz, A. (2006): Teledetección Nociones y Aplicaciones. Universidad de Salamanca. 356 p. ISBN-10: 84-611- 1613-5.
- Kepner, D. &Soothill, J. (1935): The banana empire. A case study in economic imperialism, New York: Ed. The Vanguard Press.
- Lira, J. (2011): Percepción remota, Instituto de Geofísica UNAM, México, Segunda edición.

- Lobo, A. (1995): La observación remota de los ecosistemas. En “Análisis de la variabilidad espacio-temporal y procesos caóticos en ciencias ambientales”. Geofoma Ediciones. Logroño.
- Maruri, A. (2005): Índice de vegetación (NDVI) centro de información agropecuaria. Queretaro secretaria de desarrollo agropecuario.
- Méndez I., Báez G., (2009): Las bases de Datos espaciales como una nueva componente de los SIG. En: Departamento de ingeniería y Gestión de Software y práctica profesional, Habana
- Ministerio de agricultura y ganadería (2012): Mapas de fertilidad de suelos de Ecuador. Quito – Ecuador
- Oliver, M. A.; Webster, R. 1990. Kriging: A method of interpolation for geographica information systems. En: Int. J. Geogr. Inf. Syst. 4. 410 p.
- PDYOT Gad Municipal de San Jacinto de Yaguachi (2014): Avecilla Daniel.
- Rivera, G. (2007): Conceptos introductorios a la fitología. Editorial EUNED. Costa Rica, San José.
- Ronen, E, (2005).Fertilizacion Foliar .En: Otra exitosa forma de nutrir a las plantas.
- Sevilla, F.(2014): La constelación de satélites Pleiades-HR1 y 2: De la teledetección a la fotogrametría. En: INFOTERRA SGSA., Madrid ,España . libro
- Strahler, Arthur N. (1979). Geografía física. Barcelona, Omega.
- Sociedad española de fitopatología (1996): Patología vegetal. Ediciones Mundi-Prensa. ISBN 84-7114-900-1.
- Valverde, M. (2009). Sistema radicular en acción de la dinámica poblacional de en el cultivo de plátano (musa abb)., Costa rica.

Artículos científicos

- Arbelo, M. (2009): Tutorial de Teledetección.”. Revisado: 26/11/ 2016, de Página personal del Doctor Arbelo: <http://webpages.ull.es/users/marbelo/rs1.pdf>.
- Artavia, N & Araya, J (2008): Agrocadena de plátano. En: Ministerio de agricultura y ganadería.

- Baret, F., and Guyot, G. (1991): Potentials and Limits of Vegetation Indices for LAI and APAR Assessment.
- Barret, E. & Curtis, L. (1982). Introduction remote sensing. New York, En: Chapman and hall. London.
- Bertsch, F. (2003): Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 307 p.
- Brechelt, A (2004): Manejo Ecológico de Plagas y Enfermedades, En: Fundación de Agricultura y Medio Ambiente (FAMA) Primera Edición.
- Bolton, D., Friedl, M. (2007): Forecasting crop yield using remote sensed vegetation and crop phenology metrics. Agricultural and Forest Meteorology 173:74–84.
- Cevallos, T. (1989): El cultivo del banano, variedad Cavendish en el Ecuador. En: Programa Nacional del Banano. Guayaquil, Ecuador.
- Deering, D. W., Rouse, J. W., Haas, R. H., & Schell, J. A.,(1975): Measuring “Forage Production” of Grazing Units From LANDSAT MSS Data.
- FAO., (1995): Agricultura Mundial. Hacia el año 2010, En: Estimaciones de la FAO.
- FAO., (1999): Base referencial mundial del recurso suelo”, En: FAP, ISRIC Y SICS.
- Fernández, S. y Quintanilla, A. (1999): Aplicación de sensores remotos en la detección y evaluación de plagas y enfermedades en la vegetación. Avances y Aplicaciones. En: VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España.
- Garcia N. 2009. Metodología Sistema de información geoestadístico. Dane 55, Colombia. 1 – 52 p.
- Gates, M. (1990): Physical and physiological propoerties of plants. En: NATIONAL.
Gauman, W. (1984): Leaf reflectance near infrared. En: Photogrammetric Engineering and remote Sensing, 40(2): 18-192.
- Gilabert,M.,Younis, M.,Garcia, J y Melia, J. (1997): Sobre la utilización de derivadas en el análisis de datos de alta resolución espectral , En: Teledetección: usos y aplicaciones .407-414.
- Gil Martínez, F. (1995): Elementos de Fisiología Vegetal. Ed. Mundi - Prensa, Madrid.

- Hoffer, R.(1982): Spectral characteristics of natural resource materials. En: purdue university. Lars. Remote sensing technology and applications. Lafayette. (short courseoutline.
- Holzman, M., Rivas, R., Piccolo, M. (2013). Estimating soil moisture and the relationship with crop yield using surface temperature and vegetation index. Intern Journal of Applied Earth Observation and Geoformation, 28:181–192.
- Huete A.R., Liu, H.Q., Batchily, K., van Leeuwen, W. (1997): A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment, 59, 440-451,
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, (2017): Mapa de Isoyetas anual 2011.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, (2017): Mapa de Isotermas anual 2011.
- Jackon, R., Later, P., & Pinter, P. (1983): discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. En: Remote sensing of environment.13:187-208
- Knipling, E., Lambeck, F. & Crist, P. (1980): Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near infrared radiation from vegetation. En: remote sensing of environment, 1(3): 155-159.
- Lehrer, A., Moore, P., Komor, E. (2007). Impact of sugarcane yellow leaf virus (scylv) on the carbohydrate status of sugarcane: comparison of virus- free plants with symptomatic and asymptomatic virus-infected plants. Physiological and Molecular Plant Pathology, 70:180–188.
- Murtha, A. (1987): Remote sensing and vegetation Damage. En: theory for detection and assessment. photogrammetric engineering and remote sensing. 44(7): 1147-1158.
- Ochse, J. Soule, M. (1986): Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales. Volumen 1. México: Editorial Limusa.
- Perry, R & Lautenschlager, F. (1984): Functional equivalence of spectral vegetation indices. En: remote sensing of enviroment,14: 169-182.
- Puricht, S. (1981): Nonvisual remote sensing of trees affected by stress En: Victoria, C. Canadian forestry service. Pacific forest research center.

- Richardson, J., & Wiegand, L., (1977): Distinguishing vegetation from soil background information, En: photogrammetric engineering and remote sensing.
- Rouse, j., Hass, R., Schell, J., Deering, D y Harlan, J. (1974): Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. En: oreenbello md.
- Sánchez Torres J., Mira Castillo J. (2013): Principios para la nutrición del banano. AUGURA, CENIBANANO. Colombia.
- SICA. (2008): “El cultivo del banano”. En: Sica.gov.ec. Revisado: http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/Ing%20Rizzo/perfiles_productos/banano.pdf.
- Swain, H. & Davi, M. (1988): Remote sensing to quantitative approach. west lafayette, En: Mac Graw Hill.
- Surface Energy Balance Algorithms for Land, US (SEBAL), (2002): Advanced Training and User’s Manual. 97 p.
- Sellers, P.J. (1985): Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. En: International Journal of Remote Sensing, 6:1335-1372.
- Torres J., Sanchez J., Cayon G., Magnitsky S., Darghan A. 2014. Acumulación de materia seca y contenido de nitrógeno en banano “Williams” (Musa AAA) en Urabá, Colombia. Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia.
- Tucker, C. (1977): Resolution of grass canopy biomass classes En: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43:1059-67.
- Tucker, C. (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. En: Remote Sensing of Environment, 8:127-50.
- Universidad de Alcalá. (2001): Departamento de Geografía, Índices Espectrales, Disponible en Internet en: <http://www.geogra.uah.es/emilio/pdf/transformaciones.pdf>

Revistas Científicas

- Alcaraz,D., Baldi, G., Durante, P., & Garbulsky, M. (2008). Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales , temporales ,y de gestión . *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*. 108 -117

- Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador. AEBE (2016): Análisis Sectorial. En: Pro Ecuador Análisis del Sector Bananero, 1, 5 – 9.
- Asociación de exportadores de banano del Ecuador. AEBE (2013): Dirección de Inteligencia Comercial e inversiones Banano. En: Pro Ecuador Análisis del Sector Bananero, 1 , 4-10
- Chiesi, M; Maselli, F; Bindi, M; Fibbi, L; Cherubini, P; Arlotta, E; Tirone, G; Matteucci, G; Seufert, G.(2005): Modelling carbon budget of Mediterranean forests using ground and remote sensing measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 135:22-34.
- Fernández de Sevilla.T (2008): La constelación de satélites Pleiades-HR1 y 2: De la teledetección a la fotogrametría. En: INFOTERRA SGSA. Paseo de la Castellana Madrid. España.
- Glenn E. P., Huete A. R., Nagler P. L., Nelson S. G. (2008): Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors*, 8, 2136-2160
- Guerschman, J. Paruelo, J., Di Bella, C., Giallorenzi, M., Pacin, F. (2002): Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data. En: *Remote Sensing*, 24(17):3381-402.
- Jensen. R., (1983): Biophysical Remote Sensing. En: *Annals of the Associations Of American Geographers*. 1, 111-132.
- Lahav E & Turner (1992): Fertilización del banana para rendimientos altos. 2da Ed. Boletín N°7. Instituto de la Potasa y el Fósforo . Quito, Ecuador .71 p.
- Lhermitte, S; Verbesselt, J; Jonckheere, I; Nackaerts, K; Van Aardt, J.A.N; Verstraeten, W.W; Coppin, P.(2008): Hierarchical image segmentation based on similarity of NDVI time series. En: *Remote Sensing of Environment*, 112:506-521.
- Moulin, S; Zurita, R; Guérif, M; Baret, F. (2003): Characterizing the spatial and temporal variability of biophysical variables of what crop using hyper-spectral measurements. En: *International Geoscience and remote sensing Symposium*. Toulouse, Francia.
- Nichols, S. (2007): Lectures Notes GGE Recruitment, En: Department of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick. Canadá.

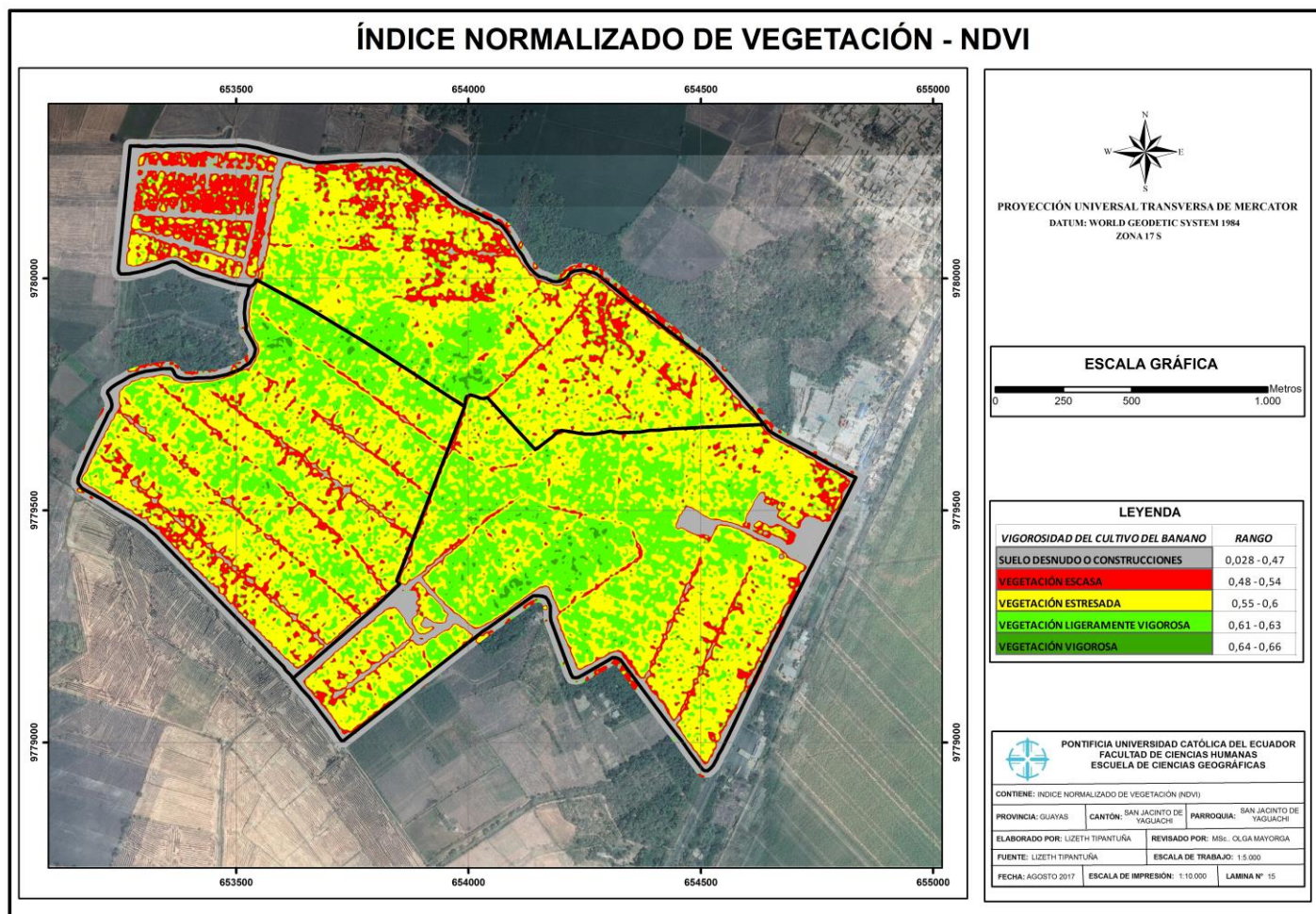
- Seyler, F., Chaplot, V., Muller, F., Cerri, C. E. P., Bernoux, M., Ballester, V., Feller, C., Cerri, C. (2002): Pasture mapping by classification of Landsat TM images. Analysis of the spectral behaviour of the pasture class in a real medium-scale environment.
- Schowengerdt, R. 2007. Remote Sensing-Models and Methods for Image Processing. 3 ed. California, US, Academic Press. 558 p.
- Steven M. de Jong; Freek D. Van der Meer. 2004. Remote Sensing Image Analysis. California, US, Springer. 370 p.
- Zhang, C; Jordan, C; Higgins, A. (2007): Using neighbourhood statistics and GIS to quantify and visualize spatial variation in geochemical variables: An example using Ni concentrations in the topsoils of Northern Ireland. *Geoderma*, 13:466-476.

Páginas Web

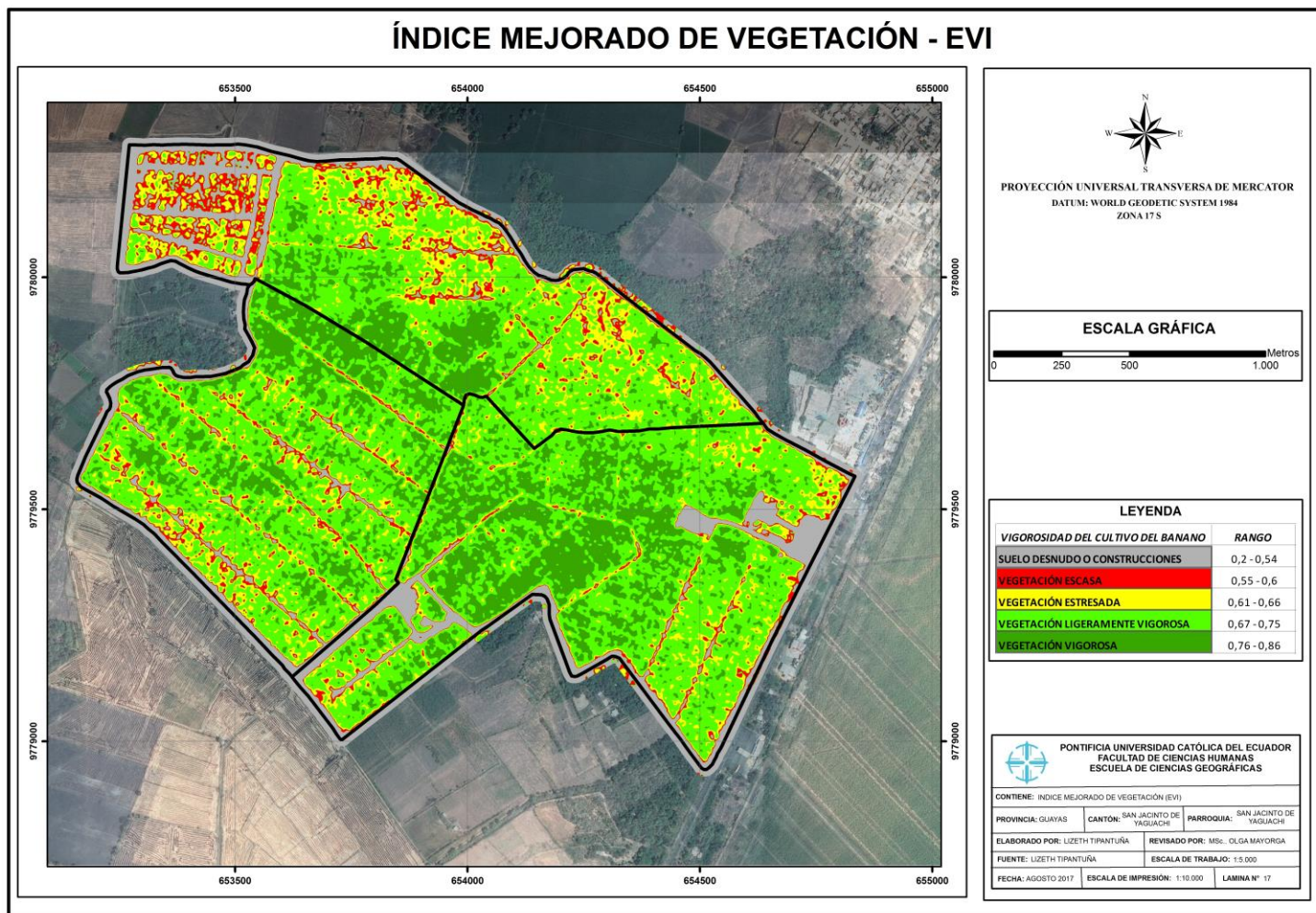
- Andrade, E. (2013). *Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro*. Disponibilidad en: Agrocalidad: <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2014/10/Gui%CC%81a-BPA-Bananoeditada.pdf>
- Díaz, D. (2011): *EL PLATANO*, Disponible en: Internet www.latano-20.blogspot.com. Disponible en Internet: <http://www.latano-20.blogspot.com> Rev.: 11 de mayo de 2016.
- Fassbender, 1982 Requerimientos nutricionales del cultivo de banano – Nitrógeno. Disponible en: [http://www.inpofos.org/ppiweb/ltamn.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/18ca6d5aa3f0f8e05256c70006b6337/\\$FILE/Requerimientos%20nutricionales%20de%20banano%20-%20Nitr%C3%B3geno.pdf](http://www.inpofos.org/ppiweb/ltamn.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/18ca6d5aa3f0f8e05256c70006b6337/$FILE/Requerimientos%20nutricionales%20de%20banano%20-%20Nitr%C3%B3geno.pdf). Rev: 11 de julio del 2017.
- Hernández, E (2015). Uso del NDVI para Determinar Impactos Ambientales en la Vegetación Ocasionados por la Intervención del Hombre Mediante Técnicas de Percepción Remota. Universidad Nacional autónoma de México.
- Hernández, J & Montaner, D (2009). Patrones de respuesta espectral, En: *Lab. Geomántica y ecología de paisajes*, Facultad de ciencias Forestales. Universidad de Chile.

- Lamolda, H (2008). Estudio de la influencia de las correcciones a imágenes landsat etm+ en la obtención de propiedades de cubiertas vegetales. Universidad Politécnica de Madrid escuela técnica superior de ingenieros en topografía, geodesia y cartografía. Madrid.
- Muñoz, P. (2013): Agroclimático, Índices de vegetación. Geógrafo. CIREN. Rev.02/05/2015 En:<http://agroclimatico.minagri.gob.cl/wp-content/uploads/sites/26/2015/05/Indices-de-vegetaci%C3%B3n-Pedro-Mu%C3%B1oz.pdf>
- Naturaleza Botánica. (2010): PLATANO, Disponible en: botanica.blogspot.com/platano.html visitado 02/12/201 Plátano (Barraganete) - Dissuppcorp S.A.
- Rodriguez, J. 2005. Congreso Nacional de Teledetección, Puerto de la Cruz. España Tenerife. 4-10 p, Internet, Consultado el 23 de Julio de 2012.
- Sotomayor, I. (2016): Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, En: Programas y Servicios, Banano, plátano y otras musáceas. Rev. 01.04.2016 En: <http://www.iniap.gob.ec/web/banano-platano-y-otras-musaceas/>.
- Telesat (1999), Sistema para el seguimiento y análisis de tierra mediante la teledetección. En: Facultad de Agronomía e Ingeniera Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Universidad de Alcalá.(2001): Índices Espectrales, En: Departamento de Geografía Disponible en Internet : <http://www.geogra.uah.es/emilio/pdf/transformaciones.pdf> Rev: 02 de abril 2016

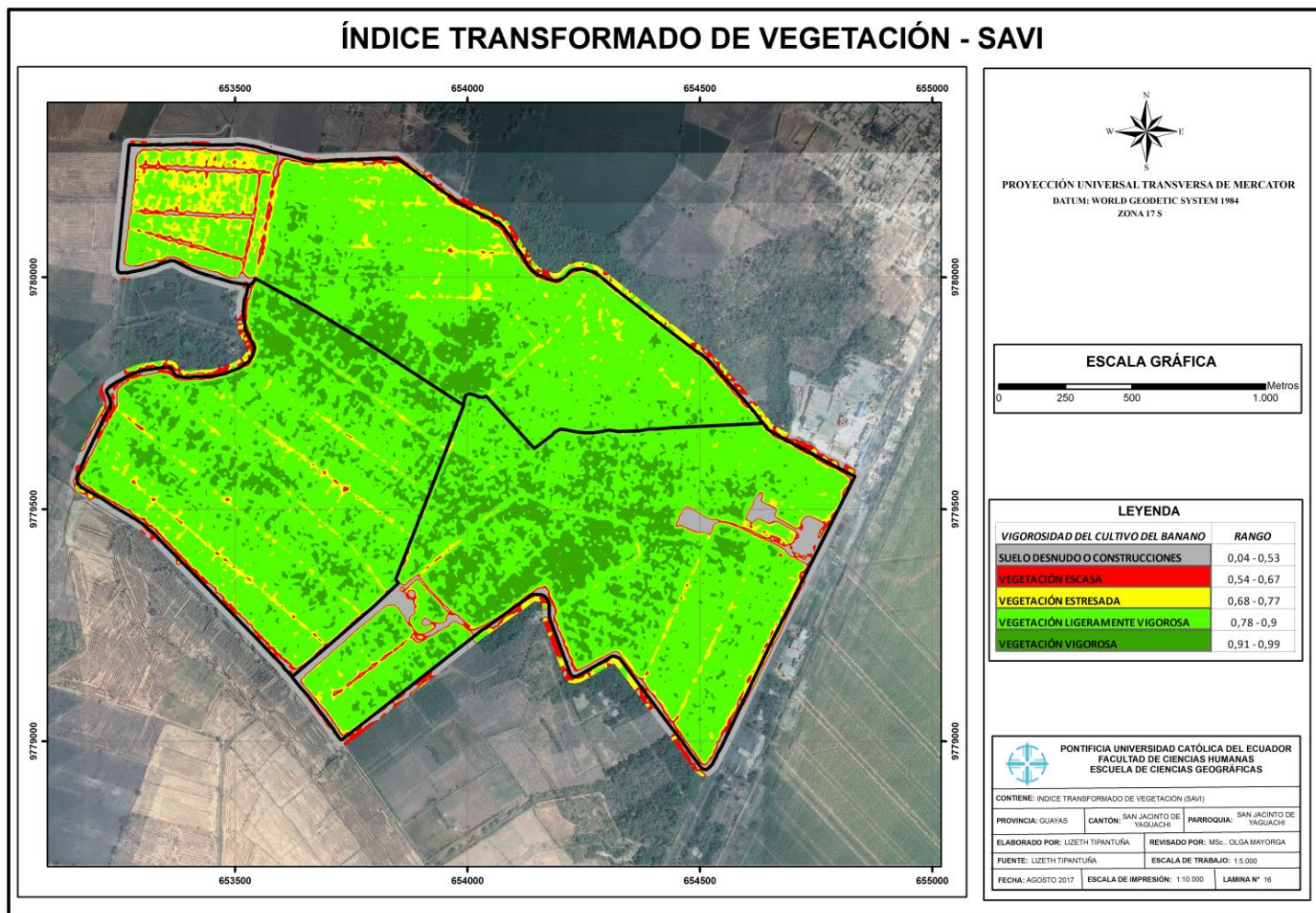
ANEXO 1. Índice normalizado de vegetación.



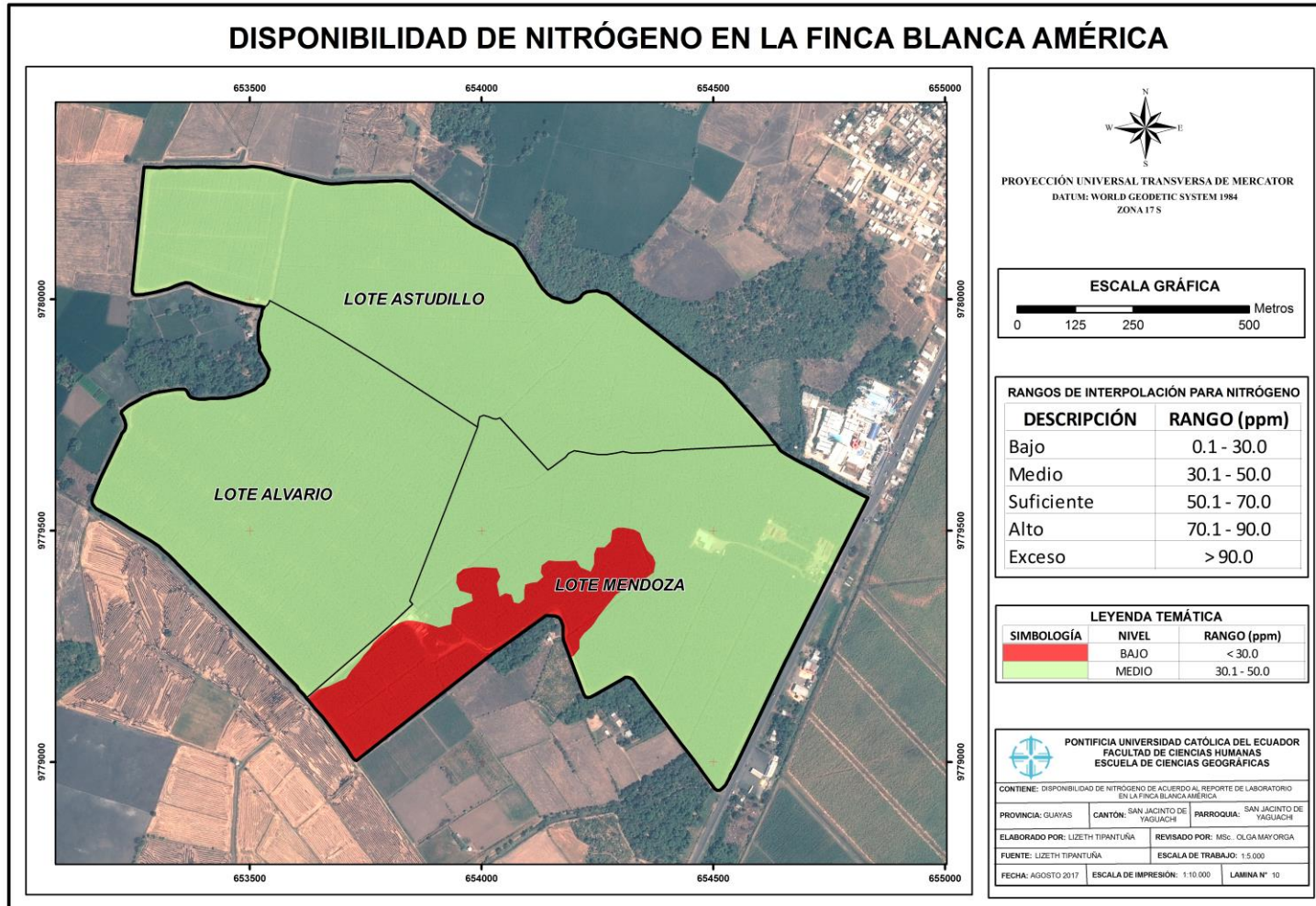
ANEXO 2. Índice mejorado de vegetación



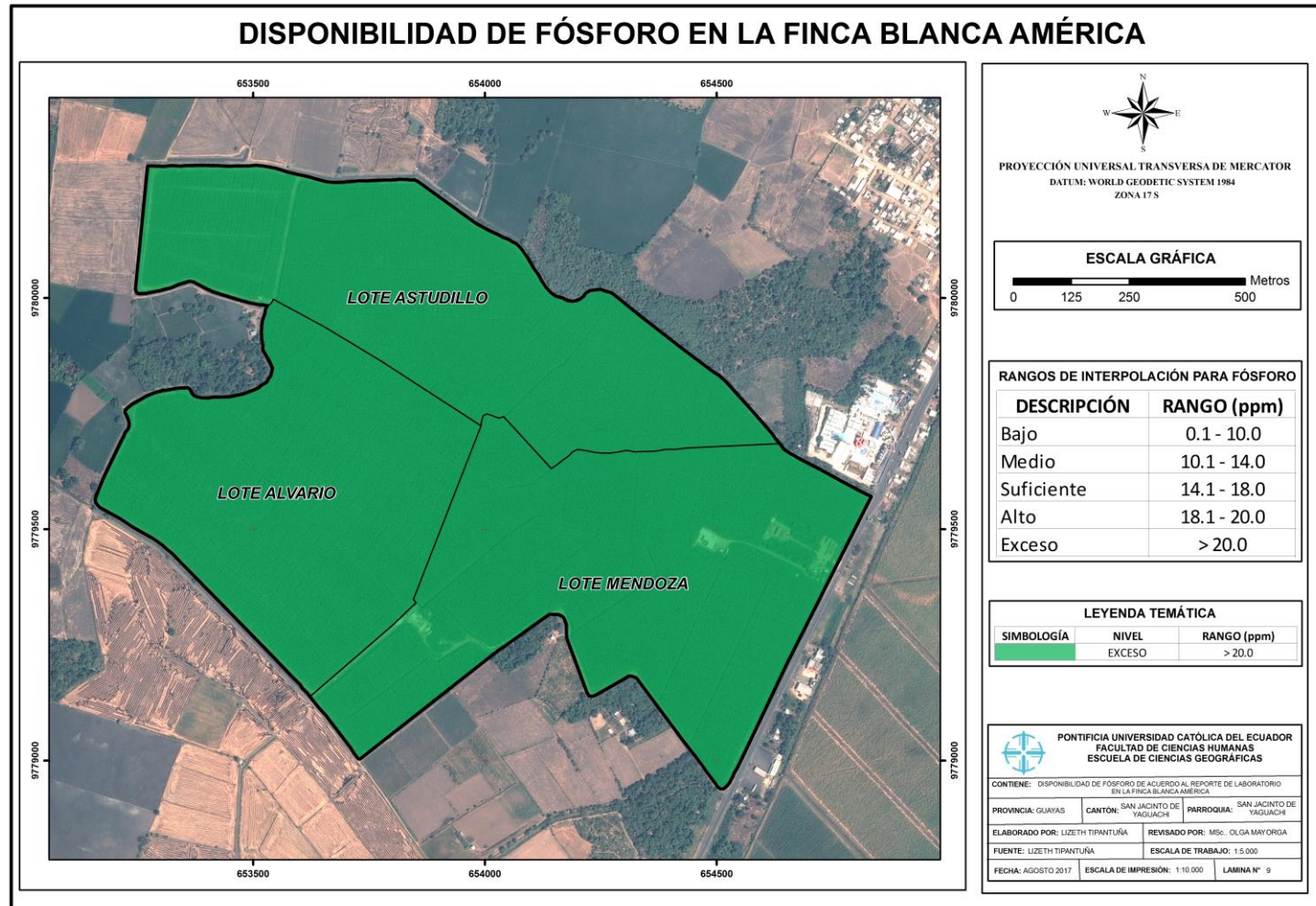
ANEXO 3. Índice transformado de vegetación



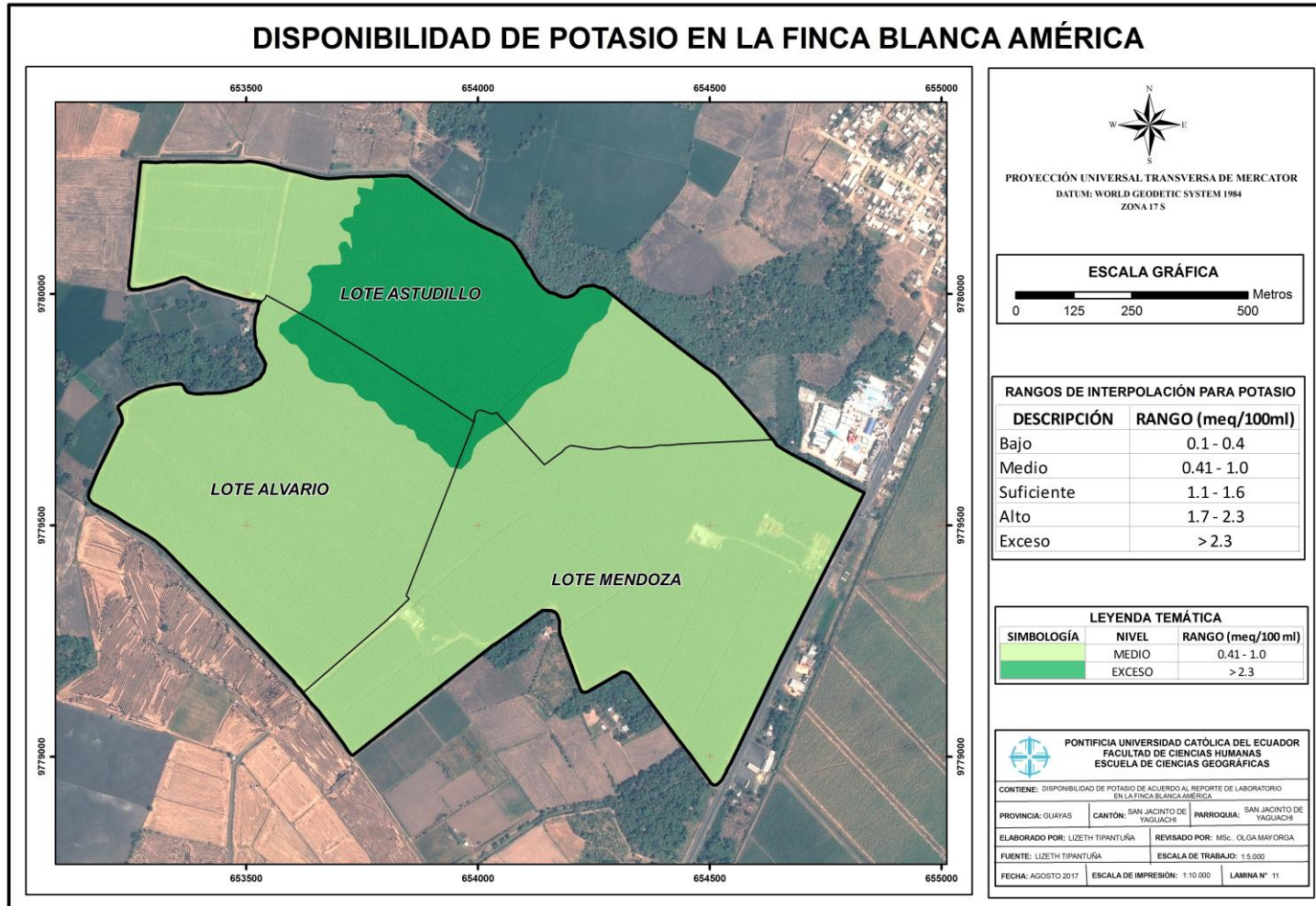
ANEXO 4. Disponibilidad de nitrógeno de acuerdo con el análisis de suelos



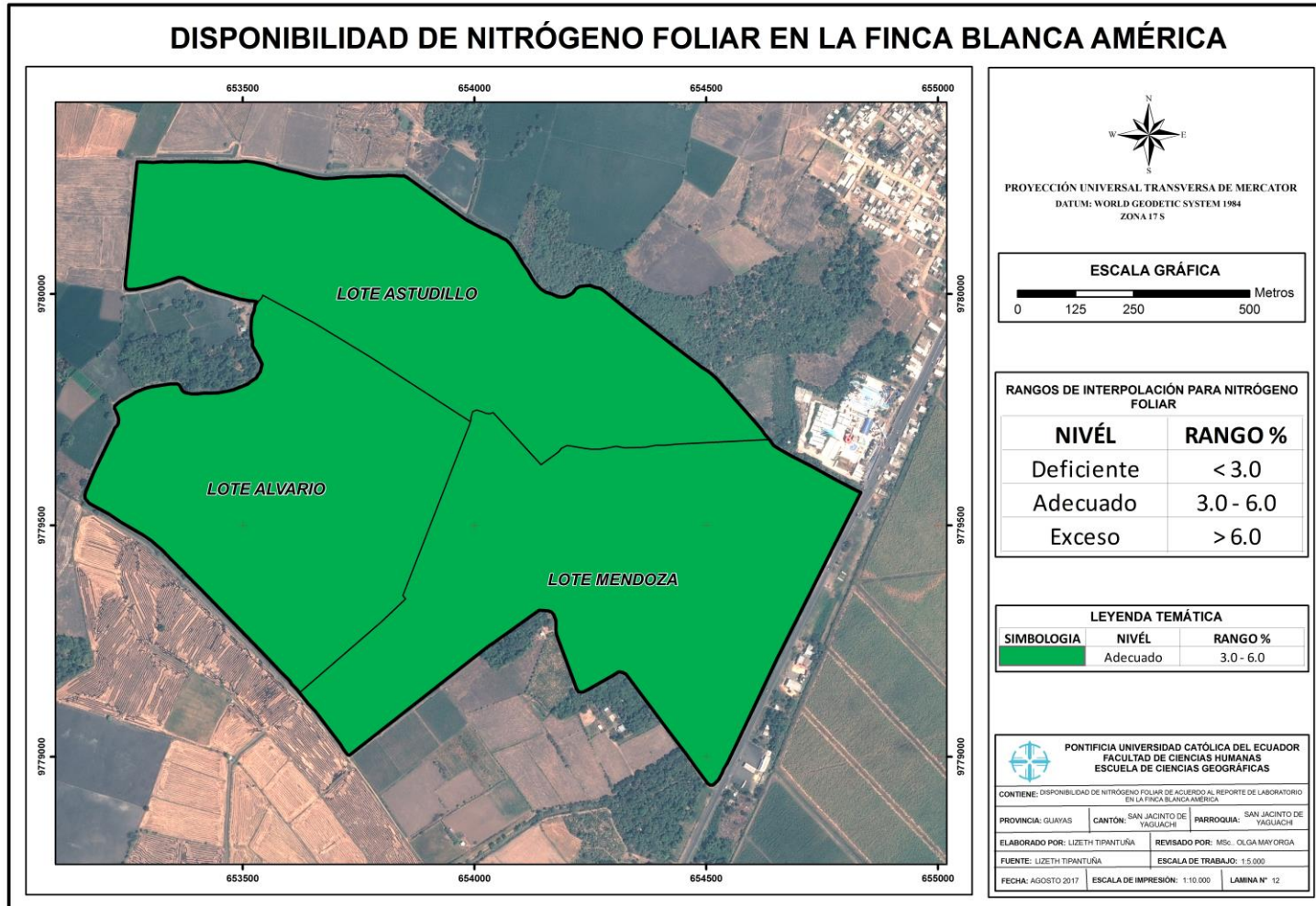
ANEXO 5. Disponibilidad de fósforo de acuerdo con el análisis de suelos



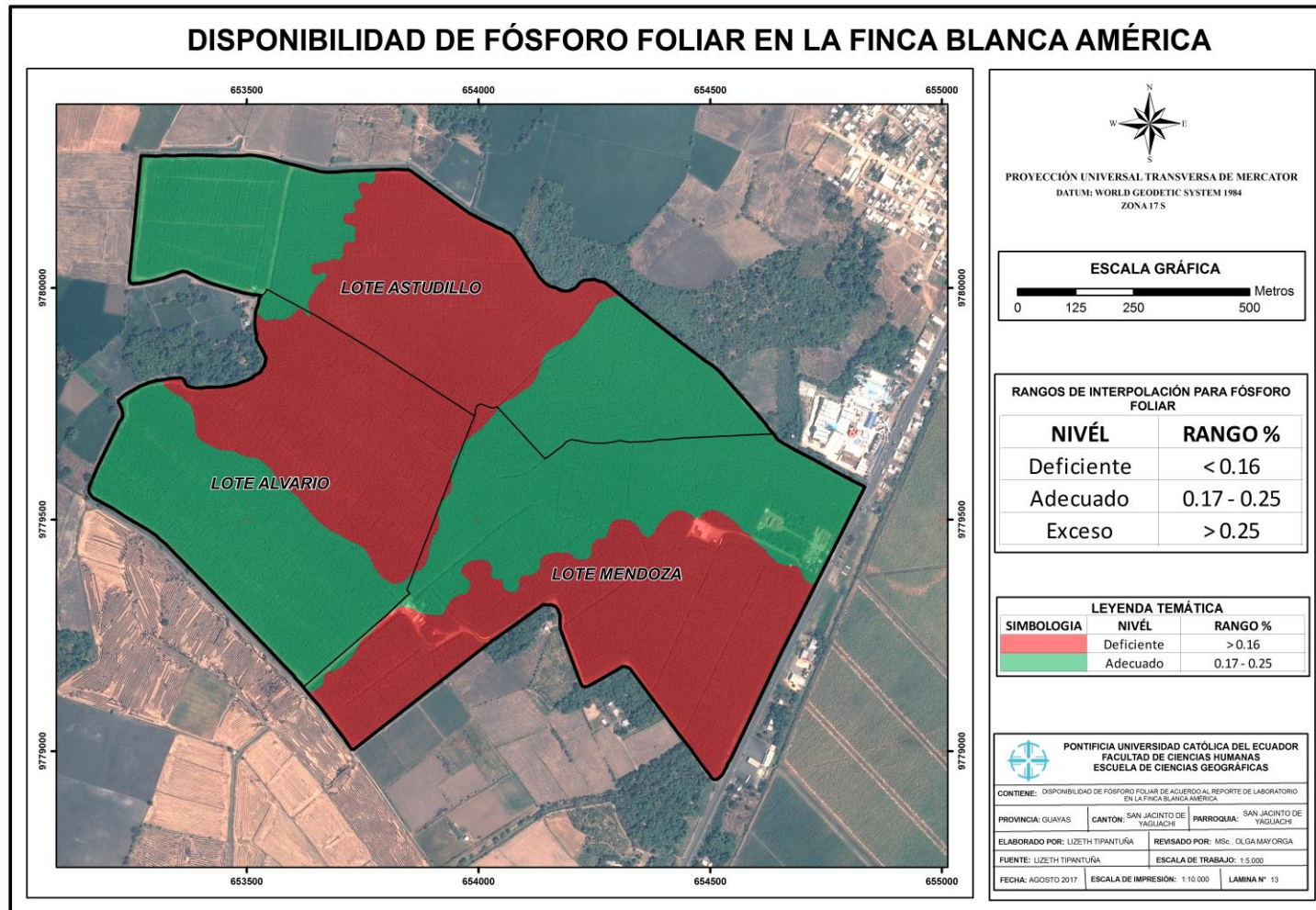
ANEXO 6. Disponibilidad de potasio de acuerdo con el análisis de suelo



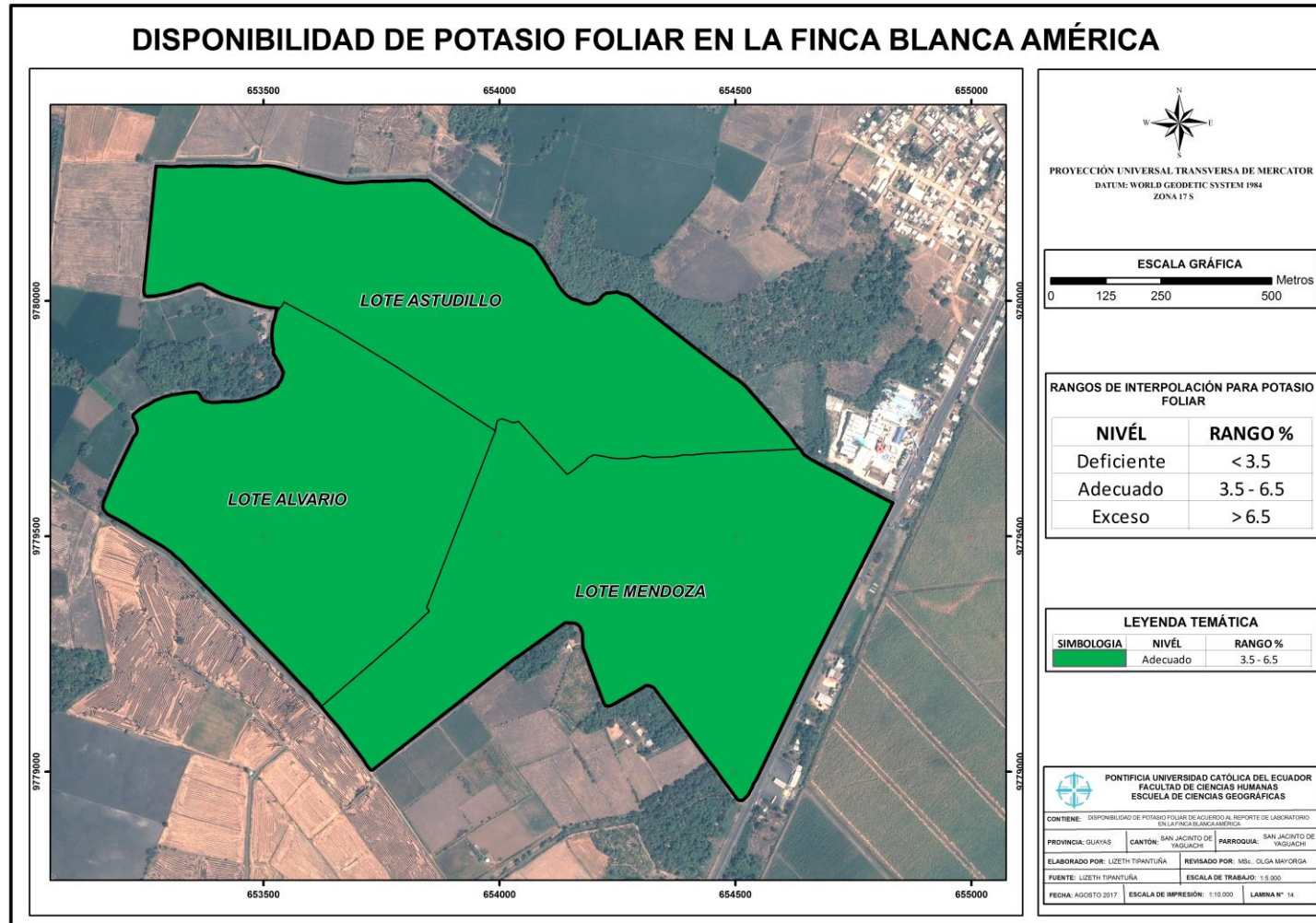
ANEXO 7. Disponibilidad de nitrógeno de acuerdo con el análisis foliar



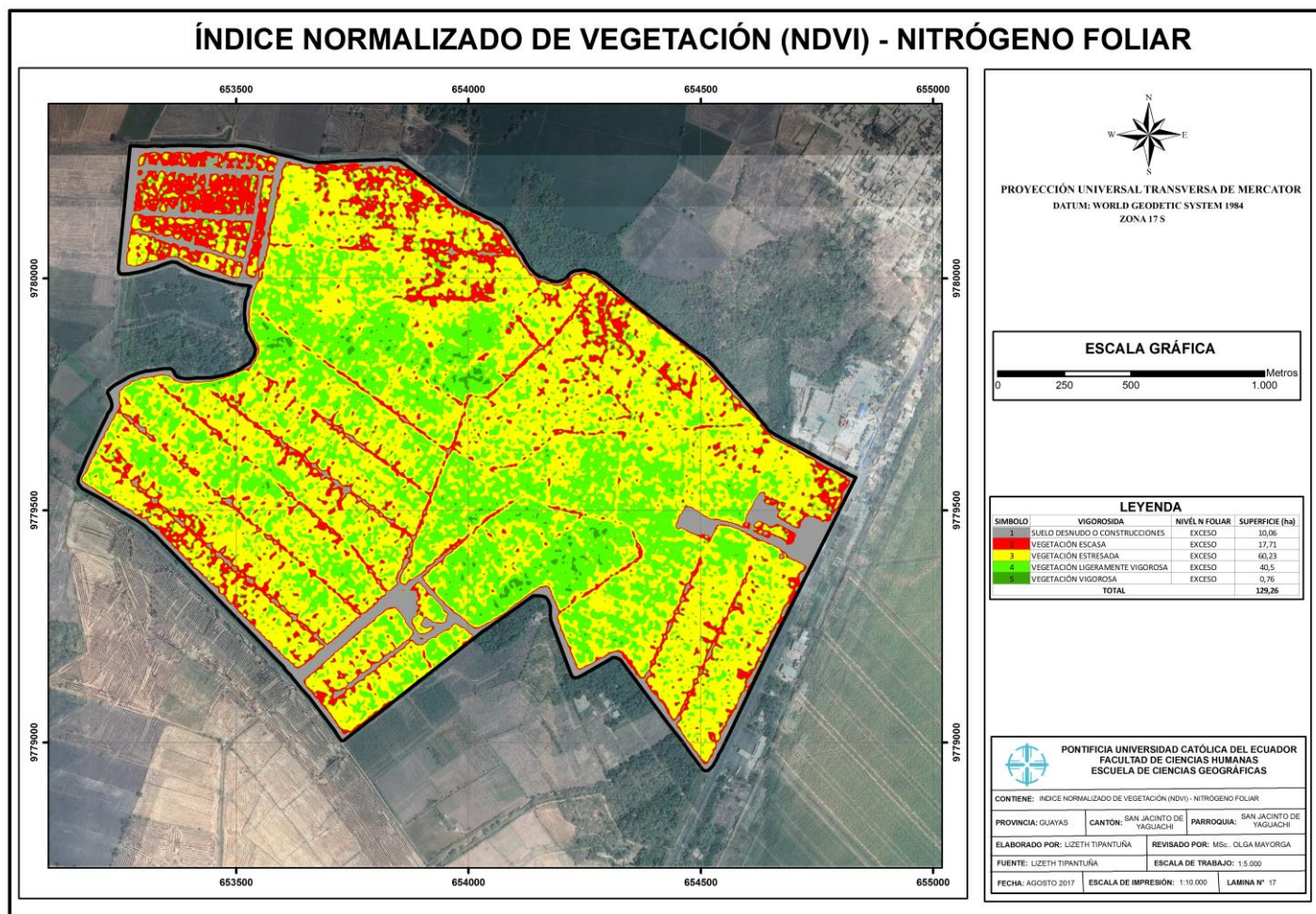
ANEXO 8. Disponibilidad de fósforo foliar de acuerdo con el análisis foliar



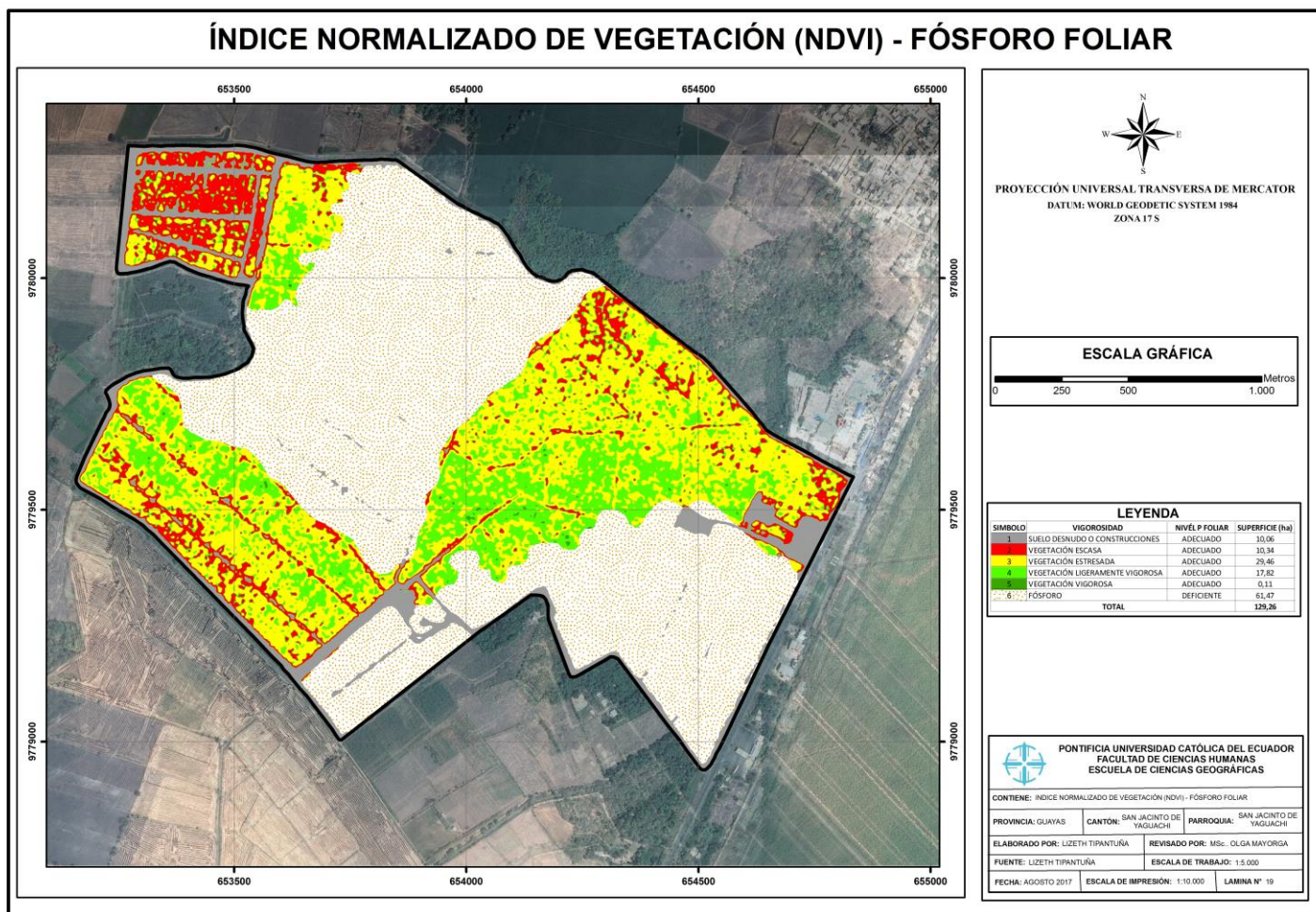
ANEXO 9. Disponibilidad de potasio foliar de acuerdo con el análisis foliar



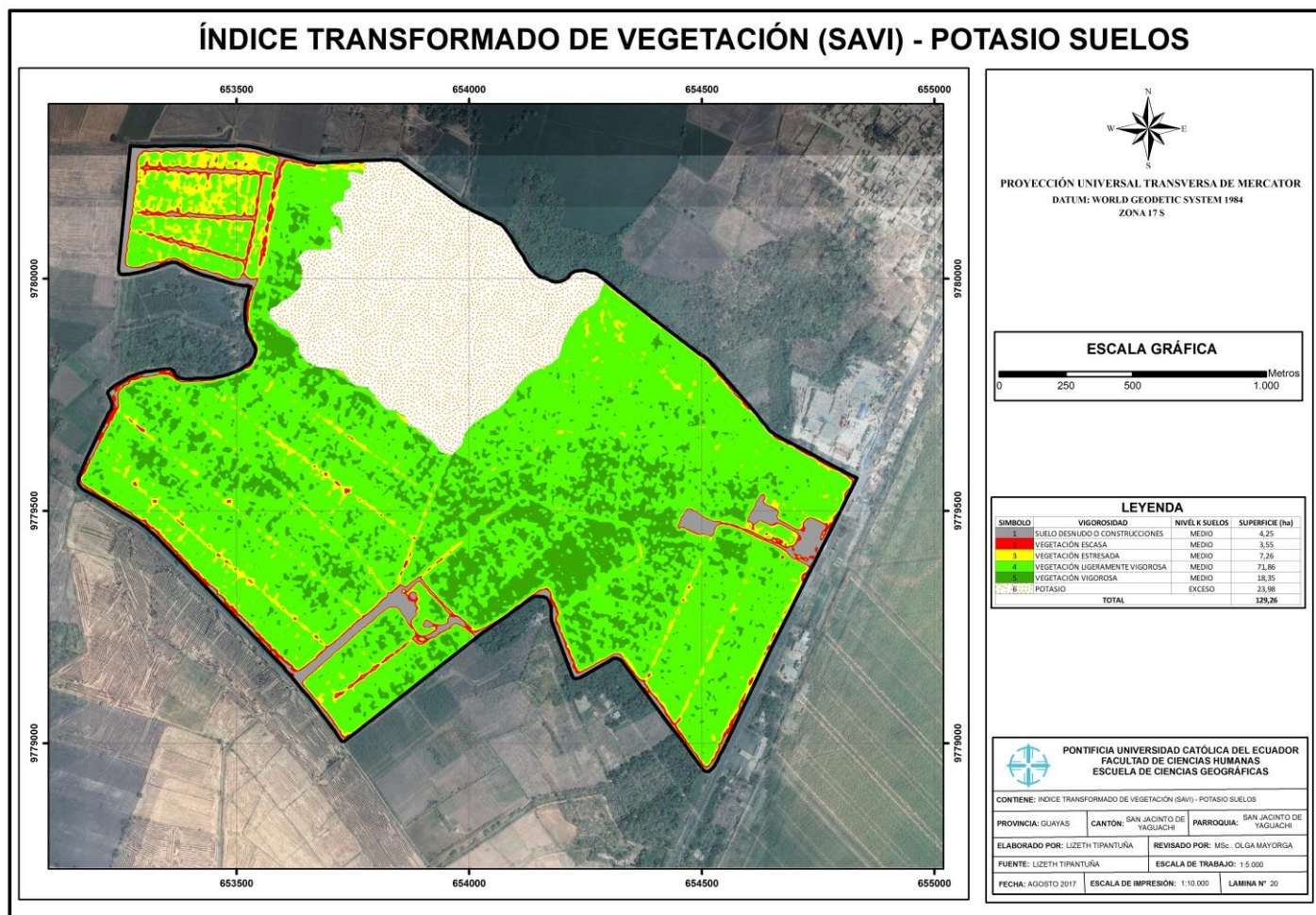
ANEXO 10. Índice normalizada de vegetación más nitrógeno foliar.



ANEXO 11. Índice normalizado de vegetación más fosforo foliar.



ANEXO 12. Índice transformado de vegetación más potasio en suelos.



ANEXO 13. Informe de análisis de suelos



ESTACION EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 26 Vía Durán Tambo
 Yaguachi - Ecuador Teléfono: 2717119 Fax: 2717260

REPORTE DE ANALISIS FOLIARES

Nombre : SIXTO BORRERO
 Dirección : NE
 Ciudad : ALFREDO BAQUERIZO M
 Teléfono : NE
 Fax : NE

DATOS DEL PROPIEDAD
 Nombre : BLANCA AMERICA
 Provincia : GUAYAS
 Cantón : GUAYAQUIL
 Parroquia : ALFREDO BAQUERIZO M
 Ubicación : TRES POSTES

PARA USO DEL LABORATORIO
 Cultivo : BANANO
 N. de Reporte : 11713
 Fecha de Muestreo : 01/12/2016
 Fecha de Ingreso : 28/12/2016
 Fecha de Salida : 26/12/2016

No. Muest. Laborat.	Datos del lote		%							ppm						
	Identificación	Area	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Mo	Na
26084	LOTE 1-2-3 MENDOZA	NE	3.2 A	0.16 D	3.80 A	0.54 D	0.36 A	0.19 D		18 A	8 D	84 A	126 A	16 A		
26085	LOTE 1-2-3 ALVARIO	NE	3.2 A	0.16 D	3.80 A	0.53 D	0.38 A	0.17 D		18 A	8 D	88 A	98 D	18 A		
26086	LOTE 4 ASTUDILLO	NE	3.1 A	0.19 A	4.00 A	0.54 D	0.36 A	0.17 D		18 A	8 D	74 A	106 A	16 A		
26087	LOTE 14 MENDOZA	NE	3.4 A	0.16 D	3.80 A	0.58 D	0.36 A	0.17 D		20 A	8 D	74 A	118 A	15 A		
26088	LOTE 18 HAS ASTUDILLO	NE	3.1 A	0.16 D	3.30 A	0.62 D	0.38 A	0.18 D		18 A	8 D	80 A	80 A	17 A		
26089	LOTE 20 HAS ALVARIO	NE	3.4 A	0.18 A	4.00 A	0.53 D	0.35 A	0.18 D		21 A	10 D	82 A	104 A	16 A		
26090	LOTE MENDOZA	NE	3.1 A	0.19 A	4.20 A	0.58 D	0.32 A	0.19 D		20 A	8 D	92 A	114 A	18 A		

INTERPRETACION
 D = Deficiente
 A = Adecuado
 E = Excesivo

 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS



 RESPONSABLE LABORATORIO

ANEXO 14. Informe de análisis foliares



ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR
"DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 26 Vía Durán - Tambo Apdo. Postal 09-01-7069 Yaguachi - Guayas - Ecuador
 Teléfono: 2717161 Fax: 2717119 Celular: 094535163 - 084535163 - 099351760 e-mail: iniap_ls_lab@yashoo.ec

*"Laboratorio de ensayo
 acreditado por el OAE
 con acreditación N° OAE LE C 11-007"*

INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		DATOS DE LA MUESTRA			
Nombre :	SIXTO BORRERO CAMPOZANO	Nombre :	BLANCA AMERICA	Informe No. :	0015660	Factura No. :	11665
Dirección :	TRES POSTES	Provincia :	GUAYAS	Responsable Muestreo :	Cliente	Fecha Análisis :	14/12/2017
Ciudad :	BAQUERIZO MORENO	Cantón :	BAQUERIZO MORENO	Fecha Muestreo :	01/12/2017	Fecha Emisión :	21/12/2017
Teléfono :	0999605010	Parroquia :	BAQUERIZO MORENO	Fecha Ingreso :	21/12/2017	Fecha Impresión :	21/12/2017
Fax :	NE	Ubicación :	TRES POSTES	Condiciones Ambientales :	TC: 23.2 °C %H: 61.0	Cultivo Actual :	

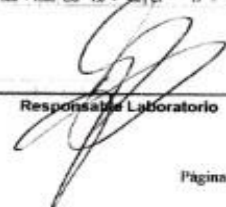
N° Laborat.	Identificación del Lote	pH	ug/ml ~ ppm											
			* NH ₄	* P	K	* Ca	* Mg	* S	* Zn	Cu	* Fe	* Mn	* B	* Cl
52167	LOTE 1-2-3 MENDOZA	6.6 PN	28 M	41 A	245 A	2758 A	613 A	34 A	2.3 M	6.9 A	90 A	17.0 A	0.45 B	
52168	LOTE 4 SOLEDAD	6.7 PN	38 M	42 A	204 A	3149 A	604 A	18 M	2.7 M	5.1 A	39 M	14.0 M	0.45 B	
52169	LOTE 1-2-3 ALVARIO	6.9 PN	32 M	45 A	242 A	2764 A	612 A	19 M	3.0 M	6.0 A	59 A	7.0 M	0.53 M	
52170	LOTE 18 HAS - ASTUDILLO	6.8 PN	34 M	35 A	271 A	2806 A	614 A	20 A	1.4 B	5.8 A	42 A	13.0 M	0.33 B	
52171	LOTE 14 HAS - LOS MONOS	6.7 PN	41 A	75 A	940 A	2992 A	688 A	189 A	3.5 M	5.7 A	41 A	14.0 M	0.85 M	
52172	LOTE 20 HAS - ALVARIO	6.6 PN	38 M	25 A	263 A	2923 A	833 A	36 A	2.6 M	6.0 A	40 M	17.0 A	0.39 B	
52173	LOTE SUSANA-PLANTILLA-MEN	6.3 LAc	33 M	24 A	166 A	2775 A	704 A	159 A	2.5 M	7.0 A	31 M	19.0 A	0.38 B	

Interpretación	pH	
NH ₄ , P, K, Ca, Mg, S	MAc = Muy Acido	N = Neutro
Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	A = Acido	LAc = Lq. Alcalino
	B = Bajo	MAc = Med. Acido
	M = Medio	LAc = Lq. Acido
	A = Alto	N = Neutro
		RC = Requiere Cal

Elementos	Metodología	Extracción
NH ₄ , P	Colorimétrica	Chen
K, Ca, Mg	Absorción	Medicador
Zn, Cu, Fe, Mn	Absorción	pH 5.5
B	Turbidimétrica	Fenolftaleína
Cl	Colorimétrica	Molibdato
	Volumétrica	Punto Salado
pH	Potenciométrica	Sector agua (1:2.5)

Niveles de Referencia Dudosos			
Medio (ug/ml)			
NH ₄	20 - 40	Mg	121.5 - 243
P	10 - 20	S	10 - 20
K	78 - 156	Zn	2.0 - 7.5
Ca	100 - 150	Cu	1.0 - 4.0
		Cl	17 - 34

NE = No entregado
 <LC = Menor al Límite de Cuantificación
 Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación solicitado al OAE
 Las opciones, interpretaciones, etc. que se indican a continuación, están fuera del alcance de acreditación solicitado al OAE
 ** Ensayo subcontratado
 Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a copiar que sea en su totalidad


 Responsable Laboratorio