

**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**



**ANALISIS DE SERIES DE TIEMPO DE INDICE DE VEGETACION EVI 2006-
2011 PARA CARACTERIZAR EL CULTIVO DEL ARROZ A PARTIR DE
IMÁGENES MODIS**

⋮
GONZALO EDUARDO MENDOZA RIAÑO

Proyecto de Grado

ING. JORGE LUIS CORREDOR RIVERA

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACION EN GEOMATICA
BOGOTA D.C.
MAYO DE 2012**

**ANALISIS DE SERIES DE TIEMPO DE INDICE DE VEGETACION EVI 2006-2011 PARA
CARACTERIZAR EL CULTIVO DEL ARROZ A PARTIR DE IMÁGENES MODIS**

GONZALO EDUARDO MENDOZA RIAÑO

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACION EN GEOMATICA
BOGOTÁ D.C., MAYO DE 2012**

**ANALISIS DE SERIES DE TIEMPO DE INDICE DE VEGETACION EVI 2006-2011 PARA
CARACTERIZAR EL CULTIVO DEL ARROZ A PARTIR DE IMÁGENES MODIS**

**GONZALO EDUARDO MENDOZA RIAÑO
COD: 3101073**

**Proyecto para la Opción de Grado presentado como requisito para optar al Título de
Especialista en Geomatica.
Modalidad: Proyecto de Grado**

Tutor: Ing. JORGE LUIS CORREDOR

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACION EN GEOMATICA
BOGOTÁ D.C., MAYO DE 2012**

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD

MAYOR GENERAL EDUARDO ANTONIO HERRERA BERBEL
Rector

BRIGADIER GENERAL (r) ALBERTO BRAVO SILVA
Vicerrector General

MAYOR GENERAL EDGAR CEBALLOS MENDOZA
Vicerrector Administrativo

DRA. MARTHA LUCÍA BAHAMÓN JARA
Vicerrector Académico

DRA. JACQUELINE BLANCO BLANCO
Vicerrector de Investigaciones

ING. ERNESTO VILLAREAL SILVA
Decano de la Facultad de Ingeniería

ING. ALEXANDER GARRIDO
Director Posgrados

CONTENIDO

1. OBJETIVOS	7
1.1. GENERAL	7
1.2. ESPECIFICOS	7
2. AREA DE ESTUDIO	8
3. CONCEPTOS TECNICOS	11
3.1. IMPORTANCIA ECONOMICA DEL ARROZ	11
3.2. CICLO FENOLÓGICO DEL ARROZ	12
3.3. SENSORES REMOTOS EN EL CULTIVO DE ARROZ	13
3.4. CARACTERISTICAS DEL SATELITE TERRA Y EL SENSOR MODIS	14
3.5. INDICES DE VEGETACION (IV)	18
4. METODOLOGIA	21
4.1. DIAGRAMA METODOLÓGICO	21
4.2. DESCARGA DE IMÁGENES MOD13Q1	22
4.3. PREPROCESAMIENTO DE DATOS DE ENTRADA	25
4.4. INTERPRETACION DE LAS SERIES TEMPORALES DEL INDICE DE VEGETACION EN AREAS DE ARROZ	30
4.5. CASOS DE ESTUDIO	33
4.5.1. CASO 1 FINCA LA CHAMPETA – VILLAVICENCIO, META	35
4.5.2. CASO 2 FINCA MÓNICA – PUERTO GAITAN, META	39
4.5.1. CASO 3 FINCA EL TRÉBOL – GRANADA, META	44
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	48
6. CONCLUSIONES	50
7. BIBLIOGRAFIA	52

RESUMEN

El presente trabajo analiza la utilidad del índice de vegetación EVI del sensor MODIS, para explicar el uso del suelo agrícola específicamente la dinámica fenológica del cultivo del arroz en sistema seco en el Departamento del Meta. El índice mide el verdor de la vegetación es posible discriminar propiedades de la vegetación como, el área foliar, la clorofila y la estructura de la cubierta. La fenología del cultivo se evalúa a partir de la adquisición y superposición de 128 imágenes con una frecuencia de 16 días que calculan el índice de vegetación EVI entre 2006 y 2011, y mediante la evaluación de tres casos de uso, se realiza el perfil temporal de la serie y el análisis del índice. Luego de evaluar la información se encontró que el índice modela correctamente el ciclo fenológico del cultivo y permite conocer de manera remota características que solo era posible identificar realizando trabajo de campo.

Palabras Clave: Análisis de series temporales, Sensor MODIS, índices de vegetación EVI (Índice Mejorado de Vegetación), Ciclo Fenológico.

ABSTRACT

The present study analyzes the utility of vegetation index EVI of sensor MODIS, to explain the agricultural use of land, specifically for identifying the phenological dynamics in rice crops at department of Meta. The index evaluates the greenness of vegetation, through which it is possible to discriminate properties of vegetation, for example: leaf area ratio, chlorophyll levels and surface structure. The rice Crop phenology is assessed from the acquisition and overlay of 128 images with a frequency of 16 days calculated vegetation index EVI between 2006 and 2011, and through the evaluation of three study cases, temporary profiles of the time series and the index analysis were done. By evaluating the information is found that the index correctly modeled the phenological cycle of the crop and gives us the knowledge of characteristics that could only be identified before during fieldwork

Keywords: Time series analysis, MODIS sensor, Vegetation index EVI (The enhanced vegetation index), phenological cycle.

INTRODUCCION

El cultivo del arroz en Colombia ocupa anualmente un promedio de 440.000 ha desde 2008 localizadas en distintas regiones del país, llevar un registro histórico de la dinámica del uso del suelo en estas áreas es complejo y demanda un gran esfuerzo, la teledetección brinda la posibilidad de realizar monitoreo de áreas a partir de diferentes escalas, tanto temporales, radiométricas y espaciales.

En la actualidad la tendencia del uso de sensores remotos se ha encaminado al incremento en la resolución espacial de las imágenes, por la gran utilidad para la clasificación visual de las coberturas, pero en temáticas como la agricultura donde la necesidad de monitoreos constantes es alta, ha empezado cobrar importancia la resolución temporal. Por ejemplo, En instituciones de Brasil como Embrapa, actualmente se emplean Imágenes MODIS, de resolución espacial 250 (muy bajo en comparación con imágenes LandSat 30 metros), pero disponibles cada 16 días de manera libre, es una opción viable, para llevar un seguimiento en el corto plazo de las áreas donde existen grandes cultivos. Adicionalmente, las imágenes MODIS tienen una amplia cobertura espectral, que permiten hacer análisis de la vegetación.

Una de las herramientas más comunes son los índices de vegetación, que son índices espectrales que se utilizan para el seguimiento de la dinámica de la vegetación y el uso del suelo. Existen diversos sensores en el mercado, MODIS es un sensor poco conocido en el país, pero con grandes bondades en la resolución temporal que complementa la información adquirida por otros sensores, porque permite la adquisición de un gran volumen de datos, disponibles a partir del año 2000 cada 16 días para cualquier región del planeta.

Para procesar y evaluar esta información se analizan las series temporales que permite identificar los patrones de comportamiento de una variable

1. OBJETIVOS

1.1. GENERAL

Desarrollar una metodología con el uso de imágenes satelitales MODIS con el fin de evaluar la utilidad del índice de Vegetación EVI para explicar el uso del suelo, puntualmente la dinámica fenológica del cultivo del arroz en tres fincas del departamento del Meta, mediante el análisis de las series de tiempo entre Enero de 2006 y Julio de 2011.

1.2. ESPECIFICOS

- Por medio de procesamiento digital de imágenes generar series temporales para tres casos de uso en fincas tradicionalmente arroceras.
- Evaluar los cultivos de arroz de acuerdo con su desarrollo fenológico y principalmente en tres etapas del cultivo, (Preparación, Siembra y Cosecha)
- Generar un diagnostico con base en los registros de FEDEARROZ para cada finca analizada con respecto a sus prácticas agrícolas (Fechas de Preparación, Siembra y Cosecha)
- Analizar la utilidad de este tipo de productos en el desarrollo de actividades normales de captura de información por parte de FEDEARROZ y el DANE.

2. AREA DE ESTUDIO

Para seleccionar el área de estudio se tuvieron en cuenta los datos del III Censo Arrocero Nacional del año 2007, (*aunque existen informes mucho más actuales, el Censo del 2007 es el último realizado a escala nacional*) para conocer donde están concentradas las áreas más grandes del cultivo, cabe anotar que estos resultados no difieren con los datos actuales en cuanto al orden de importancia de las regiones. Debido a que el estudio solo plantea tres Casos Prácticos de Uso, se considero seleccionar el departamento del Meta por disponibilidad de la información histórica anual de las fincas.

De acuerdo con la TABLA 1 en el último censo arrocero realizado a nivel nacional en el año de 2007, se encontró que el 18% del área nacional está localizada en el Meta. Con base en esta información los casos de estudio desarrollados posteriormente están localizados en distintas regiones del departamento.

TABLA 1 AREA ARROCERA POR DEPARTAMENTOS EN EL CENSO DE 2007

III CENSO (2007) Departamento	Área Anual	
	Ha	%
Antioquia	6.089	1,5
Arauca	1.856	0,5
Atlántico	189	0
Bolívar	14.931	3,7
Caquetá	552	0,1
Casanare	63.041	15,7
Cauca	1.166	0,3
Cesar	19.268	4,8
Chocó	4.477	1,1
Córdoba	10.028	2,5
Cundinamarca	5.670	1,4
Guaviare	142	0
Guajira	2.388	0,6
Huila	31.505	7,9
Magdalena	2.780	0,7
Meta	74.014	18,5
Norte Santander	22.141	5,5
Santander	375	0,1
Sucre	28.726	7,2
Tolima	108.368	27,1
Valle del Cauca	2.748	0,7
Colombia	400.454	100

Fuente: FEDEARROZ III Censo Arrocero 2007

Las zonas arroceras definidas por FEDEARROZ, agrupan determinados departamentos de acuerdo a su localización y condiciones geográficas, entonces, en la TABLA 2 se encuentra que la mayor cantidad de área cultivada y las mejores producciones se tienen en la Zona Centro que agrupa los departamentos de Tolima y Huila, seguida por la Zona Llanos que involucra los departamentos del Meta, Casanare y Arauca

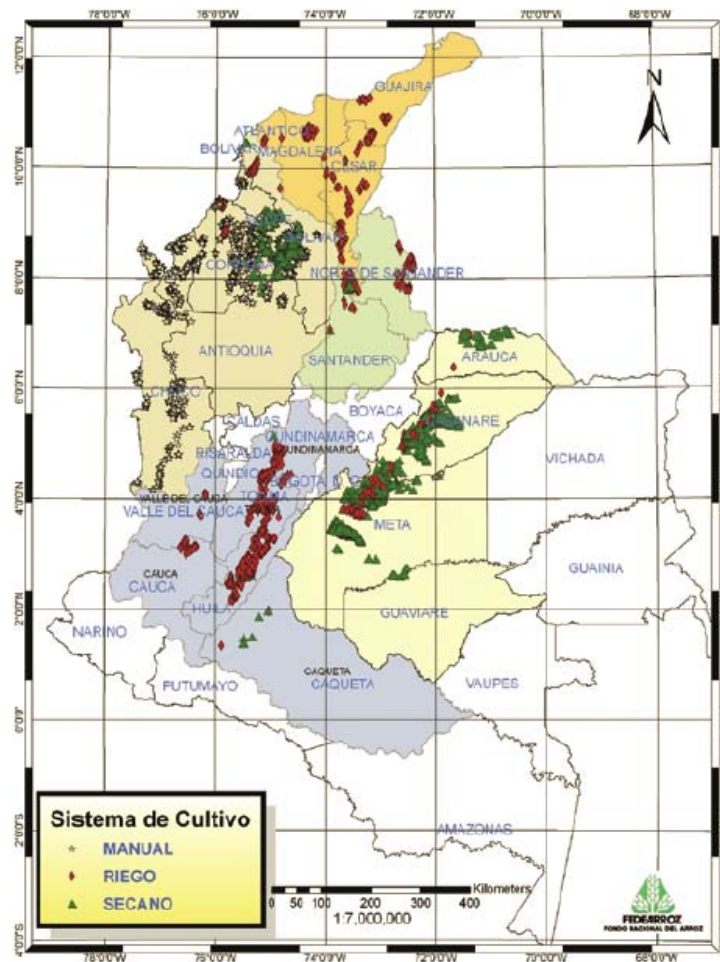
TABLA 2 AREA Y PRODUCCION ARROCERA POR ZONAS EN 2007

Zona Arroceras	Área Anual		Producción Anual	
	ha	%	ton	%
Bajo Cauca(*)	64.097	16.0	245.377	9.9
Centro	146.498	36.6	1.136.744	46.0
Costa Norte	24.779	6.2	151.399	6.1
Llanos	142.562	35.6	793.875	32.1
Santanderes	22.516	5.6	14.415	5.8
Colombia	400.454	100.0	2,471,545	100.0

Fuente: FEDEARROZ III Censo Arroceros 2007. (*) Incluye el Depto. del Choco

En la FIGURA 1 se tiene el mapa nacional de cultivos de arroz generado a partir de los datos capturados en el Censo de 2007. En este mapa se observa en la zona Centro el sistema de cultivo predominante es Riego, mientras que en la zona Llanos es Secano. Adicionalmente se aprecia que en la costa pacífica y al norte del país también existe un número importante de fincas que cultivan arroz.

FIGURA 1 MAPA ARROCERO DE 2007



Fuente: FEDEARROZ III Censo Arrocero 2007

Se debe considerar que la resolución espacial de las imágenes MODIS es de 250 metros, por lo tanto el área cubierta por un pixel de la imagen será aproximadamente de 6,7 Hectáreas, de acuerdo con lo anterior, existe un área mínima de trabajo en los cultivos de 30 Hectáreas por cultivo para garantizar la calidad del trabajo de identificación.

3. CONCEPTOS TECNICOS

3.1. IMPORTANCIA ECONOMICA DEL ARROZ

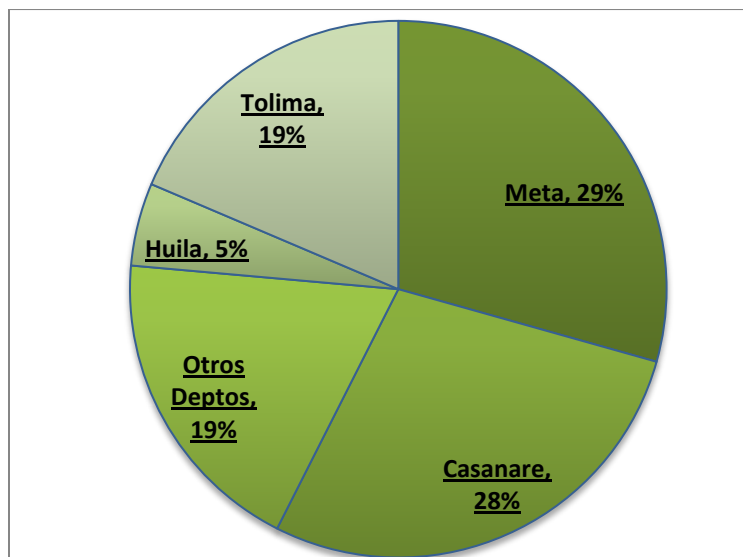
El arroz es un producto fundamental en la canasta básica de consumo de los colombianos, además de una gran fuente de trabajo para el sector rural del país. Actualmente el Gobierno Nacional y FEDEARROZ protegen el cultivo del arroz con políticas de incentivos y adopción tecnológica para garantizar la seguridad alimentaria del país frente al tratado de libre comercio con Estados Unidos que amenaza la permanencia de los productores en el mercado.

Algunos datos relevantes de la producción en Colombia son:

Para el primer semestre del año 2011, se sembraron en el país 296.239 Hectáreas, en las cinco zonas arroceras por excelencia, Zona Centro (Tolima y Huila), Zona Llanos (Meta, Casanare y Arauca), Zona Caribe Seco y Zona Caribe Húmedo.

A nivel Departamental el Meta registro la mayor área sembrada en primer semestre con 86.983 Hectáreas, lo cual corresponde al 29.4% del área total, como se puede apreciar en la FIGURA 2.

FIGURA 2 DISTRIBUCION PORCENTUAL DEL AREA SEMBRADA POR DEPARTAMENTO EN EL SEMETRE A DEL 2011



Fuente: Convenio DANE – FEDEARROZ

En términos de producción debido al sistema de cultivo, el Departamento del Tolima tiene el 43%, mientras que el Meta presento una producción de 9.5% del total de la producción nacional. Esto es debido a características especiales que se presentan en el sistema del cultivo, por ejemplo la zona Centro (Tolima y Huila) con un área de siembra de aproximadamente el 24% consigue la mejor producción nacional porque cultiva con sistemas de distritos de irrigación, mientras que la zona llanos con más del 50% de área nacional, cultiva con sistema secano que se abastece de agua únicamente en la temporada de lluvias, por lo cual la producción es inferior ya que se logra en determinada época del año.

Actualmente el monitoreo de los cultivos se realiza por medio de censo en (Zona Llanos) y muestreo en (Otras Zonas) en convenio con El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

3.2. CICLO FENOLÓGICO DEL ARROZ

Fases de Desarrollo.

De acuerdo con (TASCON, 1985), El crecimiento de la planta de arroz es un proceso fisiológico continuo que comprende un ciclo completo desde la germinación hasta la maduración del grano. El crecimiento muestra un patrón común en el tiempo, que puede variar ligeramente dependiendo las fases de desarrollo en la que este el cultivo y de características genéticas de la planta o la influencia del medio ambiente.

El ciclo de vida de la planta de arroz está comprendido en un rango de 90 a 210 días, con la moda entre 110 a 130 días en el Departamento del Meta. Variedades con ciclos de 150 a 210 días no son comerciales y son usualmente sensibles al fotoperiodo y plantadas en áreas de aguas profundas.

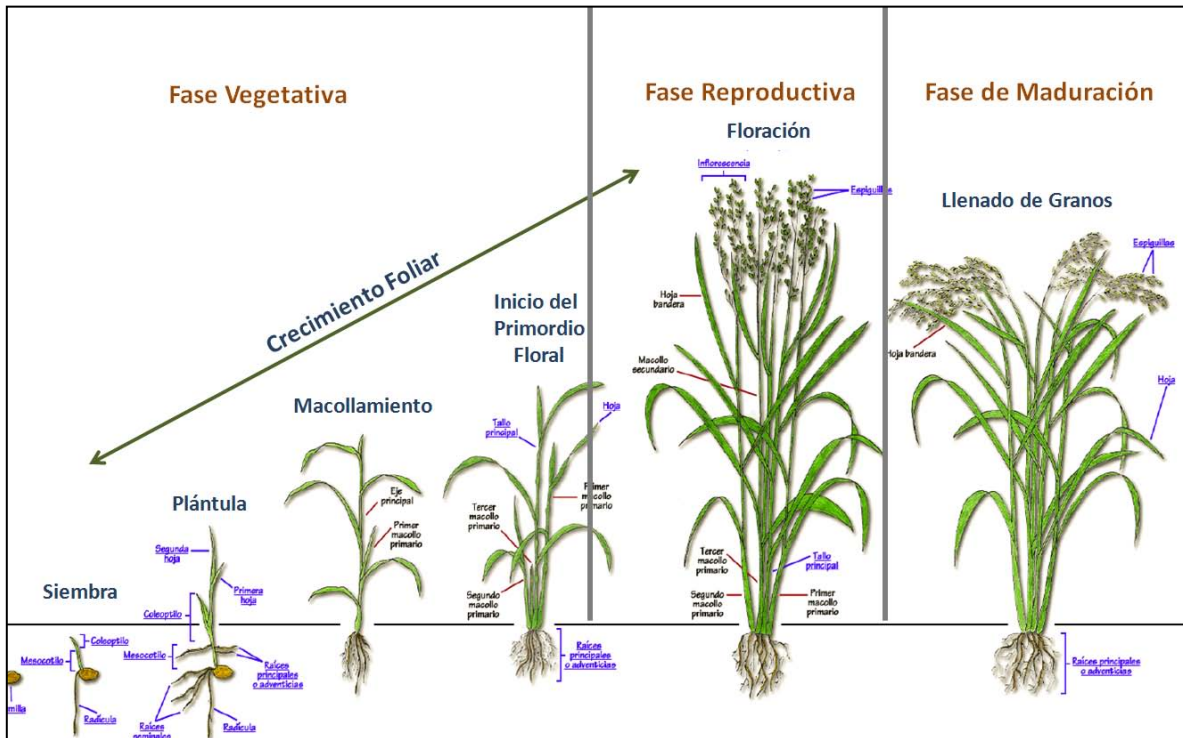
El crecimiento de la planta (Ver FIGURA 3) se puede dividir en tres fases (TASCON, 1985):

- Fase Vegetativa: De la germinación de la semilla al (Primordio) iniciación de la panícula.
- Fase Reproductiva: (Formación del Primordio) iniciación de la panícula a la floración.
- Fase de Maduración: De floración a madurez total. También se denomina como llenado de grano y maduración.

El crecimiento y el desarrollo de la planta de arroz son principalmente afectados por un número variado de elementos tanto de carácter agronómico como ambiental, las más importantes son la temperatura y la longitud de horas de radiación del día.

El desarrollo de la planta puede ser medido cuantitativamente por varios parámetros, la altura, número de hijos (Macollas), número de hojas, índice de área foliar, acumulación de materia seca, producción de carbohidratos y absorción de nutrientes.

FIGURA 3 CICLO FENOLOGICO DEL ARROZ



Fuente: El Autor

La altura de la planta es usada como un criterio de crecimiento. Después del lento crecimiento durante el estado de la plántula, la altura aumenta rápida y casi linealmente hasta la floración, cuando el crecimiento vertical cesa hasta el momento de cosecha.

3.3. SENSORES REMOTOS EN EL CULTIVO DE ARROZ

Debido a la importancia del arroz a nivel mundial, se han desarrollado variados estudios a partir de sensores remotos para la identificación y el seguimiento del cultivo, la mayoría de ellos en sistema riego. A nivel nacional la publicación más reciente la realizó Fedearroz-FNA en marzo de 2009 en su revista institucional, publicación que lleva por nombre "Tecnología Satelital: El futuro en Clasificación de Cultivos de Arroz" el enlace para su consulta es: http://www.fedearroz.com.co/doc_economia/Geoestadisticas2009.pdf En esta publicación se define una metodología para la clasificación digital de los cultivos a partir de imágenes satelitales de media y alta resolución para los distritos de riego del Tolima.

Para la Federación es importante evaluar nuevos métodos de análisis, que permitan evaluar las diferentes características del cultivo.

En cuanto a imágenes Modis en Colombia, el CIAT (Centro de Investigación de Agricultura Tropical) publicó "*Método de procesamiento de imágenes Modis para Colombia*" Donde se establecen los procedimientos y herramientas para definir el sistema de Proyección Cartográfica para Colombia.

A nivel Latinoamericano, Brasil ha desarrollado gran cantidad de estudios a partir de diversos sensores, para el caso de Modis, en 2009 se publicó "*Comparación entre los perfiles temporales de Arroz Riego en las Colecciones Modis V4 y Modis V5 para el estado de Rio Grande del Sur*" Donde se encontró que no hay diferencias significativas entre las dos versiones del sensor. El uso de las imágenes Modis en Brasil es bastante frecuente sobre todo en cultivos de Soja, Caña de Azúcar y Café, además de su uso en cálculos de temperaturas y pronósticos meteorológicos, así como también en la identificación de uso y cobertura del suelo.

A nivel mundial, trabajos como "*Análisis Espacio-Temporal de Agricultura en el Delta Mekong Vietnamita Usando Imágenes MODIS*" realizado en 2009 por Toshihiro Sakamoto, explotan todo el potencial de las imágenes, realizando el seguimiento a partir de series temporales de los índices de vegetación de diferentes cultivos entre ellos el arroz, el cual tiene gran importancia en la región, el enlace para la consulta de esta publicación es: <http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/publish/bulletin/niaes26-1.pdf>

3.4. CARACTERISTICAS DEL SATELITE TERRA Y EL SENSOR MODIS

MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) es uno de los principales instrumentos a bordo de los satélites Terra (EOS AM) y Aqua (EOS PM). Los satélites fueron lanzados por la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Terra (EOS) lanzado en diciembre de 1999, órbita alrededor de la Tierra y está programado para que pase de norte a sur y cruce el ecuador en la mañana, mientras que Aqua (EOS) lanzado en 2002, transita de sur a norte y cruza el ecuador en la tarde. Terra MODIS y Aqua MODIS están visualizando la superficie de toda la Tierra cada 1 o 2 días, la adquisición de datos se realiza en 36 bandas espectrales o grupos de longitudes de onda. Estos datos mejoran la comprensión de la dinámica global y los procesos que ocurren en la tierra, en los océanos, y en la atmósfera baja. A continuación en la TABLA 3 se presentan las características del satélite Terra y del sensor MODIS:

TABLA 3 CARACTERISTICAS GENERALES DEL SATELITE TERRA Y EL SENSOR MODIS

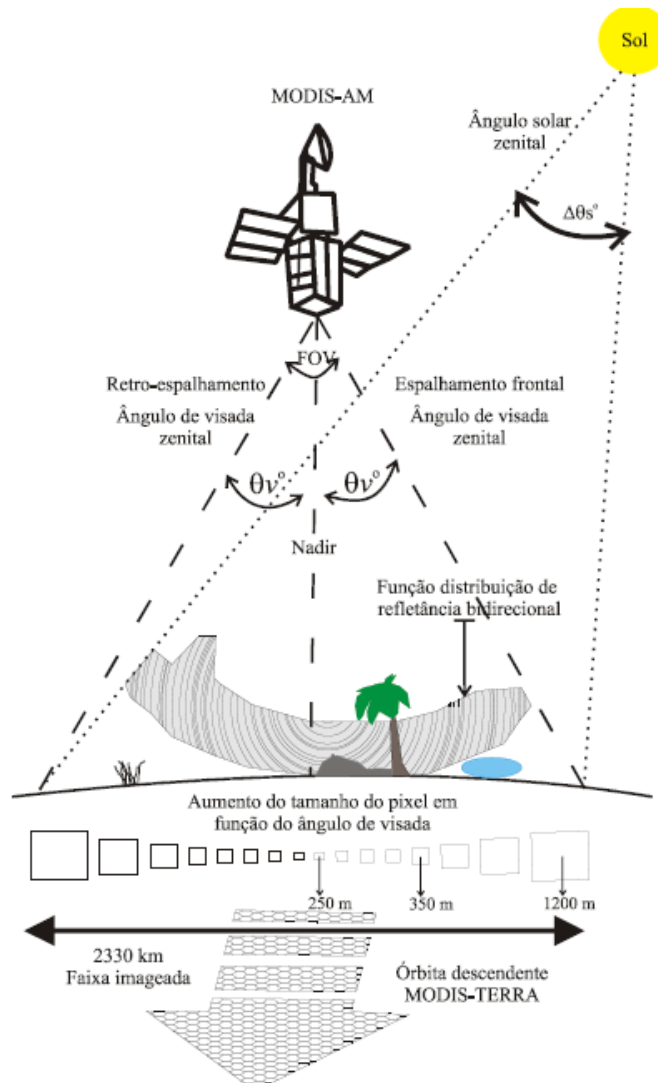
Órbita del Satélite Terra	Sol Sincrónica, Cuasi-Polar, Descendente, Circular, Cruza el Ecuador a las 12:30 hora Colombia
Altitud del Satélite	705 Km
Longitud de Cobertura de las Imágenes	2230 Km (across track) y 10 Km (along track y en Nadir)
Bandas Espectrales	36 Bandas entre 0,405 y 14,385 μm
Resolución Radiométrica	12 bits
Resolución Espacial a Nadir	250 m (bandas 1-2), 500 m (bandas 3-7), 1 Km (bandas 8-36)
Periodo de Revista	1-2 días
Tasa de Transferencia de los Datos	11 Mbps

Fuente: Adaptado de JUSTICE 2002

MODIS juega un papel vital en el desarrollo de la validación de los modelos globales interactivos de la Tierra, capaces de predecir el cambio global con precisión suficiente para ayudar a los legisladores a tomar decisiones acertadas sobre la protección del medio ambiente.

La FIGURA 4 representa la forma de adquisición de información desde el sensor MODIS-Terra y las alteraciones de la función de distribución de reflectancia bidireccional en función de la geometría de iluminación.

FIGURA 4 SENSOR MODIS



Fuente: VAN LEEUWEN (1999)

El sensor MODIS ofrece una amplia gama de productos no solo para las áreas continentales (Terra), sino también para las Oceánicas (Aqua) con diferentes resoluciones espaciales, espectrales y temporales, en la TABLA 4 se encuentran las características generales de cada producto:

TABLA 4 PRODUCTOS DISPONIBLES DEL SATELITE TERRA

Nombre del Producto	Plataforma	Descripción	Raster Tipo	Resolución Espacial (m)	Resolución Temporal
MCD45A1	Combined	Burned Area	Tile	500m	Mensual
MOD09GA	Terra	Surface Reflectance Bands 1–7	Tile	500/1000m	Diaria
MYD09GA	Aqua	Surface Reflectance Bands 1–7	Tile	500/1000m	Diaria
MOD09GQ	Terra	Surface Reflectance Bands 1–2	Tile	250m	Diaria
MYD09GQ	Aqua	Surface Reflectance Bands 1–2	Tile	250m	Diaria
MOD09CMG	Terra	Surface Reflectance Bands 1–7	CMG	5600m	Diaria
MYD09CMG	Aqua	Surface Reflectance Bands 1–7	CMG	5600m	Diaria
MOD09A1	Terra	Surface Reflectance Bands 1–7	Tile	500m	8 Dias
MYD09A1	Aqua	Surface Reflectance Bands 1–7	Tile	500m	8 Dias
MOD09Q1	Terra	Surface Reflectance Bands 1–2	Tile	250m	8 Dias
MYD09Q1	Aqua	Surface Reflectance Bands 1–2	Tile	250m	8 Dias
MOD13A1	Terra	Vegetation Indices	Tile	500m	16 Dias
MYD13A1	Aqua	Vegetation Indices	Tile	500m	16 Dias
MOD13A2	Terra	Vegetation Indices	Tile	1000m	16 Dias
MYD13A2	Aqua	Vegetation Indices	Tile	1000m	16 Dias
MOD13Q1	Terra	Vegetation Indices	Tile	250m	16 Dias
MYD13Q1	Aqua	Vegetation Indices	Tile	250m	16 Dias
MOD13A3	Terra	Vegetation Indices	Tile	1000m	Mensual
MYD13A3	Aqua	Vegetation Indices	Tile	1000m	Mensual
MOD13C1	Terra	Vegetation Indices	CMG	5600m	16 Dias
MYD13C1	Aqua	Vegetation Indices	CMG	5600m	16 Dias
MOD13C2	Terra	Vegetation Indices	CMG	5600m	Mensual
MYD13C2	Aqua	Vegetation Indices	CMG	5600m	Mensual
MOD44W	Terra	Land Water Mask Derived	Tile	250m	none
MOD11_L2	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	Swath	1000m	5 Min
MYD11_L2	Aqua	Land Surface Temperature & Emissivity	Swath	1000m	5 Min
MOD11A1	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	Tile	1000m	Daily
MYD11A1	Aqua	Land Surface Temperature & Emissivity	Tile	1000m	Daily
MOD11A2	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	Tile	1000m	8 Dias
MYD11A2	Aqua	Land Surface Temperature & Emissivity	Tile	1000m	8 Dias
MOD11B1	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	Tile	6000m	Diaria
MYD11B1	Aqua	Land Surface Temperature & Emissivity	Tile	6000m	Diaria
MOD11C1	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	CMG	5600m	Diaria
MYD11C1	Aqua	Land Surface Temperature & Emissivity	CMG	5600m	Diaria
MOD11C2	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	CMG	5600m	8 Dias
MYD11C2	Aqua	Land Surface Temperature & Emissivity	CMG	5600m	8 Dias
MOD11C3	Terra	Land Surface Temperature & Emissivity	CMG	5600m	Mensual
MYD11C3	Aqua	Land Surface Temperature & Emissivity	CMG	5600m	Mensual
MOD14	Terra	Thermal Anomalies & Fire	Swath	1000m	5 Min
MYD14	Aqua	Thermal Anomalies & Fire	Swath	1000m	5 Min
MOD14A1	Terra	Thermal Anomalies & Fire	Tile	1000m	Diaria
MYD14A1	Aqua	Thermal Anomalies & Fire	Tile	1000m	Diaria
MOD14A2	Terra	Thermal Anomalies & Fire	Tile	1000m	8 Dias
MYD14A2	Aqua	Thermal Anomalies & Fire	Tile	1000m	8 Dias
MCD15A2	Combined	Leaf Area Index - FPAR	Tile	1000m	8 Dias
MOD15A2	Terra	Leaf Area Index - FPAR	Tile	1000m	8 Dias
MYD15A2	Aqua	Leaf Area Index - FPAR	Tile	1000m	8 Dias
MCD15A3	Combined	Leaf Area Index - FPAR	Tile	1000m	4 Day

Nombre del Producto	Plataforma	Descripción	Raster Tipo	Resolución Espacial (m)	Resolución Temporal
MOD17A2	Terra	Gross Primary Productivity	Tile	1000m	8 Dias
MYD17A2	Aqua	Gross Primary Productivity	Tile	1000m	8 Dias
MCD43A3	Combined	Albedo	Tile	500m	16 Dias
MCD43B3	Combined	Albedo	Tile	1000m	16 Dias
MCD43C3	Combined	Albedo	CMG	5600m	16 Dias
MCD43A1	Combined	BRDF-Albedo Model Parameters	Tile	500m	16 Dias
MCD43B1	Combined	BRDF-Albedo Model Parameters	Tile	1000m	16 Dias
MCD43C1	Combined	BRDF-Albedo Model Parameters	CMG	5600m	16 Dias
MCD43A2	Combined	BRDF-Albedo Quality	Tile	500m	16 Dias
MCD43B2	Combined	BRDF-Albedo Quality	Tile	1000m	16 Dias
MCD43C2	Combined	BRDF-Albedo Snow-free Quality	CMG	5600m	16 Dias
MCD43A4	Combined	Nadir BRDF-Adjusted Reflectance	Tile	500m	16 Dias
MCD43B4	Combined	Nadir BRDF-Adjusted Reflectance	Tile	1000m	16 Dias
MCD43C4	Combined	Nadir BRDF-Adjusted Reflectance	CMG	5600m	16 Dias
MOD12Q1	Terra	Land Cover Type	Tile	1000m	Anual
MCD12Q1	Combined	Land Cover Type	Tile	500m	Anual
MOD12Q2	Terra	Land Cover Dynamics	Tile	1000 m	Anual
MCD12Q2	Combined	Land Cover Dynamics	Tile	500 m	Anual
MOD12C1	Terra	Land Cover Type	CMG	5600m	Anual
MCD12C1	Combined	Land Cover Type	CMG	5600m	Anual
MOD44B	Terra	Vegetation Continuous Fields	Tile	500m	Anual

Fuente: USGS

De acuerdo con la tabla anterior, el producto seleccionado para cumplir los objetivos del proyecto es el [MOD13Q1](#) porque incluye el cálculo de los índices de vegetación NDVI y EVI que son de gran importancia para el monitoreo de cultivos, más adelante se ampliara la información acerca de estos índices. Adicionalmente, este producto ofrece disponibilidad imágenes cada 16 días, y resolución espacial de 250 metros (La máxima para este sensor),

3.5. INDICES DE VEGETACION (IV)

Una de las maneras de procesar los datos y realizar la respuesta espectral de la vegetación con relación al suelo, es por medio de los Índices de Vegetación. Los IV fueron diseñados a partir de las características de la respuesta espectral de la vegetación Verde. Se combinan la baja reflectancia de las longitudes de onda del visible con las altas reflectancias de las longitudes de onda del infrarrojo cercano del espectro electromagnético. El objetivo de esta combinación es establecer una relación entre la respuesta espectral y las variables biofísicas de la vegetación. (DAUGHTRY. 2000)

Un IV ideal debe ser capaz de responder a pequeñas variaciones en el desarrollo fenológico de la vegetación y no puede ser muy influenciado por las variaciones del tipo de suelo, o el Angulo del captura del sensor, o las condiciones atmosféricas. (DORIGO. 2007)

Existen más de 50 IV entre los cuales el NDVI y el EVI son los más comunes y utilizados en estudios y aplicaciones de varias áreas tales como, la agricultura, áreas forestales, epidemiología y monitoreo de condiciones ambientales entre otras. (MOREIRA. 2044)

Los índices de vegetación MODIS, producidos en intervalos de 16 días y en varias resoluciones espaciales, proporcionan datos consistentes para las comparaciones espaciales y temporales del verdor de la vegetación, donde se resaltan propiedades de la vegetación como, el área foliar, la clorofila y la estructura de la cubierta.

Las imágenes MODIS calculan dos índices de vegetación que se derivan de la corrección atmosférica de la reflectancia en las bandas del rojo, infrarrojo cercano, y azul. El índice de vegetación normalizado (**NDVI**), que proporciona continuidad en la series de tiempo con los sensores NOAA AVHRR para las aplicaciones históricas y el clima, y el índice mejorado de vegetación (**EVI**) que minimiza las variaciones de la vegetación y mejora la sensibilidad sobre las condiciones de una vegetación densa. Los dos productos caracterizan eficazmente el rango global de la vegetación y sus procesos.

Existe una gran variedad de algoritmos basados en las bandas del rojo e Infrarrojo, que intentan resaltar las características y condiciones de la vegetación, La formula definida por (DEERING, 1978) es:

$$NDVI = \left[\frac{Banda_{IRC} - Banda_R}{Banda_{IRC} + Banda_R} \right] * 100 \quad Ec 1$$

Donde:

- *IRC* es la banda del Infrarrojo Cercano.
- *R* es la Banda del Rojo.

El dominio de la relación NDVI es del orden de magnitud de las milésimas por lo que se multiplica por 100, para obtener cifras significativas.

El índice EVI (Índice Mejorado de Vegetación) es una combinación optimizada de las bandas en el azul, rojo e infrarrojo cercano, diseñadas para extraer los valores del verdor del dosel, independientemente de las variación del suelo y de los aerosoles atmosféricos. (FRANCOIS, 2011)

$$EVI = \left[\frac{Banda_{IRC} - Banda_R}{Banda_{IRC} + C_1 Banda_R - C_2 Banda_A + L} \right] * 2.5 \quad Ec 2$$

Donde:

- *IRC* es la banda del Infrarrojo Cercano.
- *R* es la Banda del Rojo.
- *A* es la Banda del Azul.
- *L* Es el Factor de Ajuste del Dosel
- *C₁* y *C₂* Son los pesos de resistencia del aerosol.

Cabe anotar que los datos MODIS de reflectancia de la superficie son corregidos atmosféricamente, Los coeficientes de la ecuación EVI en los productos estándar MODIS son $L=1$ $C_1=6$ y $C_2=7.5$. (FRANCOIS, 2011)

Con base en estudios comparativos de los dos índices realizados por (FRANCOIS, 2011) se ha concluido que el NDVI es más sensible a la banda del rojo, que tiene una profundidad de penetración óptica más baja en doseles, se satura muy rápidamente en áreas de alta biomasa. En contraste, el EVI es más sensible a la banda del infrarrojo cercano, y por lo tanto tiene una profundidad de penetración óptica mayor dentro de los doseles, permitiendo una sensibilidad extendida del EVI en áreas agrícolas y áreas de alta biomasa. Por esta razón, los cálculos desarrollados en este documento se realizan con base en el índice EVI únicamente.

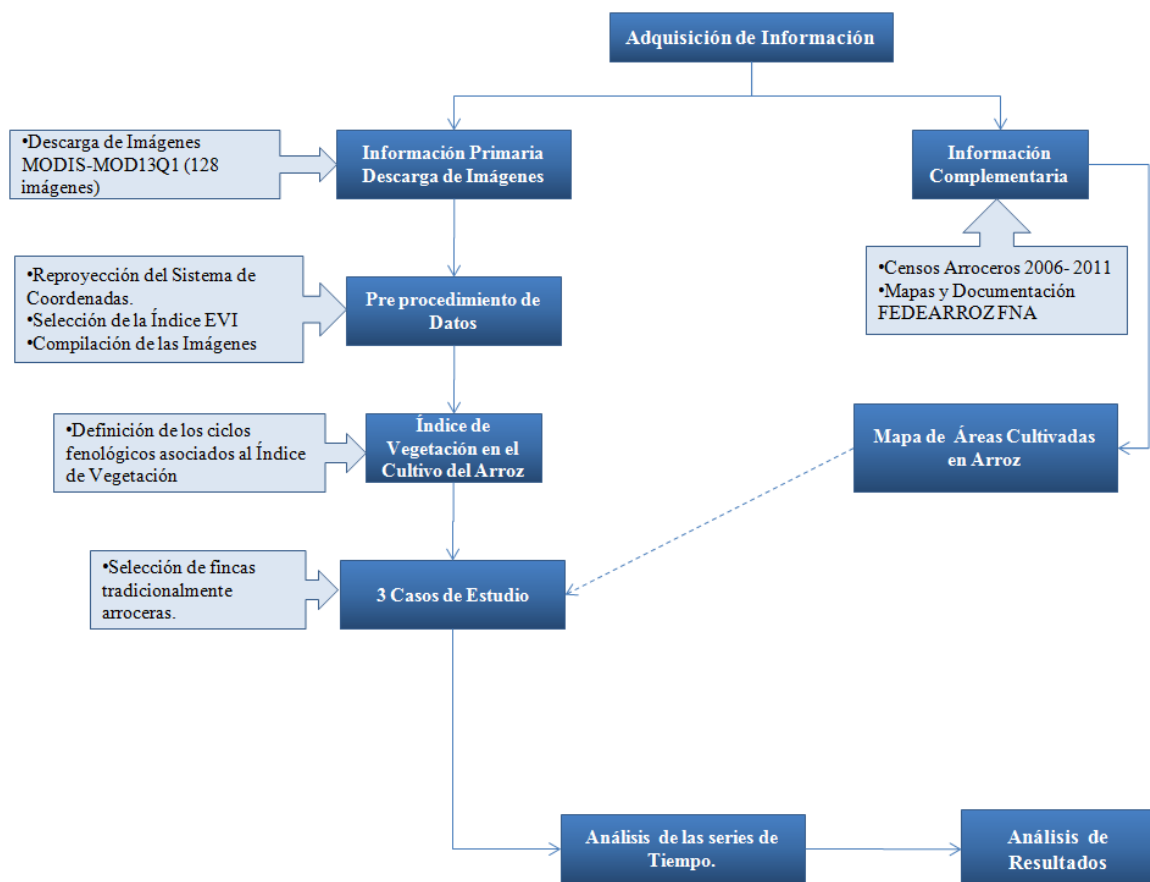
4. METODOLOGIA

La metodología a partir de la cual se desarrolla este documento se puede dividir en las siguientes etapas: 1) Adquisición de información primaria y secundaria, 2) Preprocesamiento de la información, 3) Evaluación de los índices de vegetación en los cultivos de arroz, 4) Desarrollo de los casos de estudio para evaluar la utilidad de los Índices de vegetación, 5) Análisis de las series de tiempo y 6) Análisis de resultados.

4.1. DIAGRAMA METODOLÓGICO

En la FIGURA 5 se muestra de manera general el orden de las etapas realizadas para ejecutar el presente proyecto.

FIGURA 5 DIAGRAMA METODOLGICO



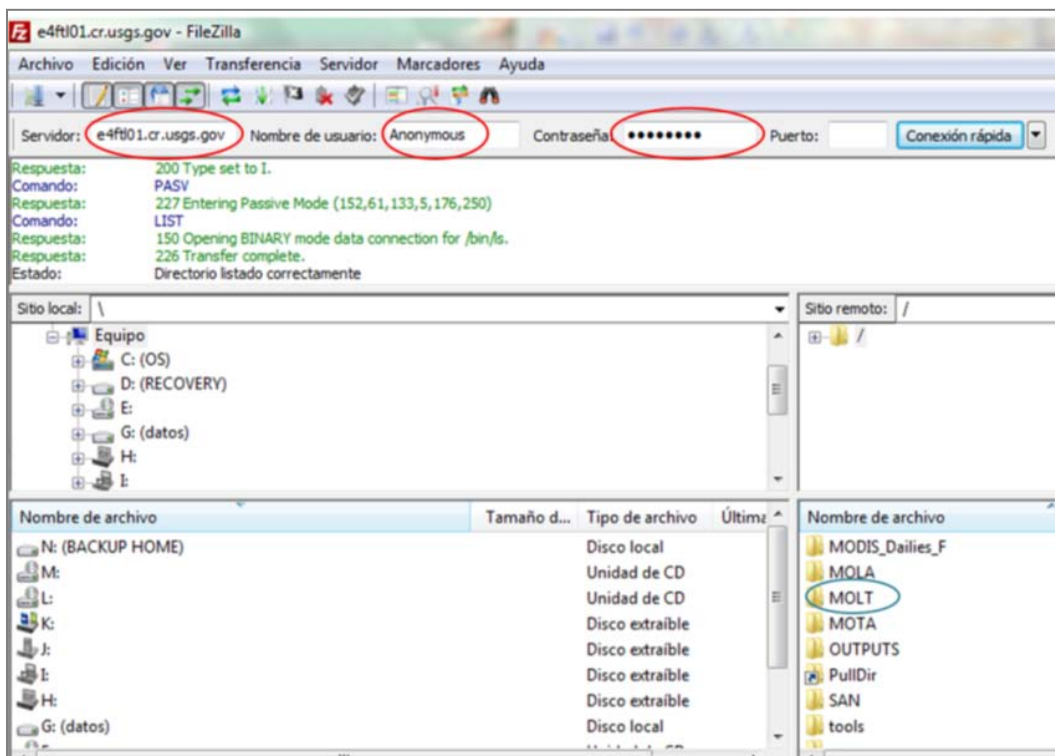
Fuente: El Autor

4.2. DESCARGA DE IMÁGENES MOD13Q1

La distribución de las imágenes MODIS se hace de manera gratuita, vía web desde el portal del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos), las imágenes son tomadas desde el satélite Terra diariamente, el USGS fusiona las imágenes tomadas durante 15 días, para generar una sola imagen con la menor cobertura de nubes posible, lo cual amplía la utilidad de estas imágenes, considerando que algunas zonas arroceras de Colombia están permanentemente cubiertas por nubes en la época de siembra y cosecha.

La consulta para la visualización de las imágenes se puede realizar desde el siguiente enlace del servicio geológico de los Estados Unidos <http://earthexplorer.usgs.gov/>, luego para realizar la descarga de las imágenes es necesario diligenciar una cuenta de registro de usuario, finalmente se accede a un servidor por medio de una dirección FTP “**e4ftl01.cr.usgs.gov**” con el nombre de usuario “**anonymous**”, como se muestra en la FIGURA 6 los campos resaltados en rojo deben ser diligenciados para ejecutar la conexión con el servidor, la contraseña es la misma que se ha creado en la sección de registro de usuario.

FIGURA 6 PARAMETROS DE ACCESO AL SERVIDOR DEL USGS

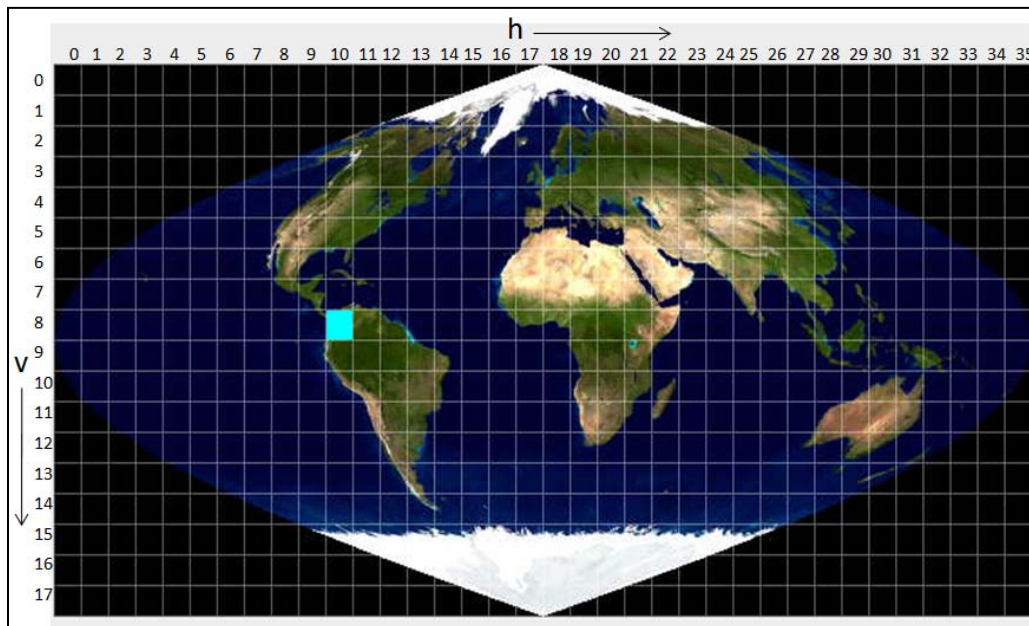


Fuente: El Autor

El campo resaltado en color azul corresponde a la localización de las imágenes MODIS tierra, como se especificó en apartados anteriores son diversos los productos que ofrece este satélite, y que pueden ser obtenidos gratuitamente en este servidor. Para el caso de este estudio el producto elegido es el MOD13Q1 que corresponde a Índices de Vegetación.

El sistema de adquisición para las diferentes regiones del mundo, funciona a partir de una grilla similar al *Path* y al *Row* de LandSat, para las imágenes MODIS esta grilla se define como *tiles*, para Colombia se usa la combinación *h10-v8* la cual tiene una cobertura aproximada del 70% del territorio nacional.

FIGURA 7 GRILLA DE REFERENCIA PARA LAS IMÁGENES MODIS



Fuente: USGS

Con los parámetros explicados en este capítulo, es posible hacer la descarga de imágenes de cualquier región del planeta desde el año 2000 hasta la actualidad en distintas resoluciones tanto de carácter espacial como espectral y temporal. En temáticas variadas como Anomalías termales, índices de vegetación, temperaturas de superficie, cobertura de la tierra, mascarar de agua... entre otras aplicaciones.

El producto de índices de vegetación MOD13Q1 contiene dos índices producidos globalmente para la superficie, NDVI y EVI. Los datos de entrada para la generación de estos índices son las imágenes MOD09A (NASA 2006) El criterio de composición de los

pixeles de las imágenes MOD13Q1 varía en función del número de imágenes libres de nubes, lo cual fue afirmado por (HUETE. 1999)

El producto MOD13Q1 está compuesto por 12 bandas que tienen las siguientes características como se muestra en la TABLA 5:

TABLA 5 BANDAS DE LAS IMÁGENES MODIS MOD13Q1

Banda	Science Data Sets (HDF Layers) (12)	UNITS	BIT TYPE	FILL	VALID RANGE	MULTIPLY BY SCALE FACTOR
1	250m 16 days NDVI	NDVI	16-bit signed integer	-3000	-2000, 10000	0.0001
2	250m 16 days EVI	EVI	16-bit signed integer	-3000	-2000, 10000	0.0001
3	250m 16 days VI Quality detailed QA	Bits	16-bit unsigned integer	65535	0, 65534	NA
4	250m 16 days red reflectance (Band 1)	Reflectance	16-bit signed integer	-1000	0, 10000	0.0001
5	250m 16 days NIR reflectance (Band 2)	Reflectance	16-bit signed integer	-1000	0, 10000	0.0001
6	250m 16 days blue reflectance (Band 3)	Reflectance	16-bit signed integer	-1000	0, 10000	0.0001
7	250m 16 days MIR reflectance (Band 7)	Reflectance	16-bit signed integer	-1000	0, 10000	0.0001
8	250m 16 days view zenith angle	Degree	16-bit signed integer	-	10000 -9000, 9000	0.01
9	250m 16 days sun zenith angle	Degree	16-bit signed integer	-	10000 -9000, 9000	0.01
10	250m 16 days relative azimuth angle	Degree	16-bit signed integer	-4000	-3600, 3600	0.1
11	250m 16 days composite day of the year	Julian day of year	16-bit signed integer	-1	1, 366	NA
12	250m 16 days pixel reliability summary QA	Rank	8-bit signed integer	-1	0, 3	NA

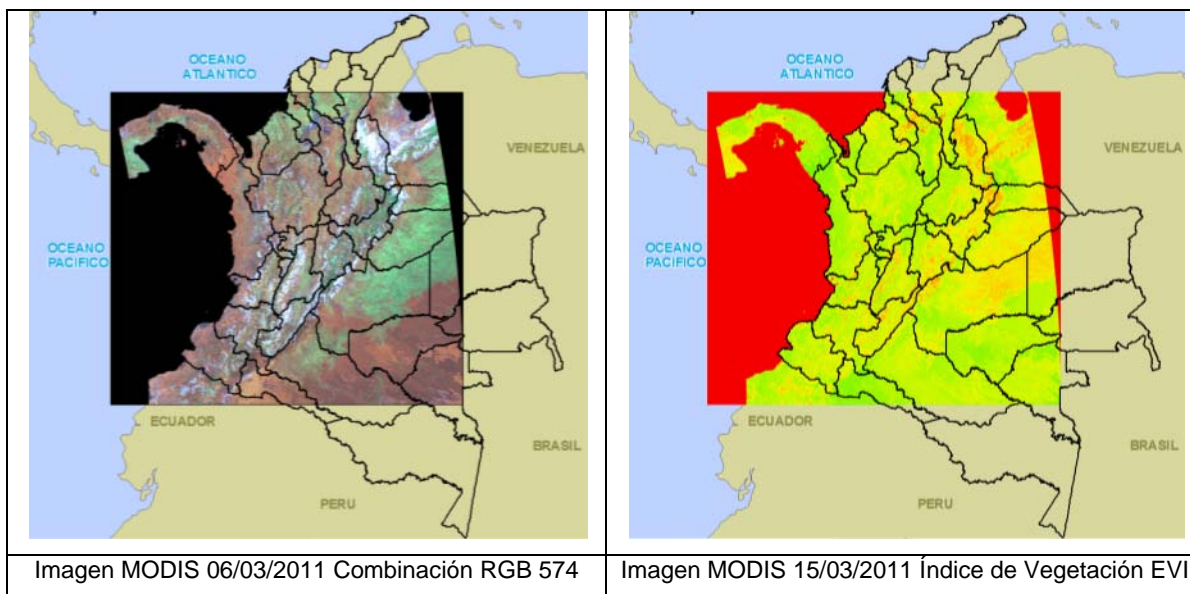
Fuente: USGS

Con la información de la tabla anterior se corrobora lo mencionado en la sección 3.4 donde se habla de la resolución espacial de la imagen de 250 metros y la resolución espacial radiométrica de 16 bits,

La banda de mayor relevancia para este proyecto es la banda 2 del Índice de Vegetación EVI, aunque cabe anotar que para estudios de uso y cobertura es útil trabajar con las bandas que contienen información en unidades de reflectancia, bandas del Rojo, Azul, Infrarrojo Cercano y Medio (Bandas 4, 5, 6 y 7).

En la FIGURA 8 se tiene la cobertura de la imagen para Colombia por lo tanto la serie de tiempo, producto de este estudio podría ser aplicada a cualquier coordenada localizada dentro de la región de cubrimiento de la imagen.

FIGURA 8 CUBRIMIENTO IMAGEN MODIS MOD13Q1 tile h10-v8



Fuente: El Autor.

4.3. PREPROCESAMIENTO DE DATOS DE ENTRADA

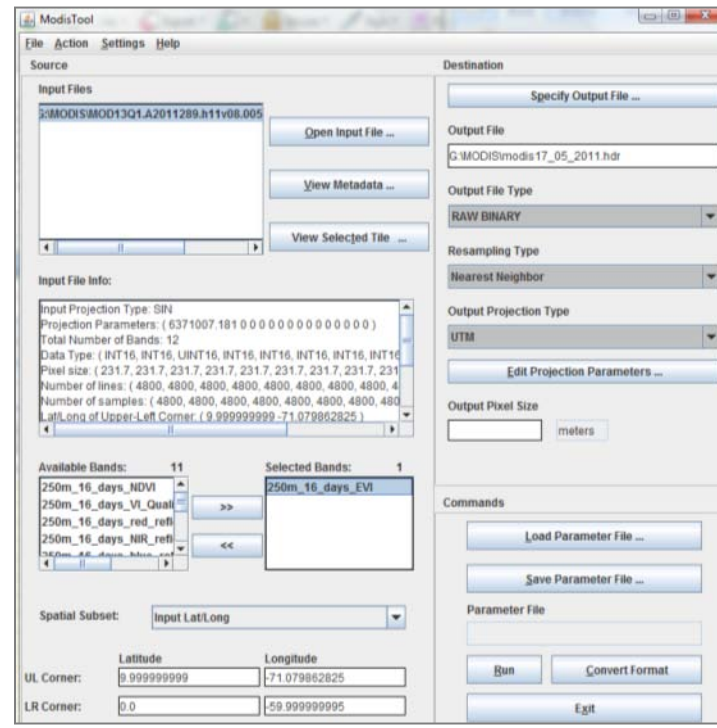
Correcciones

Un aspecto de gran importancia en el análisis de imágenes de alta resolución temporal es la eliminación de nubes, sombras u otros fenómenos que pueden ser originados por las variaciones diarias en los ángulos de observación. Para las imágenes MODIS estas correcciones ya están incluidas en el producto estándar que facilita la NASA esto no significa que no existan efectos nocivos en las imágenes, pero sí que estos efectos son reducidos (<http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/accuracy/mod09.html>) por tanto las correcciones no serán tratadas en este documento.

El formato de archivo de las imágenes en la descarga es HDF (Hierarchical Data Format), que es ligero para la transmisión de datos pero un poco lento para la visualización y tratamiento digital, por esta razón las imágenes deben ser procesadas con la Herramienta ModisTool Provista de manera gratuita por la NASA (https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool), obteniendo como resultado imágenes en formato GEOTIFF, cada una con su respectivo metadato.

En la FIGURA 9 se muestra la interface de la herramienta ModisTool, con la cual se hace la reproyección desde la proyección sinusoidal a la geográfica, definiendo el sistema de coordenadas de trabajo en UTM con Datum WGS84. ModisTool solamente permite exportar las imágenes en el formato de archivo Geotiff.

FIGURA 9 INTERFACE DE MODISTOOL



Fuente: El Autor

El procedimiento anterior es necesario realizarlo para cada una de las 128 imágenes, con la intención de tener un sistema de coordenadas unificado y garantizar la correcta superposición de las imágenes, ya que es fundamental para la consistencia de la información.

En el modulo “Available Bands” y “Selected Bands” es posible seleccionar las bandas con las que se desea trabajar que para este caso y como se menciona anteriormente es la Banda 2 correspondiente al índice EVI, este modulo es muy útil ya que evita generar información innecesaria que ocupe espacio de almacenamiento.

Considerando que el rango de la serie temporal es desde Enero de 2006 hasta Julio de 2011, en la TABLA 6 se tiene el número de imágenes por año, que fueron descargadas para un total de 128 imágenes con información del índice EVI, con una frecuencia casi de 2 imágenes por mes.

TABLA 6 NUMERO DE IMÁGENES POR AÑO

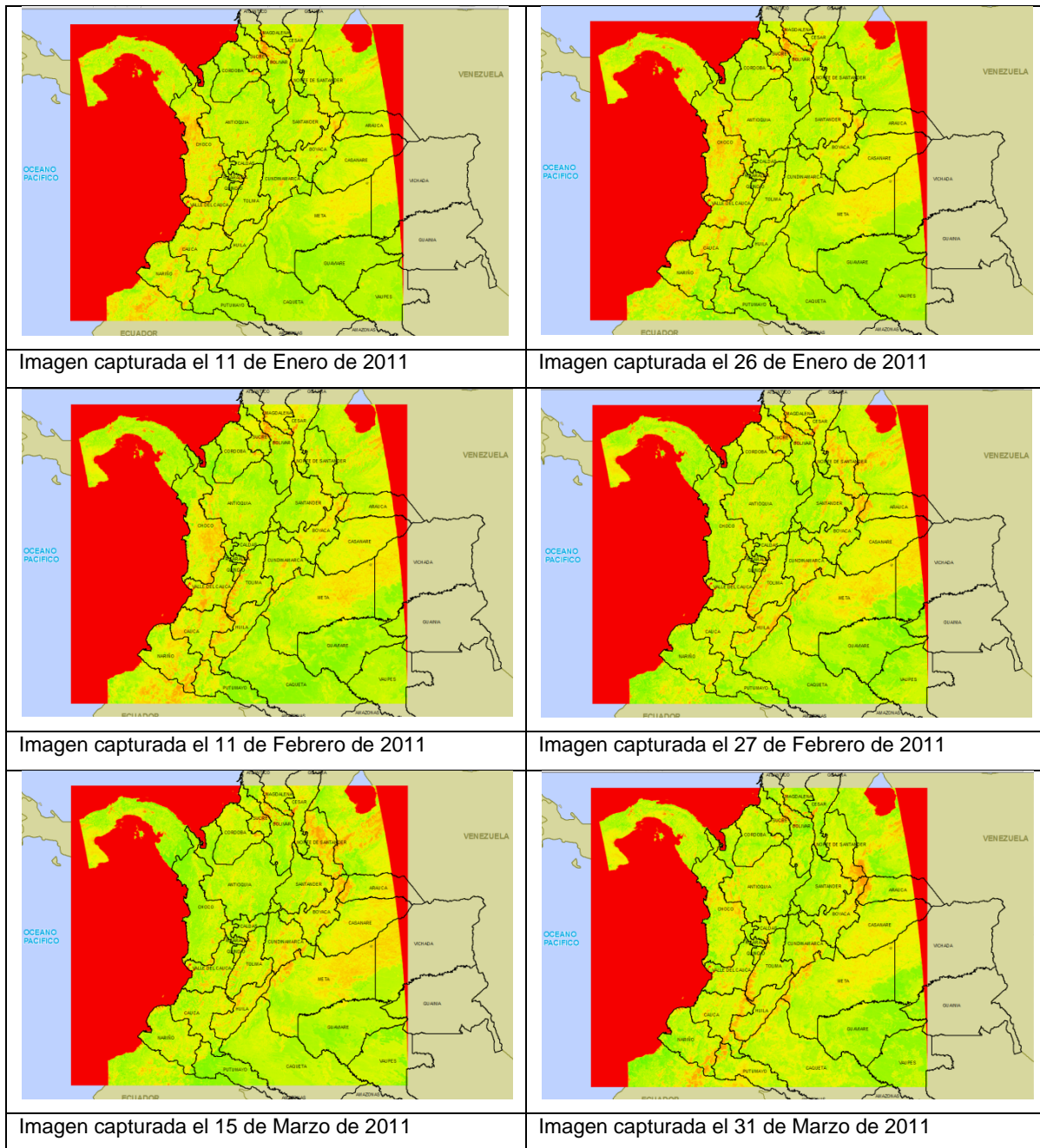
Año	# Imágenes
2006	23
2007	23
2008	24
2009	23
2010	23
2011	12
TOTAL	128

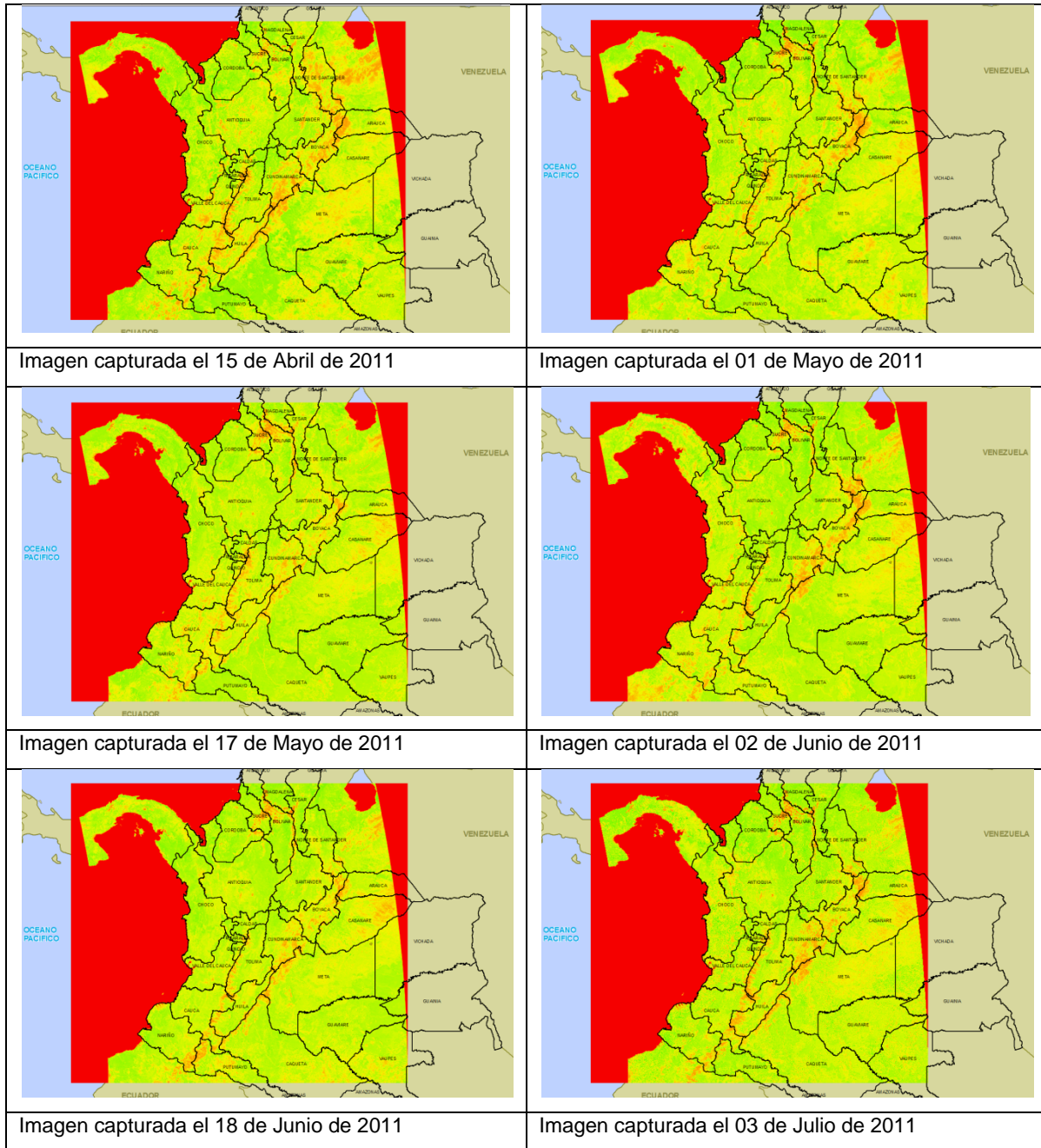
Fuente: El Autor

La resolución temporal es de 16 días, y teniendo en cuenta que el número de días por año es de 365 se tiene un promedio de 22.81 imágenes por año, lo cual es acorde con la tabla anterior.

En la FIGURA 10 se muestra la secuencia del compilado de 12 imágenes para el año 2011, la escala de colores indica una transición entre el rojo y el verde, los valores de índice EVI más bajos cercanos a cero se identifican de color rojo como el océano, los valores intermedios se tornan entre naranja y amarillo en zonas de alta humedad o baja presencia de vegetación, y finalmente los valores mayores del índice por la presencia de vegetación se identifica de color verde.

FIGURA 10 SECUENCIA DE IMÁGENES DE TRABAJO PARA 2011





Fuente: El Autor

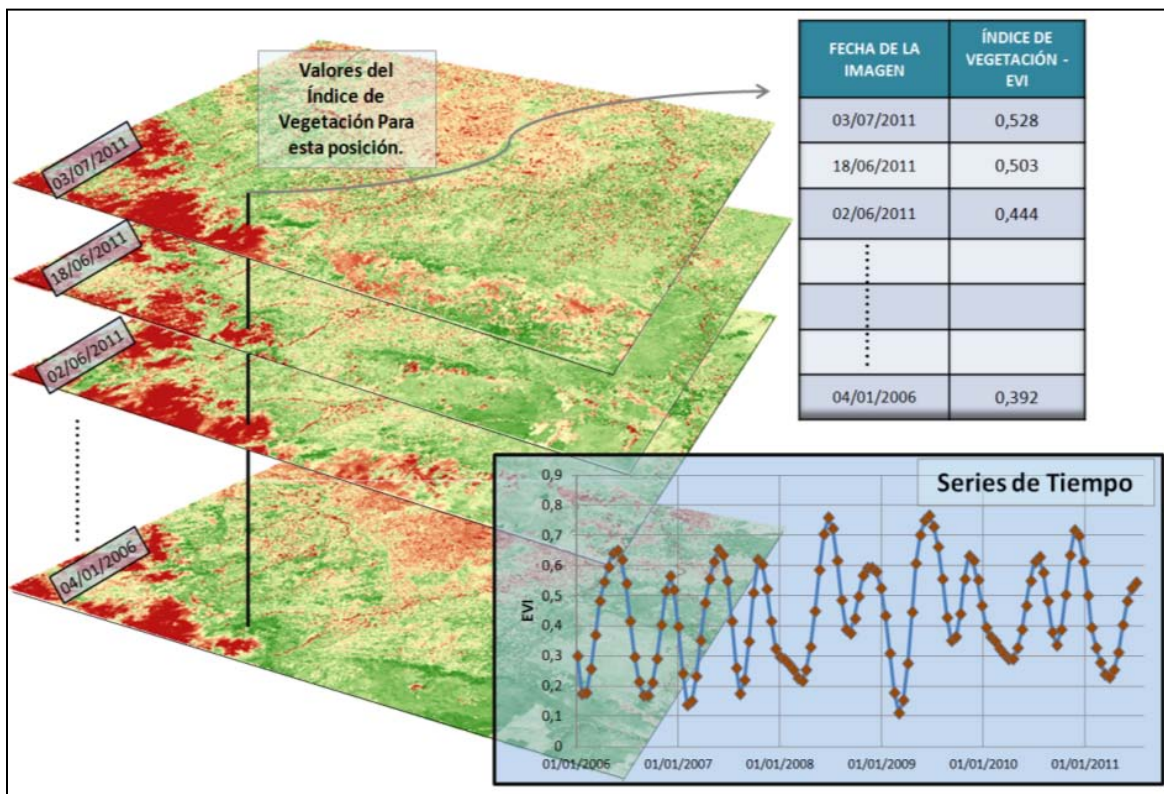
Se utilizó la herramienta ArcGIS para almacenar y agrupar las imágenes, fue necesario concentrar las imágenes por año, debido al alto requerimiento de hardware para las operaciones de consulta de los valores.

4.4. INTERPRETACION DE LAS SERIES TEMPORALES DEL INDICE DE VEGETACION EN AREAS DE ARROZ

Es importante saber que el Cultivo de Arroz es un elemento cambiante en el tiempo, que en su dinámica y proceso de crecimiento no presenta la misma respuesta en términos de biomasa y estructura foliar. Esta característica permite diferenciarlo de grandes extensiones de pasto dedicadas a ganado, que en determinando periodo del arroz puede tener una respuesta espectral similar.

Las series temporales de índices de vegetación, permiten tener una noción acerca del uso del suelo y la dinámica de las coberturas, aunque en este estudio se haga énfasis exclusivamente en el desarrollo del cultivo de arroz, se debe considerar que la utilidad de esta herramienta aplica también para cualquier ciclo agrícola, análisis de rotación de cultivos, identificación de incendios forestales, áreas de deforestación e inundación y el uso del suelo en general. Para entender mejor el manejo de la información se tiene la FIGURA 11 donde se presenta un ejemplo de la superposición de las imágenes y la consulta del valor del índice EVI en un pixel determinado, y su posterior almacenamiento y salida grafica de la serie de tiempo.

FIGURA 11 CONSULTA DE INDICES DE VEGETACIÓN

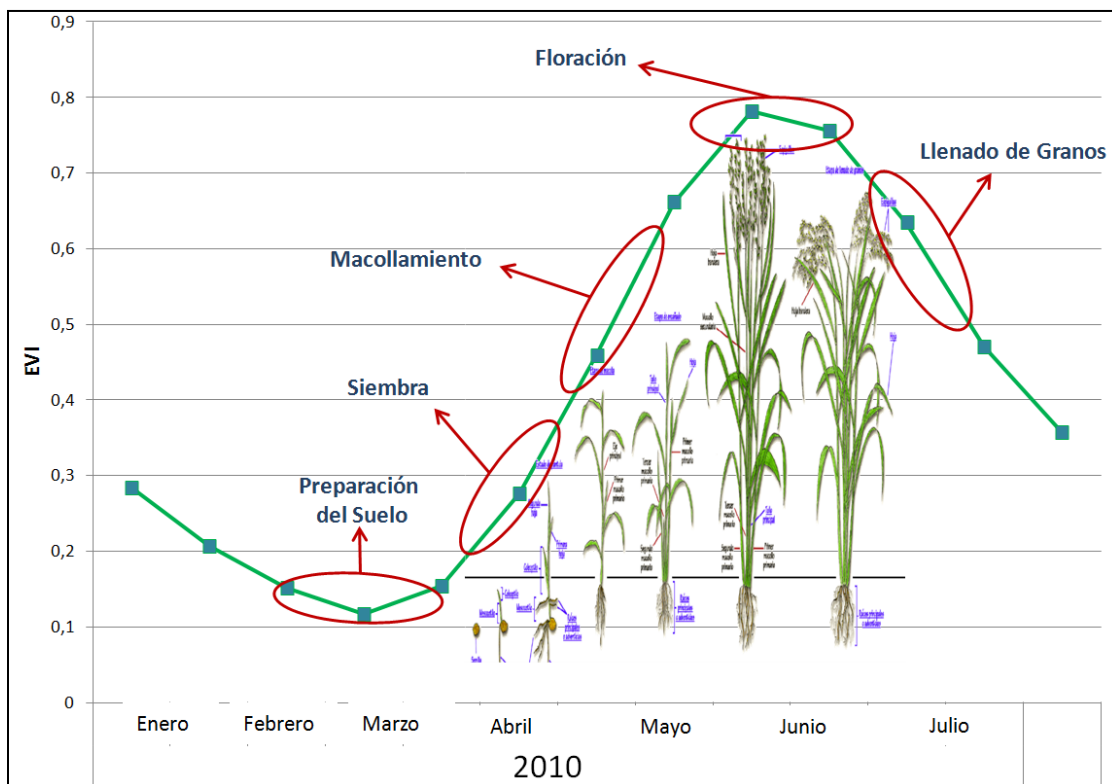


Fuente: El Autor

La figura anterior muestra un ejemplo del ciclo agrologico en un lote desde el año 2006, es evidente que la cobertura del suelo es agrícola debido a la alta variación en el tiempo del índice de biomasa y estructura foliar, si el uso de este lote fuera distinto al agrícola la curva sería suave en el tiempo y mostraría poca variabilidad.

Para identificar e interpretar correctamente la serie temporal de índices de vegetación EVI, se tiene la FIGURA 12 en la cual se presenta el ciclo vegetativo de la planta de arroz comparado con la serie temporal del índice de vegetación, un detalle de importancia para identificar el tipo de cultivo es la duración del ciclo considerado entre tres meses y medio y cuatro meses y medio.

FIGURA 12 ETAPAS DEL CICLO VEGETATIVO EN UNA SIEMBRA DE PRIMER SEMESTRE DE 2010



Fuente: El Autor

Preparación del Suelo

El EVI en su valor más bajo indica la mínima o inexistente cantidad de vegetación fotosintéticamente activa, en este caso correspondiente a la etapa de preparación del suelo, cuando se realizan procedimientos de arado y rastrillado, esta etapa puede durar entre dos o tres semanas dependiendo de las condiciones y requerimientos del suelo.

De los agricultores que cosechan en segundo semestre un porcentaje alto realiza quemas para preparar inmediatamente el suelo para el siguiente cultivo, esto supone un valor del EVI por debajo del 0.1. Mientras que los agricultores que no realizan quema, tienen la opción de “reincorporar” quiere decir que reintegran los residuos de la cosecha con el material orgánico del suelo, esta actividad implica una disminución en el EVI con valores cercanos al 0.2.

Etapa de Siembra y Macollamiento

La etapa de siembra comienza a mostrar material vegetal en aproximadamente entre 15 y 20 días por lo tanto el índice toma valores ascendentes a medida que se germina la semilla, posteriormente el macollamiento corresponde a la fase vegetativa del cultivo en la cual se presenta el crecimiento foliar que puede tomar entre 45 y 60 días dependiendo de las condiciones de precipitación, el brillo solar, la variedad empleada y la calidad en la preparación del suelo entre otros factores. Se debe tener en cuenta que esta es la etapa de mayor demanda de agua del cultivo, esta es una de las razones por la cual los agricultores definen su época de siembra en las áreas del sistema secano, buscando que la etapa de macollamiento coincida con los mayores niveles de precipitación del año.

Etapa de Floración

La etapa de floración corresponde con los valores más altos de EVI, donde el índice tiene los mayores valores y por lo tanto se asume el mayor contenido de clorofila y la etapa más vigorosa de la planta. En este punto es necesario decir que aunque la planta sea muy vigorosa y tenga altos niveles de clorofila no indican necesariamente un alto rendimiento del cultivo, debido a que estas características pueden estar relacionadas con la variedad de la semilla empleada por el agricultor, así, algunas variedades logran que la hoja de la planta sea vigorosa y no necesariamente esto quiere decir que la planta alcance altos niveles de producción del cereal.

Etapa de Maduración

Una vez el cultivo alcanza la etapa de floración, la planta comienza la etapa de llenado de la panícula y la generación de los granos, la planta se torna de un color amarillo debido al consumo de la clorofila además de un decrecimiento en su tamaño, lo cual conlleva a la disminución de los valores del índice EVI. En esta etapa el cultivo está preparado para ser cosechado, en un periodo de tiempo que oscila entre 20 y 30 días.

4.5. CASOS DE ESTUDIO

Para evaluar la utilidad de esta metodología se decidió realizar tres casos prácticos en fincas que tradicionalmente han sido productoras de arroz en el Departamento del Meta. Para la selección de estas fincas se conto con la colaboración de funcionarios de FEDEARROZ que trabajan en la zona, y conocen de primera mano la información tanto actual como histórica de estas fincas.

Los casos de uso se localizaron en distintas regiones del Departamento del Meta, el Caso 1, se encuentra en la región tradicionalmente arroceras denominada Pompeya en el Municipio de Villavicencio. El Caso 2, está localizado en el municipio de Puerto Gaitán en la región de la altillanura denominada por los expertos como la nueva frontera agrícola del país. El Caso 3, está en la región del Ariari en el municipio de Granada, otra zona por tradición arroceras.

Debido a la baja resolución espacial de las imágenes de trabajo, fue necesario utilizar un mapa temático de referencia con la distribución de áreas cultivadas en arroz en el primer semestre de 2011 suministrado por FEDEARROZ FNA, con el objetivo de garantizar que el seguimiento se realice en áreas que tradicionalmente han cultivado arroz.

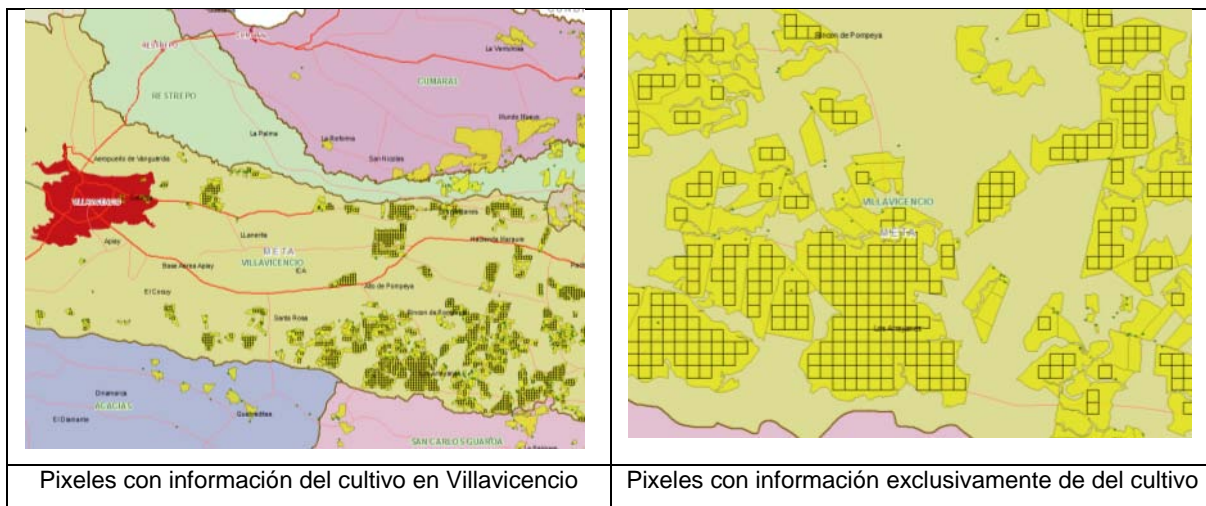
Cabe aclarar que la metodología planteada en este documento está directamente condicionada por la disponibilidad de este mapa ya que la resolución espacial del sensor MODIS no permite delimitar a escala detallada las áreas de arroz.

Los municipios de Villavicencio y Granada en la última década se han caracterizado por cultivar arroz, de acuerdo con los datos históricos recolectados en los censos que Fedearroz realiza anualmente en la región de los llanos. Esta base de datos sirvió de insumo para seleccionar las fincas que cumplen con las características de área necesarias para las imágenes MODIS. Ya que con una resolución espacial de 250 metros, cada pixel abarca 6.25 Ha, por lo cual las fincas seleccionadas tienen un área sembrada mayor a 30 Ha para garantizar que no se mezcle la información del pixel con otro tipo de coberturas y su información corresponda exclusivamente al cultivo.

Para la selección de las áreas a evaluar se tuvieron en cuenta fincas que históricamente han cultivado arroz y de las cuales se tiene registro en la base de datos de FERDEARROZ, con la intención de asociar los índices de vegetación con información del cultivo, como por ejemplo, Fecha de Siembra, Fecha de cosecha, Rendimientos, Variedad de Semilla, entre otras características.

Para identificar los pixeles que se cruzan con los cultivos de arroz, fue necesario generar una cuadrícula en formato vector para identificar la posición de los pixeles, para traslaparla con la capa de cultivos de arroz, con este procedimiento es posible identificar donde están localizados los pixeles que almacenan información relacionada con los cultivos de arroz.

FIGURA 13 EJEMPLO DE DISPONIBILIDAD DE PÍXELES SOBRE CULTIVOS DE ARROZ



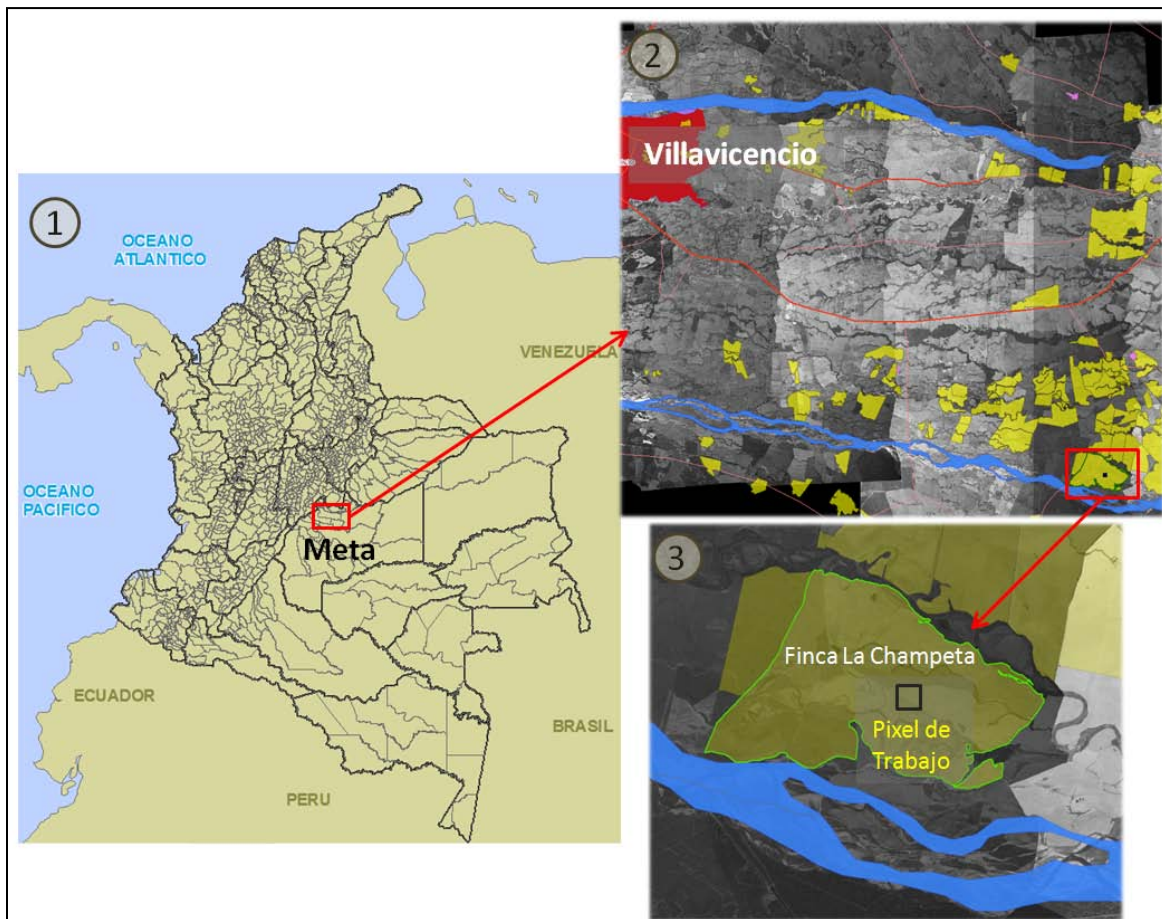
Fuente: SIG FEDEARROZ FNA

Una vez realizado este procedimiento se debe tener en cuenta que los pixeles deben estar contenidos completamente dentro de las áreas de arroz, para garantizar que la información sea completamente del cultivo y que no se mezcla con información de otro tipo de cobertura, que pueda alterar los valores de los índices de vegetación.

4.5.1. CASO 1 Finca LA CHAMPETA – VILLAVICENCIO, META

De acuerdo con los datos recopilados a partir del censo arrocero que se realiza anualmente desde el año 1999 en la región de los llanos, la finca La Champeta está localizada en la vereda Rincón de Pompeya de Villavicencio en el departamento del Meta, aproximadamente a 40 Km de la ciudad de Villavicencio (Ver FIGURA 14). El sistema de cultivo del productor es seco mecanizado, la finca cuenta con un área total de 400 Ha de las cuales en promedio siembra 240 ha en arroz en el primer semestre del año. El agricultor ha sido el mismo arrendatario de la finca para el periodo de estudio, lo cual puede asociarse a prácticas similares año tras año pero ya se evaluará más adelante. Esta finca es tradicional en el sector arrocero del Municipio.

FIGURA 14 LOCALIZACION FINCA LA CHAMPETA Y PIXEL DE TRABAJO

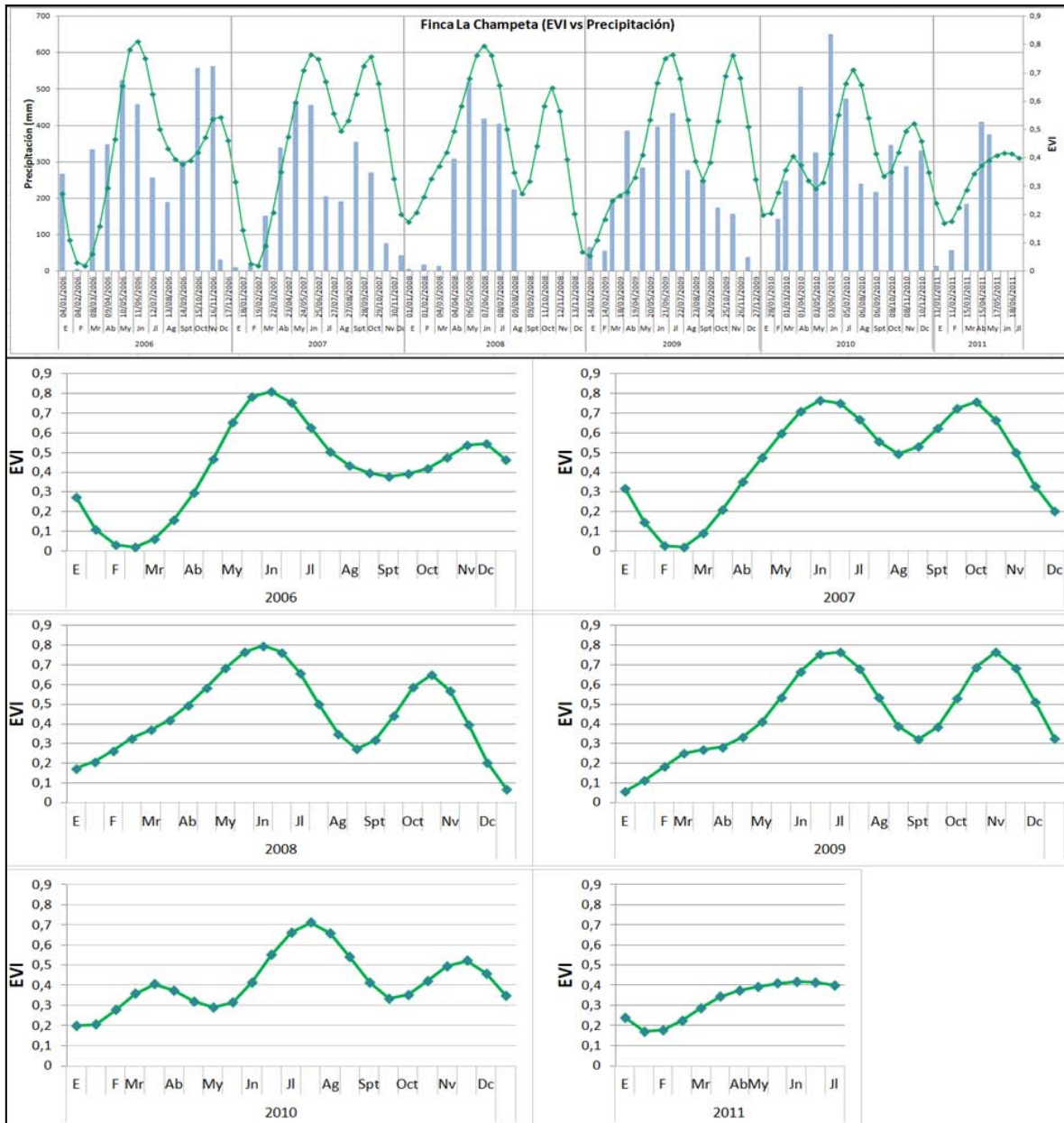


Fuente: El Autor y SIG FEDEARROZ FNA

La serie de tiempo comprende datos desde Enero de 2006 hasta Julio de 2011, con un intervalo en los registros de 16 días. En la parte superior de la FIGURA 15 se tiene la serie de tiempo completa asociada con datos de precipitación de la estación

meteorológica La Libertad (IDEAM). En la parte posterior de la figura la serie esta fraccionada año por año, para una mejor visualización de la información. En esta región el régimen de lluvias presenta déficit de agua en los meses de Enero a Marzo, y excesos de agua entre Abril y Noviembre (FEDEARROZ, 2011).

FIGURA 15 FINCA LA CHAMPETA - INDICE EVI 2006 - 2011



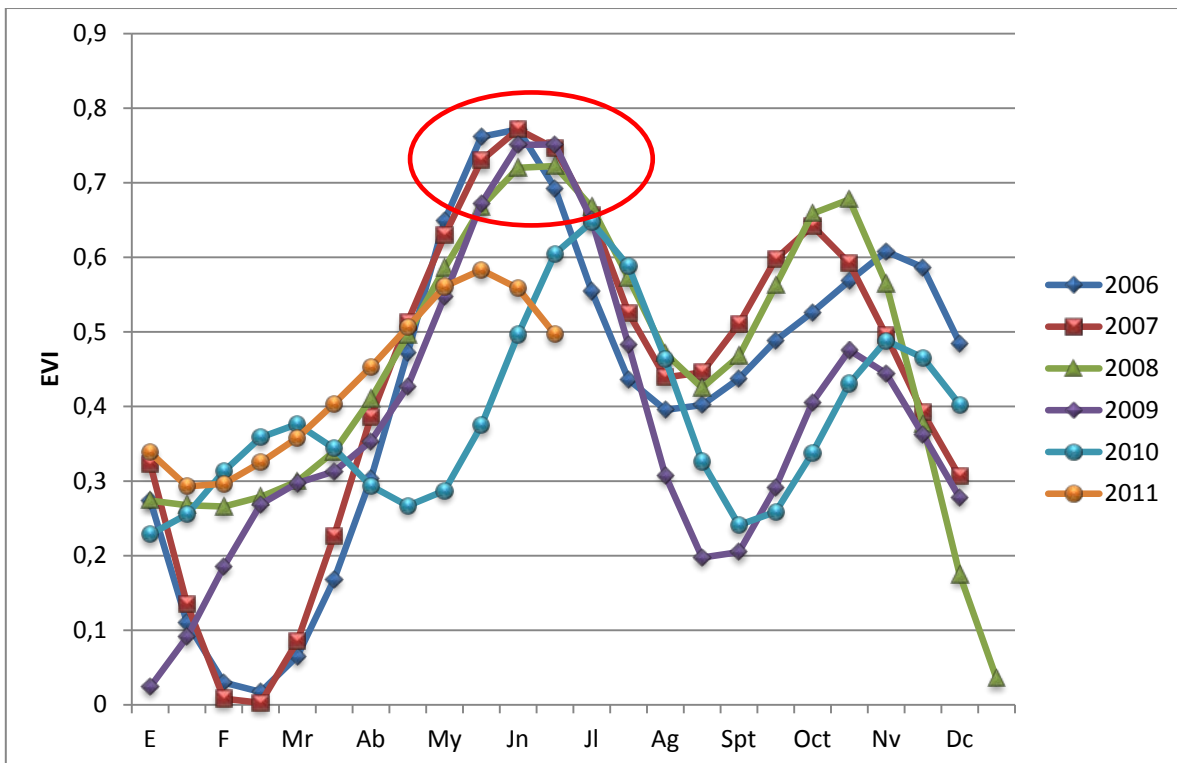
Fuente: El Autor (Ver ANEXO 1 para mas detalles)

Las fechas de siembra en esta región de Villavicencio al igual que en todas las zonas donde se cultiva en sistema seco, están influenciadas en gran proporción por el régimen de lluvias y la disponibilidad de agua para el cultivo, como se observa en la grafica anterior en la parte superior, las siembras de primer semestre buscan encontrar la etapa de macollamiento con la época de mayores lluvias, para 2009 hubo un déficit en la cantidad de agua disponible en los meses de Mayo, Junio y Julio en comparación con años anteriores, esto no afecto de manera significativa la producción del cultivo.

La serie de tiempo muestra el ciclo del cultivo que con base en los registros se conoce que en primer semestre se siembra arroz y en el segundo semestre del año para rotar se siembra soya, cultivo que tiene un ciclo fenológico similar al del arroz.

En la FIGURA 16 se aprecia que en los años 2006, 2007, 2008, 2009 y 2011 la fecha de siembra estuvo siempre entre finales de Marzo y principios de Abril, mientras que en 2010 el índice indica una fecha de siembra más tardía y un manejo diferente del cultivo ya que la duración del cultivo es inferior comparada con los años anteriores

FIGURA 16 FINCA LA CHAMPETA – INDICE EVI ANUAL SUPERPUESTO



Fuente: El Autor

En la Etapa de floración o espigadura, cuando la planta alcanza su estado de mayor vigorosidad el Índice de Vegetación alcanza los máximos valores de EVI, por lo tanto esta etapa corresponde a los picos en cada ciclo y en los cultivos de arroz los valores máximos oscilan en un rango entre 0.58 y 0.78, mientras que los picos en la soya oscilan entre 0.48 y 0.68, esto indica que el cultivo de arroz tiene una estructura foliar más robusta que el cultivo de soya.

Los valores entre Enero y Febrero de los años 2006, 2007 y 2009, son los más bajos de la serie temporal, esto es debido a que es la época de preparación del suelo y en ocasiones se realizan prácticas como la quema del lote, para limpiar los residuos de la siembra anterior lo cual genera una ausencia completa de biomasa y por lo tanto el Índice presenta valores casi nulos.

El área definida por el círculo rojo en la FIGURA 16, indica un comportamiento similar del cultivo en su estructura foliar con valores por encima de 0.7 del índice durante los años 2006, 2007, 2008 y 2009, en los que el productor obtuvo los rendimientos más altos de acuerdo con los registros, posteriormente en 2010 hay disminución tanto del valor máximo del índice como del rendimiento obtenido (Ver TABLA 7), y en 2011 esta tendencia se repite con valores más críticos en términos de los rendimientos en donde el máximo valor del índice no supera el 0.6.

TABLA 7 FINCA LA CHAMPETA - REGISTRO DE LOS CENSOS

FINCA	LA CHAMPETA					
Año y Semestre	2006A	2007A	2008A	2009A	2010A	2011A
Área Sembrada Ha	250	380	400	235	200	120
Mes de Siembra	Marzo	Marzo	Marzo	Abril	Abril	Marzo
Mes de cosecha	Julio	Julio	Julio	Septiembre	Agosto	Julio
Variedad	Inp 1550	Fortaleza	Fed 369	Inp 1550	Fortaleza	Fortaleza
Rendim Bult/ha	80	80	95	80	75	50

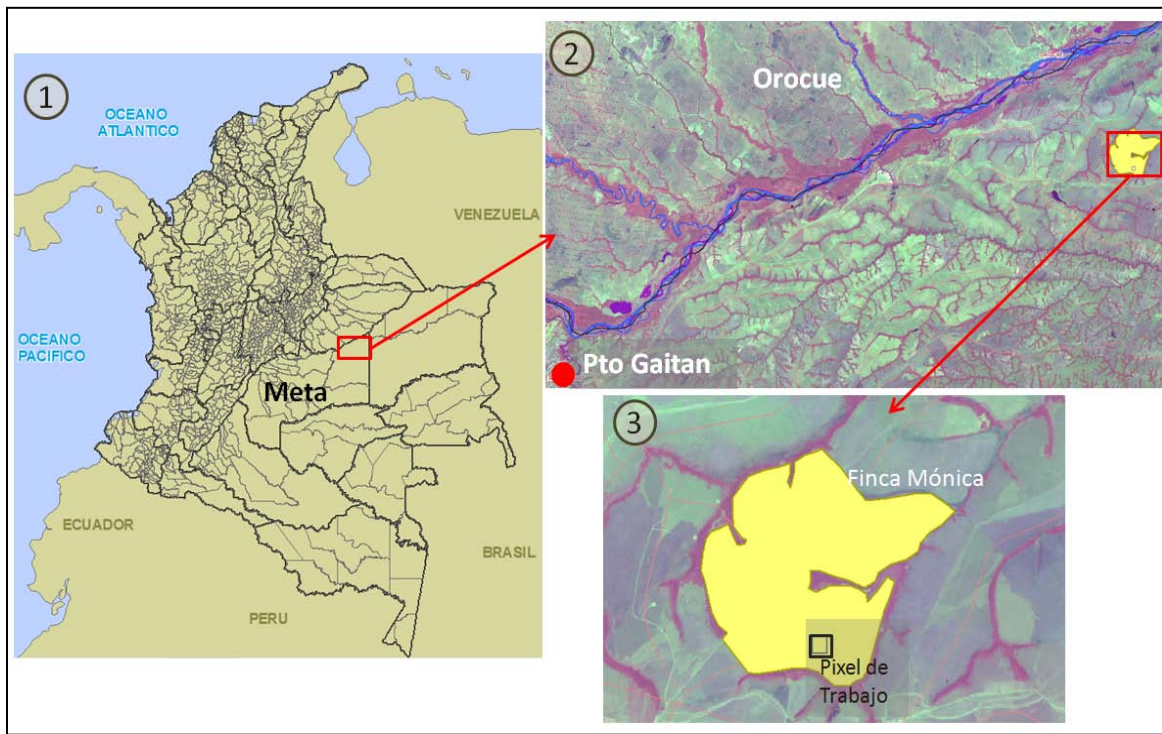
Fuente: FEDEARROZ FNA

4.5.2. CASO 2 Finca MÓNICA – PUERTO GAITAN, META

La finca Mónica propiedad del Grupo empresarial Mónica de Colombia está localizada en la vereda Carimagua de Puerto Gaitán en el departamento del Meta, aproximadamente a 114 Km del centro poblado de Puerto Gaitán (Ver FIGURA 17). El sistema de cultivo del productor es secano mecanizado, la finca cuenta con un área total de 6500 Ha de las cuales en promedio siembra 805 ha en arroz en el primer semestre del año. En este caso el productor es propietario de la tierra aproximadamente desde 2009. El tipo de semilla empleado en todas las siembras es certificada.

Esta zona es denominada como altillanura y es considerada por algunos expertos como la nueva frontera agrícola del país, con condiciones muy particulares del suelo como baja fertilidad, altas concentraciones de aluminio y poca materia orgánica (GOBERNACION DEL META. 2009). Esta zona es dedicada tradicionalmente a la ganadería, y recientemente también a la explotación de hidrocarburos, sin embargo, en términos de agricultura se han venido realizando inversiones importantes para el manejo de los suelos para cultivos como la caña, soya y arroz.

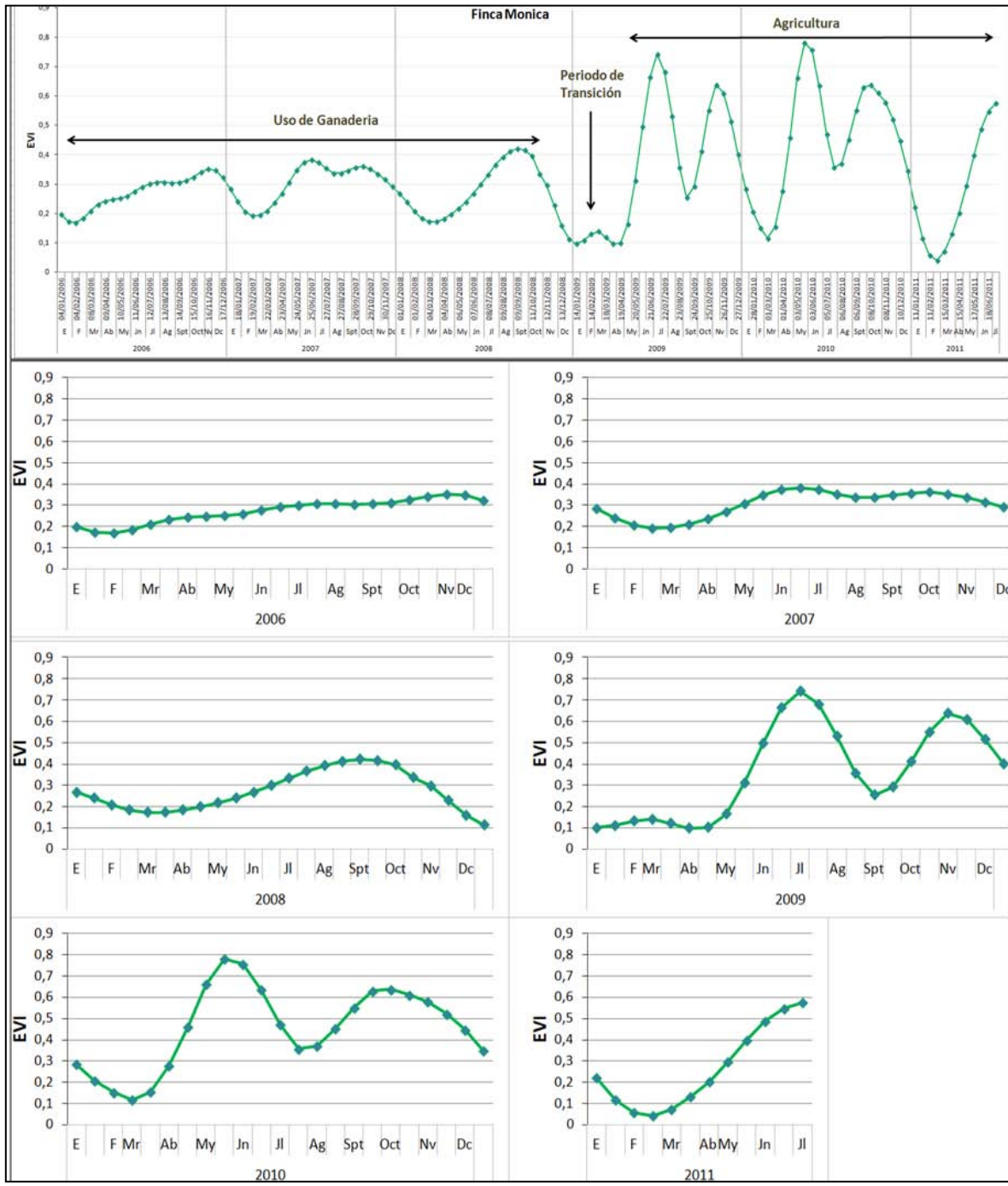
FIGURA 17 LOCALIZACION FINCA MONICA Y PIXEL DE TRABAJO



Fuente: El Autor y SIG FEDEARROZ FNA

Es bastante interesante observar esta serie de tiempo (Ver FIGURA 18) ya que se aprecia el cambio de uso del suelo. Inicialmente durante los años 2006, 2007 y 2008 se observa una variación anual leve en el índice. Durante este periodo el uso del suelo fue ganadería, el cual tiene asociado una cobertura de pastizales, la variación del índice sucede debido a que en la región de la altillanura hay déficit de agua durante Enero y febrero, y exceso de agua entre Abril y Octubre (GOBERNACION DEL META. 2009), y como se aprecia en la figura estos periodos del año corresponden con el comportamiento de los pastizales que responden a la presencia de agua, tornándose más vigorosos y con mejores niveles de clorofila y oscila con valores entre 1.4 y 4.2 del índice EVI, mientras que para el año 2009 es evidente la intervención del suelo entre enero y abril, de acuerdo con los datos de registro, esta es una época de adecuación de suelos para la agricultura, en los años posteriores es evidente que el uso del suelo ha cambiado y por lo tanto el comportamiento del índice de vegetación también, con valores mínimos de hasta 0.5 y máximos de hasta 8, un rango más amplio que en los años anteriores.

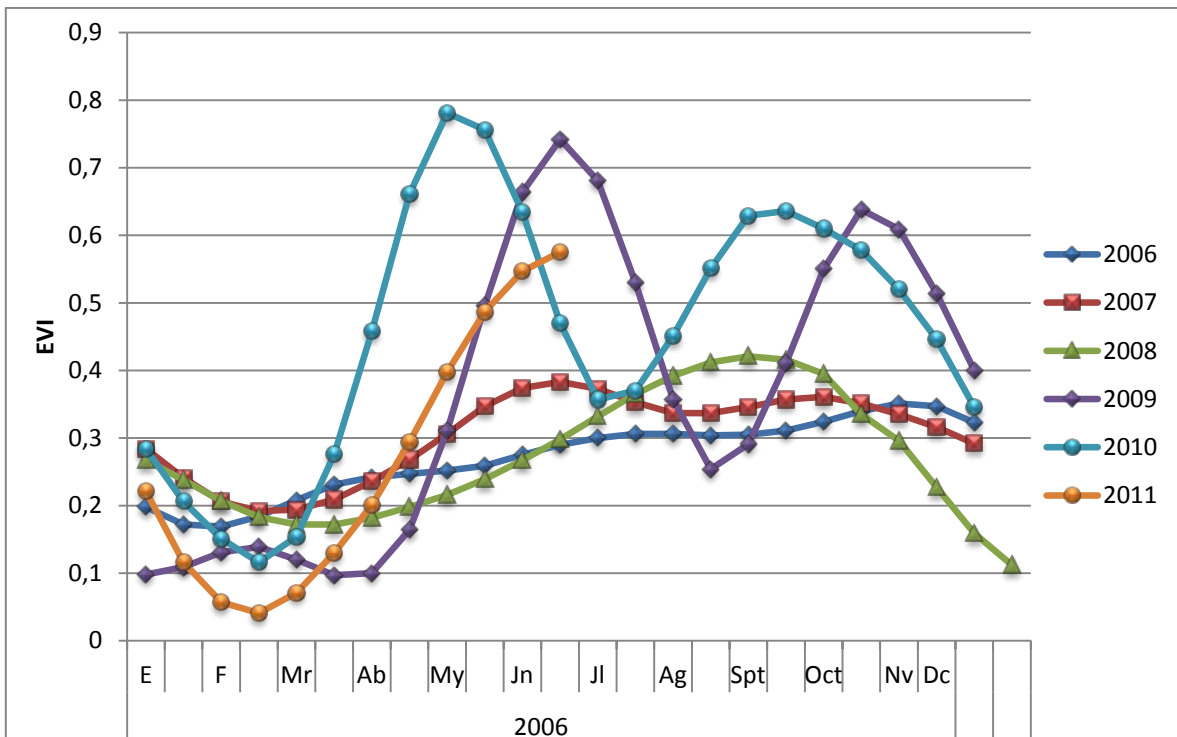
FIGURA 18 FINCA MONICA - INDICE EVI 2006 - 2011



Fuente: El Autor (Ver ANEXO 2 para mas detalles)

Observando los datos de la FIGURA 19 el comportamiento del cultivo para los años 2009 y 2010 tienen una curva similar en términos de la duración del cultivo y los valores en su punto máximo, sin embargo, en 2011 se aprecia una curva de menor altura más extendida en el tiempo, y que coincidentalmente tiene asociada un rendimiento menor al obtenido en los años anteriores (ver TABLA 8). El bajo rendimiento en esta finca no está asociado con el clima ni con el tipo de suelo, sino a manejos inadecuados del cultivo por parte del productor, según Agrónomos de FEDEARROZ.

FIGURA 19 FINCA MONICA – INDICE EVI ANUAL SUPERPUESTO



Fuente: El Autor

En los años 2009, 2010 y 2011 los rendimientos para primer semestre en los cultivos de arroz fueron de 64, 82 y 34 Bultos/Ha respectivamente (Ver TABLA 8), como ya se menciona en la definición de la Etapa de la Floración en el Apartado 4.4 altos valores del EVI no indican mejores rendimientos del cultivo, sin embargo, para este ejercicio puntual, existe una correlación ya que en 2010 la producción fue la mayor 82 bultos/Ha y el índice alcanzó su mayor valor con 0.78, aun así, es necesario aclarar que el rendimiento de un cultivo es el resultado de una serie de factores, tanto agronómicos como ambientales, por lo que resultaría equivoco concluir que a mayor nutrición y vigorosidad de la planta se presentan mayores rendimientos.

TABLA 8 FINCA MONICA - REGISTRO DE LOS CENSOS

FINCA	MONICA		
Año y Semestre	2009A	2010A	2011A
Área Sembrada Ha	500	915	1000
Mes de Siembra	Abril	Marzo	Marzo
Mes de cosecha	Agosto	Julio	Julio
Variedad	Línea 30	Fortaleza	ACD 2540
Rendim Bult/ha	64	82	37

Fuente: FEDEARROZ FNA

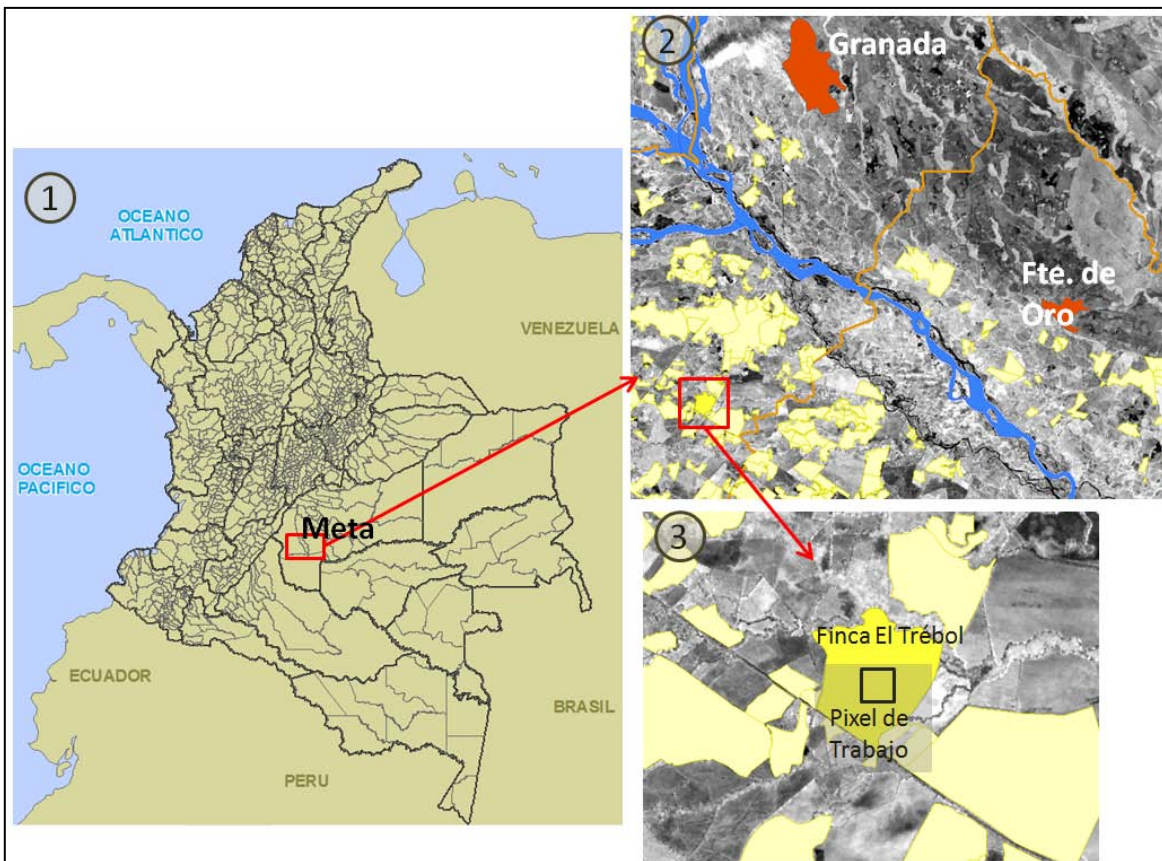
Las variedades utilizadas en esta finca han cambiado para cada periodo, podría decirse que el productor no tiene predilección por ninguna variedad y el comportamiento de no se ajusta a sus expectativas.

4.5.1. CASO 3 Finca EL TRÉBOL – GRANADA, META

Esta finca está localizada al sur del departamento del Meta como se aprecia en la FIGURA 20, en el Municipio de Granada en la región del Ariari, denominada así, por la gran influencia que ejerce el río Ariari en los municipios de Granada y Fuente de Oro principalmente, es una zona tradicionalmente arrocera y con buenas vías de acceso, donde la precipitación muestra déficit entre los meses de Enero y Marzo, y excesos de agua entre Abril y Octubre (FEDEARROZ, 2011).

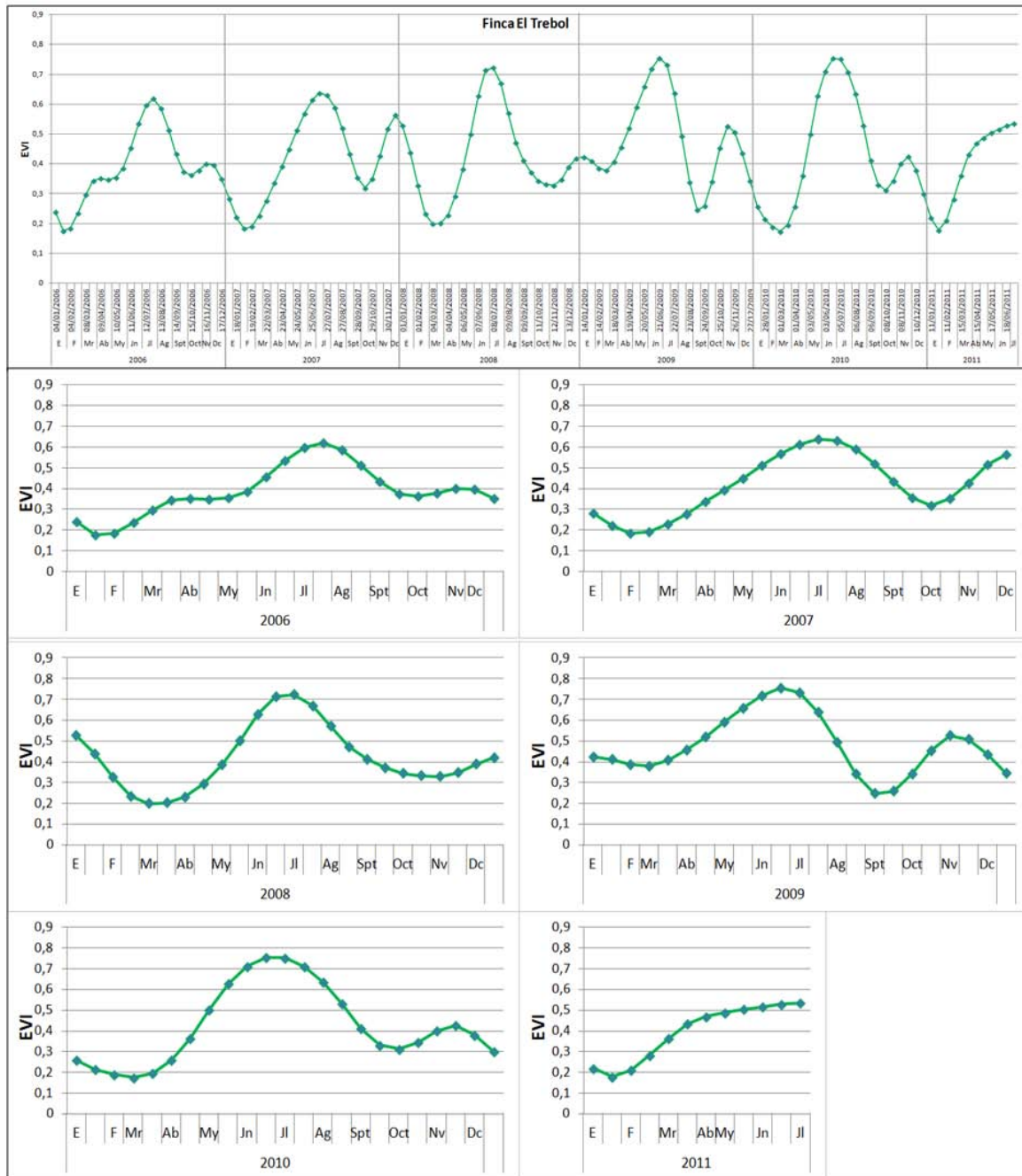
La finca El Trébol tiene un área de 48 Ha, y utiliza el sistema de cultivo seco mecanizado aprovechando la buena disponibilidad de agua que tiene la zona, El Trébol desde 2006 siembra en promedio 46 Ha,

FIGURA 20 LOCALIZACION FINCA EL TREBOL Y PIXEL DE TRABAJO



Fuente: El Autor y SIG FEDEARROZ FNA

FIGURA 21 FINCA EL TREBOL - INDICE EVI 2006 - 2011



Fuente: El Autor (Ver ANEXO 3 para mas detalles)

Como se observa en la FIGURA 21, el comportamiento del cultivo ha tenido características similares año tras año, algunos con valores más altos del EVI como 2009 y 2010, pero es de resaltar que en 2011 se presenta un comportamiento atípico del EVI, de acuerdo con la TABLA 9 de registros, se tiene que en 2011 el productor decidió dividir el lote en dos unidades productoras de arroz de 22 Ha y 25 Ha, con fechas distintas de siembra, esto evidentemente afecta la respuesta del EVI ya que la cobertura es discontinua y el pixel está tomando tiempos distintos de ambas unidades productoras, lo cual produce un índice EVI alterado.

Para los años 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010, se tienen ciclos de siembra normales que en 2007, 2009 y 2010 rotaron con soya, de acuerdo con los valores mínimos del EVI se puede concluir que el productor no realiza quemas en el cultivo, porque el índice muestra la presencia de alguna cobertura que puede estar asociada con el "Tamo" (residuo vegetal que queda luego de la cosecha) y que en ocasiones es removido por métodos de quema y en otras ocasiones es reincorporado de nuevo al suelo para reutilizar los nutrientes vegetales.

En la TABLA 9 se tiene el registro completo de la finca El Trébol obtenido de Censos anuales que realiza Fedearroz,

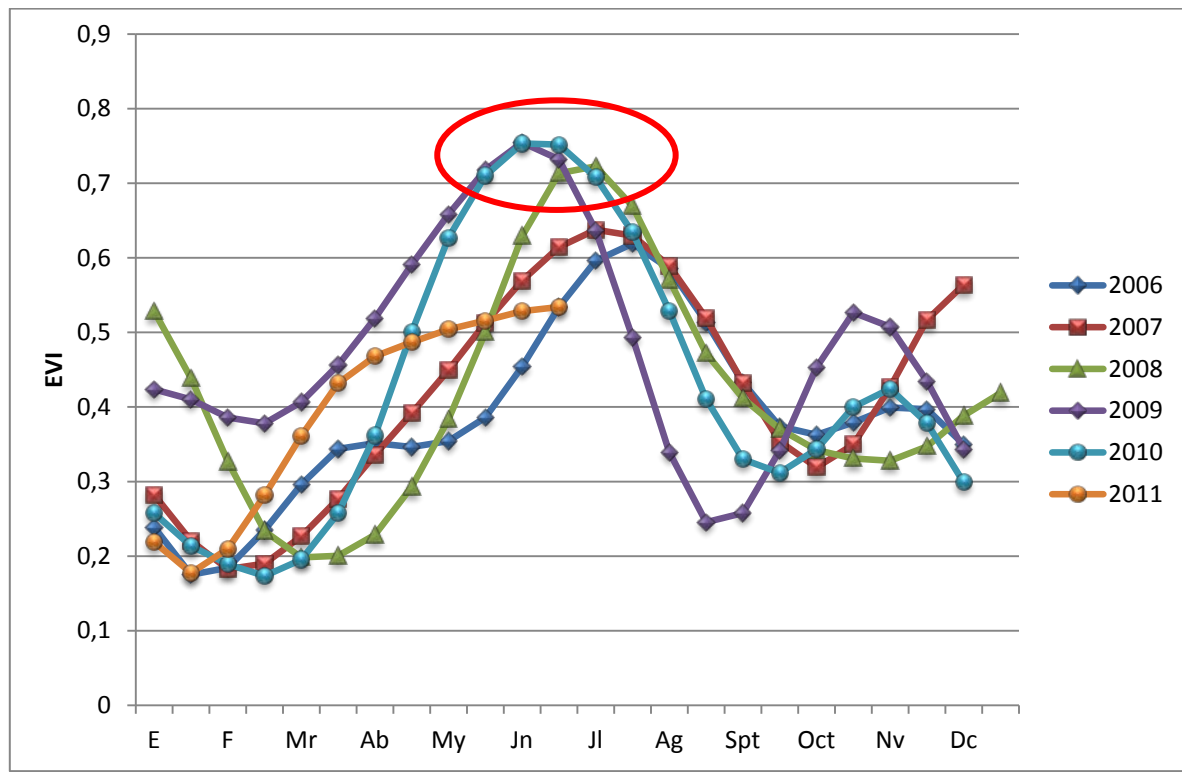
TABLA 9 FINCA EL TREBOL - REGISTRO DE LOS CENSOS

FINCA	EL TREBOL					
Año y Semestre	2006A	2007A	2008A	2009A	2010A	2011A
Área Sembrada Ha	45	45	45	48	48	22 y 25
Mes de Siembra	Abril	Marzo	Abril	Abril	Marzo	Marzo y Abril
Mes de cosecha	Agosto	Agosto	Septiembre	Agosto	Agosto	Agosto y Sept.
Variedad	Progreso 425	Fortaleza	Inp 1550	INP 1550	Orquídea 1	44 y 19
Rendim Bult/ha	90	87	100	90	90	85 y 90

Fuente: FEDEARROZ FNA

En el círculo rojo de la FIGURA 22 se tienen los valores máximos del EVI por encima de 0.7 que corresponden a los años 2008, 2009 y 2010, como periodos en los que el cultivo alcanzo su una estructura foliar robusta e importante, mientras que en los años 2006, 2007 y 2011 el EVI estuvo muy por debajo de 0,7. A diferencia de los dos casos anteriores los rendimientos obtenidos no presentan una variación significativa que permita asociar estos valores.

FIGURA 22 FINCA ELTREBOL – INDICE EVI ANUAL SUPERPUESTO



Fuente: El Autor

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Utilidad de Imágenes Modis?

Las imágenes Modis son una herramienta complementaria a las imágenes de alta y media resolución espacial, debido a la alta resolución temporal, no se trata de elegir uno u otro sensor sino de aprovechar las cualidades y beneficios que ofrece cada uno. En esta medida Modis es una opción altamente útil debido al amplio cubrimiento del territorio nacional y la variedad de productos que ofrece.

Utilidad de la serie temporal?

Aunque el cultivo del arroz depende de múltiples factores tanto agronómicos como ambientales, la serie temporal permite conocer de manera remota características que antes solo era posible identificar visitando y haciendo seguimiento directamente sobre el cultivo con la asesoría del productor. Estas características por si solas no son concluyentes para evaluar la producción del cultivo, pero permiten identificar y hacer seguimiento del cultivo sin necesidad de ir a campo.

Otro aspecto importante es que este tipo de análisis se puede hacer para cada pixel de la imagen, y considerando el cubrimiento de la imagen de casi el 70% del país, es claro que no hay limitantes en términos de cubrimiento.

Los índices de vegetación como indicadores en el cultivo del arroz?

La serie temporal permite conocer la historia del uso del suelo en determinado lote, evidencia si se ha realizado agricultura en un lote de manera continua o por el contrario, conocer las fechas en las cuales el lote cambio de uso.

Para el caso de lotes con cultivos de arroz, con este estudio fue posible determinar características del cultivo, en los siguientes aspectos;

- Duración del Cultivo.
- Época de preparación del lote.
- Conocer si en la preparación del lote se realiza la práctica de quema.
- Ciclo Fenológico y la duración en cada etapa.
 - Etapa de Siembra
 - Etapa de Macollamiento
 - Etapa de Floración
 - Etapa de Maduración
- Mes de Siembra.
- Mes de Cosecha.
- Calidad de la nutrición del cultivo.

Puntualmente para FEDEARROZ FNA, esta herramienta permite hacer seguimiento de lotes y conocer información que se captura en el Censo Arrocero, sin necesidad de ir a campo, lo cual es útil, primero, para hacer comprobación de datos capturados en campo, y segundo, para conocer información de lotes que no se puedan visitar pero que estén previamente georreferenciados. Por otra parte en Fedearroz la División de Investigaciones Económicas ha venido desarrollando en los últimos 4 años un Sistema de Información Geográfica para consolidar un inventario detallado de los cultivos del arroz, alimentado por la información del censo arrocero, y el uso de fotografías aéreas. Una de las desventajas de las fotografías aéreas es el alto costo de mantenerlas actualizadas año tras año. Como alternativa para este problema, es posible realizar el monitoreo permanente de los grandes cultivos, por medio de imágenes satélites MODIS, ya que permiten hacer un seguimiento de las zonas cada 16 días. Aunque la resolución espacial de estas imágenes no es comparable con las fotografías aéreas, es posible trabajar con los dos productos de manera complementaria, con la posibilidad de generar monitoreos actualizados de las zonas arroceras de mayor influencia, principalmente en la zona Llanos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados presentados pueden indicar algunas ventajas y capacidad de discriminación del sensor MODIS en áreas agrícolas. El producto MOD13Q1 provee la consistencia espacial y temporal para realizar comparación de las condiciones de la vegetación, suministrando al analista procesos depurados y correcciones que permiten optimizar la obtención de resultados, ya que los productos MODIS NDVI y EVI, son calculados a partir de bandas que previamente han sido corregidas atmosféricamente y se han sido enmascaradas para nubes, aerosoles pesados y sombras.

La serie generada a partir del índice de vegetación EVI, describe correctamente el ciclo fenológico del cultivo del arroz en todas sus etapas, y permite hacer monitoreo de las fincas casi en tiempo real para identificar la evolución foliar de los cultivos, y así mismo identificar si hay o no, uso agrícola.

Aunque este estudio se realizó con un enfoque particular a cultivos de arroz, es claro que esta herramienta es útil para cualquier tipo de uso, tanto agrícola como pecuario, o en áreas forestales susceptibles a deforestación o quemas, así como para evaluar áreas de inundación, Algunas otras aplicaciones:

- Alerta temprana para incendios Forestales
- Estimación de la temperatura del aire.
- Evaluación de la cobertura vegetal
- Variación de temperaturas en aguas oceánicas.
- Modelos Atmosféricos.
- Control y seguimiento del ciclo fenológico en áreas de reforestación

En la TABLA 10 se hace un compendio de características relevantes para trabajar con este tipo de información.

TABLA 10 EVALUACION DE IMÁGENES MODIS EN AREAS CULTIVAS EN ARROZ.

Ventajas	Desventajas
Para monitoreo de cultivos de Ciclo corto como el arroz, es necesario la mayor resolución temporal posible.	Con 250 metros de resolución espacial, No es posible hacer seguimiento para aéreas cultivadas menores a 30 ha.
Las imágenes disponibles ya incluyen la corrección geométrica y por nubes.	Es necesario tener un software robusto que soporte el gran volumen de información.
Las imágenes incluyen bandas para los índices de vegetación NDVI y EVI, además de infrarrojo medio y cercano.	
Permiten hacer seguimiento continuo en el tiempo.	

Fuente: El Autor

En el documento se hizo énfasis en que el rendimiento del cultivo es independiente a los altos valores del EVI en la etapa de floración, esto debido a las características de respuesta de diferentes variedades de semillas disponibles en el mercado. Entonces, en estudios posteriores es posible hacer seguimiento con el índice EVI a determinado tipo de semilla y conocer su comportamiento, así podría hacerse un seguimiento conociendo los parámetros y los valores mínimos y máximos en desarrollo de un cultivo que use una determinada variedad de semilla, con el objetivo de encontrar alguna correlación entre el comportamiento del EVI y los rendimientos del Cultivo.

7. BIBLIOGRAFIA

CHUVIECO Emilio, MARTIN María Pilar y VENTURA Gemma. Evaluación de Imágenes NOAA-AVHRR y TERRA-MODIS para Cartografía regional de áreas quemadas. 2006

DANE. Boletín de Prensa, Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado. Julio 2010.

DAUGHTRY, C. S. T.; WALTHALL, C. L.; KIM, M. S.; De COLSTOUN, E. B.; MCMURTREY, J. E. Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. *Remote Sensing of Environment*, v.74, n.2, p.229-239. 2000.

DEERING, D. W. y LEONE Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensor. Texas A & M University, Colege Station, Tx. 338 p. 1978.

DEGIOVANNI, Victor. MARTINEZ, Cesar, MOTTA, Francisco. Productor Eco-Eficiente del Arroz en América Latina Tomo I. 2010

DORIGO, W. A.; ZURITA-MILLA, R.; DE WIT, A.J.W; BRAZILE, J.; SINGH, R.; SCHAEPMAN, M. E. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.9, n.2, p.165-193. 2007.

FEDEARROZ, III Censo Arrocerero 2007. Junio 2008.

FEDEARROZ, Dinámica del Sector Arrocerero de los Llanos Orientales de Colombia 199-2011. 2011

FRANCOIS MAS Jean. Aplicación del Sensor Modis para el Territorio Nacional. 2011

GOBERNACION DEL META. Plan prospectivo Agropecuario Puerto Gaitán 2020. Colombia. 2009

HUETE, AR, VAN LEEUWEN, WJD, LAING, TW. MODIS vegetation index compositing approach: A prototype with AVHRR data. *REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT*, 69(3), 264-280. 1999

JANIK Tzitziki, MORA García y MAS Jean-François. Evaluación de imágenes del sensor MODIS para la cartografía de la cobertura del suelo en una región altamente diversa de México. 2010

JUSTICE C.O, TOWNSHEND J.R, VERMOTE E.F. An Overview of MODIS Land Data Processing and Product Status. 2002

MOREIRA, M. A.; SHIMABUKURO, Y.E. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR. In: N. J. Ferreira (Ed.). *Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N*. São Paulo: Oficina de textos, 2004. p.79-101.

TASCON Eugenio, GARCIA Elías. ARROZ: Investigación y Producción. CIAT: Centro de Investigación Agrícola Tropical. 1985.

VAN LEEUWEN W, HUETE A.R, LAING T.W. Modis Vegetation Index Compositing Approach: Prototype with AVHRR data. 1999

Sitios WEB de Consulta

Sitio WEB de FEDEARROZ en la sección de publicaciones se encuentra el artículo "*Tecnología Satelital: El futuro en Clasificación de Cultivos de Arroz*" el enlace para su consulta es: http://www.fedearroz.com.co/doc_economia/Geoestadisticas2009.pdf. Consultado en Diciembre de 2011.

Sitio WEB del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) <http://www.usgs.gov/> y https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_products_table/vegetation_indices/16_day_13_global_250m/mod13q1. Consultado en Enero de 2012.

Sitio WEB del INPE (instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil) en la sección de Series temporales MODIS para el análisis de cambios de uso y cobertura de la tierra. <https://www.dsr.inpe.br/laf/series/index.html> Consultado en Febrero de 2012.