



DETERMINACIÓN DE ZONAS APTAS PARA RESTAURACIÓN A PARTIR DE IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS, PARA UNA ZONA DE LOS LLANOS ORIENTALES COLOMBIANOS AFECTADA POR LA SEQUÍA



Autor:

Ing. Diego Juan Jaramillo Tovar

ARTÍCULO DE TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN GEOMÁTICA

Asesor:

Ing. Camilo Alexander León Sánchez

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA
GRANADA

Facultad de Ingeniería
Especialización en Geomática
Bogotá D.C.

2015

DETERMINACIÓN DE ZONAS APTAS PARA RESTAURACIÓN A PARTIR DE IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS, PARA UNA ZONA DE LOS LLANOS ORIENTALES COLOMBIANOS AFECTADA POR LA SEQUÍA

DETERMINATION OF CAPABLE AREAS FOR RESTORATION FROM REMOTE SENSING IMAGES, TO AN AREA OF COLOMBIAN EASTERN PLAINS AFFECTED BY DROUGHT

Diego Juan Jaramillo Tovar
Ingeniero Catastral y Geodesta,
Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada,
Especialización en Geomática
Bogotá, Colombia,
diegojtt51@hotmail.com

RESUMEN

Este documento muestra el proceso llevado a cabo para lograr determinar las zonas aptas para ser intervenidas con procesos de restauración, teniendo en cuenta que fueron afectadas por fenómenos naturales como la sequía. Para la determinación de dichas áreas se trabajó a partir de imágenes de satélite de dos períodos distintos y de dos sensores distintos, a saber SPOT 5 y ALOS, sobre las cuales se determinaron índices diferenciales de vegetación normalizados (NDVI), índices de verdor visual (IVV) y el índice basado en los dos anteriores que se denominó índice de cambios, que representa las pérdidas, estabilidad o ganancias de la vegetación para los dos períodos, a partir de la actividad fotosintética, el vigor de la vegetación y sus respuestas en las bandas del rojo y del infrarrojo cercano para los sensores trabajados. El índice de cambio calculado efectivamente muestra un cambio en la vegetación predominante en la zona; a partir de éstos resultados se pueden derivar una serie de alternativas para mitigar las consecuencias de los fenómenos naturales como lo son: planes de restauración, cálculo de compensaciones, políticas públicas, etc.

Palabras Clave: Índice diferencial de vegetación normalizado, índice de verdor visual, índice de cambios, restauración, sequía.

ABSTRACT

This document shows the process carried out to determine the suitable areas to be intervened with restoration processes, taking into account that these areas were affected by natural phenomena such as drought. For determining areas we worked from satellite images from two different periods and two different sensors such as SPOT 5 and ALOS, on which is determined normalized difference vegetation indexes (NDVI), visible vegetation indexes (IVV) and the index based on the previous two was called change index, that shows the losses, stability or gain of vegetation for two periods from the photosynthetic activity, vegetation vigor, and the red band and near infrared band answers for worked sensors. The change index calculated effectively shows a dominant vegetation change for the area; from these results can be derived so much alternatives to mitigate consequences of natural phenomena such as: restoration plans, compensation rates, public policies, etc.

Keywords: Normalized difference vegetation index, visible vegetation index, change index, restoration, drought.

INTRODUCCIÓN

Esta tesis de especialización busca determinar zonas aptas para procesos de restauración en las zonas afectadas por la más reciente sequía que azotó al país.

El uso de sensores remotos en la determinación de la calidad o estado de la vegetación en distintos lugares que han sido afectados por algún tipo de situación, es una práctica que ha tomado mucha fuerza teniendo en cuenta que la gama de posibilidades que brindan, tanto las herramientas tecnológicas como las imágenes de satélite, es altísima. Un correcto aprovechamiento de las herramientas e insumos geográficos con los que se cuenta hoy en día permitirá realizar análisis profundos acerca de fenómenos meteorológicos que se hayan presentado y así mismo tratar de intervenir en dichas situaciones e intentar subsanar las consecuencias que se presentaron mediante la implementación de los resultados de los análisis que se hicieron basados en los resultados obtenidos de los procesos creados. El análisis objeto de este documento se realiza teniendo en cuenta la gran catástrofe ambiental que se presentó en el país debido a la sequía, y la poca intervención que se ha visto por parte de las autoridades competentes, factores que incitan a la generación de más alternativas que provean soluciones para los problemas que se presentaron, y una determinación de zonas de restauración basado en el cálculo de tres índices es una alternativa que no se puede despreciar teniendo en cuenta que podría participar activamente en la priorización de zonas objeto de intervención.

Sumado a que se tienen las herramientas e insumos y aplicando algunos conocimientos adquiridos se puede contribuir con la restauración de zonas, ya no del país, sino del planeta entero, la metodología aquí propuesta para la

determinación de 3 índices y análisis de resultados para obtención de las zonas aptas para restauración, podría ser aplicada en cualquier lugar del mundo y contribuir con la restauración no sólo del país sino del planeta entero gracias al uso de herramientas y conocimientos geomáticos, dándole así la importancia que se merece a estas herramientas y esos estudios adelantados.

1. OBJETIVOS

1.1. GENERAL

Generar un mapa donde se describan las zonas aptas para procesos de restauración en los llanos orientales colombianos. (Caso: Casanare)

1.2. ESPECÍFICOS

- 1.2.1. Calcular el Índice Diferencial de Vegetación Normalizado NDVI para la zona de estudio en las imágenes de las dos épocas.
- 1.2.2. Calcular el Índice de Verdor Visual IVV para la zona de estudio en las imágenes de las dos épocas.
- 1.2.3. Determinar el Nivel de Alteración entre los dos períodos escogidos.
- 1.2.4. Determinar las zonas aptas para restauración mediante la unión de todos los procesos adelantados y los resultados obtenidos.

2. INSUMOS

Para el desarrollo del procesamiento de proyecto se utilizaron los siguientes insumos:

Sensor	Año	Imágenes
Spot 5	2007-2008	8
Alos	2010	5

De los sensores utilizados como insumo se utilizaron las bandas ROJA e INFRARROJA CERCANA, que son las necesarias para determinar los índices de vegetación diferencial normalizado y el índice de verdor visual.

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta los más recientes sucesos relacionados con la fuerte sequía que se presentó en el país y las más de tres actividades responsables de que se hubiera presentado este fatal fenómeno, surge la necesidad de realizar un análisis de las causas, en cuanto a los marcados cambios en la vegetación, y extraer de dicho análisis un plan que pueda servir de choque para mitigar de cierta forma las consecuencias, teniendo en cuenta las zonas aptas para restauración que se extraen mediante los procesos explicados en éste documento.

Siendo así, el desarrollo de ésta tesis busca responder a la siguiente pregunta:

¿La determinación de los cambios en los índices de vegetación NDVI e IVV, permite determinar zonas aptas para restauración afectadas por una fuerte sequía?

4. ESTADO DEL ARTE

Teniendo en cuenta la fuerte sequía que azotó al país en el año 2014 y gracias a la iniciativa de querer determinar zonas de restauración para zonas afectadas, los cambios en la vegetación que se pueden presentar en dos períodos de tiempo distintos se pueden determinar basados en el cálculo de los índices NDVI e IVV.

En el año 2004 se celebró en Brasil la 4ª Jornada de Educación en Sensoramiento Remoto en el Ámbito de la Mercosur, de la cual se extrajo un documento que se titula: “TeleSAT, APLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LOS CAMBIOS Y ANÁLISIS DE LOS RECURSOS NATURALES”, de autoría de Roberto Castro Ríos (Director de Escuela de Ingeniería Forestal de la Universidad Iberoamericana de C&T de Chile) y Enrique Castillo (Especialista en Sistemas de Geo-Información, FAO), en el cuál se hace una descripción de la metodología a seguir para el cálculo correcto de los índices NDVI e IVV y otros interesantes análisis.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. GENERALIDADES

El departamento del Casanare está situado en el oriente del país, en la región de la Orinoquía. Casanare es uno de los 32 departamentos de Colombia, siendo uno de los más grandes en extensión (44.490 km²), que representa el 3.9% del territorio nacional y el 17.55% de la Orinoquía colombiana.¹

El territorio del departamento se extiende en el piedemonte oriental de la cordillera Oriental de los Andes colombianos. Pertenece a la región de los Llanos Orientales con todas las características que la identifican.

Por su parte Paz de Ariporo está situada al noreste del Departamento de Casanare, con una extensión aproximada de 13.800 km², convirtiéndose en uno de los municipios más extensos del país y representa el 27.14% de la superficie Departamental. Es el tercer municipio de Casanare por población después de Yopal y Aguazul, y el primero por su extensión.²

Contextualizada el área de estudio, se da paso a la parte técnica mencionando que existen en la actualidad diversas formas de estudiar la dinámica de los cambios en las coberturas terrestres, sin embargo las metodologías más utilizadas son las que se basan en datos provenientes de sensores remotos. Las bandas espectrales de mayor aplicación corresponden a la del verde, rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo medio. La razón de la utilización de estos datos se encuentra

[¹] Casanare Nuestro Departamento, (2015), Sitio web de la Gobernación de Casanare en: <http://www.casanare.gov.co/?idcategoria=1161>. (Mayo de 2015).

[²] Paz de Ariporo Nuestro Municipio, (2015), Sitio web de la Alcaldía de Paz de Ariporo en: <http://www.pazdeariporo-casanare.gov.co/index.shtml#2>. (Mayo de 2015).

en la respuesta espectral de reflectividad que tiene el complejo suelo, agua y vegetación. Es en estos rangos donde estos elementos se pueden diferenciar y estudiar sus comportamientos (Gilabert et al, 1997). En el caso concreto de cambios vegetacionales la comparación entre índices de vegetación de distintas fechas ha resultado ser la base más adecuada, así se han desarrollado aplicaciones para seguimientos de cultivos, bosques, peligro de incendios forestales, plagas, estrés hídrico, etc. Los índices de vegetación que se destacan por sus numerosas aplicaciones (Tapia y Castro, 1999; Baret y Guyot, 1991; Crist y Cicone, 1984), son el denominado NDVI (índice vegetacional de diferencia normalizada) y el IVV (índice de verdor visual). Esos índices expresan en una magnitud absoluta la actividad fotosintética de las plantas y al mismo tiempo disminuyen el efecto que tiene la topografía en la reflectividad de las cubiertas vegetales. El NDVI corresponde a la resta normalizada entre las bandas del infrarrojo cercano y del rojo, bandas espectrales donde se produce la mayor diferencia entre la reflectividad de la vegetación sana y la actividad de absorción que la planta realiza para realizar la fotosíntesis.

La expresión es la siguiente:

$$\text{NDVI} = ((\text{BIR} - \text{BR} / \text{BIR} + \text{BR}) + 1) * 100$$

Dónde:

BIR es la banda del infrarrojo cercano.

BR es la banda del rojo.

El IVV entrega una valoración relativa (porcentual) de cada valor de NDVI en función del máximo valor de NDVI que se encuentra en la zona bajo estudio y corresponde a la siguiente expresión:

$$\text{IVV} = (\text{NDVI} / \text{NDVI Máx}) * 100$$

Lo planteado anteriormente y las metodologías de análisis de cambios de coberturas vegetales en el NDVI y en el IVV, consideran los siguientes pasos:

- a) Utilizar como datos de entradas las bandas del rojo y la banda del infrarrojo cercano, comprendidas entre los 0,61 a 0,69 y entre los 0,76 a 0,9 micrómetros de longitud de onda, respectivamente, para las dos fechas a estudiar.
- b) Calcular el NDVI para ambas fechas.
- c) Calcular el IVV para ambas fechas.

d) Realizar una resta normalizada (la más reciente menos la más antigua) entre los IVV de ambas fechas.

f) Entregar el resultado de cambios en una escala que tiene un rango entre 0 y 200, correspondiendo al valor 100 las zonas sin cambios, los valores menores de 100 a los cambios de disminución del vigor o fitomasa fotosínteticamente activa de la planta y los valores mayores de 100 corresponden a las zonas con aumento.

De acuerdo al conocimiento de la zona y análisis de los resultados se pueden ampliar los rangos y definir diferentes rangos significativos de cambios, para estudios específicos. Posteriormente reclasificar estos valores y obtener un mapa temático con valores de intervalo.³

5.2. IMÁGENES SPOT 5

5.2.1. Características⁴:

SPOT 5	
RESOLUCIÓN PANCRÓMÁTICO	5 Metros
RESOLUCIÓN MULTIESPECTRAL	10 Metros
BANDAS ESPECTRALES	P (Pancromática)
	B1 (Verde)
	B2 (Rojo)
	B3 (Infrarrojo Cercano)
	B4 (Infrarrojo Medio)
TAMAÑO DE LA TOMA	60X60 Kilómetros
INTERVALO REVISITA	2 A 3 Días
CUBRIMIENTO	CASANARE

Los PATH-ROW de las imágenes utilizadas y sus fechas de toma son:

PATH-ROW	FEHA DE TOMA
653-338	04/02/2007
653-339	02/12/2007
654-338	10/02/2007
654-339	10/02/2007

[³] Castro, R., y Castillo, E., TelesAT, APLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LOS CAMBIOS Y ANALISIS DE LOS RECURSOS NATURALES, (2004), Tomado de:

http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/jornada/programa/t-7_trab_39.pdf. (Mayo de 2015).

[⁴] Imágenes de Satélite SPOT, (2015), Sitio web de Infoterra: <http://www.infoterra.es/datos-satelite-spot>. (Mayo de 2015).

5.3. IMÁGENES ALOS

5.3.1. Características⁵:

ALOS	
RESOLUCIÓN PANCROMÁTICO	2,5 Metros
RESOLUCIÓN MULTIESPECTRAL	10 Metros
BANDAS ESPECTRALES	P (Pancromática)
	B1 (Azul)
	B2 (Verde)
	B3 (Rojo)
	B4 (Infrarrojo Cercano)
TAMAÑO DE LA TOMA	70X70 Kilómetros
INTERVALO REVISITA	46 Días
CUBRIMIENTO	CASANARE

Los ID y fechas de toma de las imágenes utilizadas son:

ID	FEHA DE TOMA
ALAV2A173083490-O1B2G_U	12/10/2010
ALAV2A173083480-O1B2G_U	12/10/2010

5.4. REMUESTREAR (Resample)

Es importante siempre hacer una inspección de la información con la que se va a trabajar, más aún si se van a hacer comparaciones entre distintos tipos de sensores remotos, ya que este tipo de comparaciones dependen de varios aspectos como el tamaño del píxel por ejemplo.

La herramienta “Resample” del software ArcGis altera el dataset ráster cambiando el tamaño de celda mediante el uso de un método de remuestreo.

Dentro de la herramienta existen cuatro opciones para la técnica de remuestreo:

- Nearest
- Majority
- Bilinear
- Cubic Convolution

Para el caso de uso de la herramienta se escogió la Convolución cúbica. Esta se define de la siguiente manera:

- Convolución Cúbica (Cubic Convolution): Determina el nuevo valor de una celda basándose en el ajuste de una curva suave a través de los 16 centros de celdas de entrada más cercanos. Es apropiada para los datos continuos, aunque puede hacer que el ráster de salida tenga valores que se encuentren fuera del rango del ráster de entrada. Es geoméricamente menos distorsionado que el ráster que se obtiene ejecutando el algoritmo

[⁵] ALOS, (2014), Sitio web de Geosoluciones: <http://www.geosoluciones.cl/alos/>. (Mayo de 2015).

de remuestreo de vecino más cercano. La desventaja de la opción Cubic es que necesita más tiempo de procesamiento. En algunos casos, puede hacer que los valores de las celdas de salida se encuentren fuera del rango de los valores de celda de entrada.⁶

5.5. GEORREFERENCIACIÓN

Dentro de las labores de inspección de la información que se va a utilizar para adelantar el estudio, es importante tener en cuenta que los insumos se encuentren georreferenciados al mismo sistema, entendiendo georreferenciación como el posicionamiento en el que se define la localización de un objeto espacial a una posición en la superficie de la Tierra, con un sistema de coordenadas y datum determinado.

En los datos ráster a veces la información de ubicación que se entrega con ellas no es adecuada y los datos no se alinean correctamente con otros datos que ya tiene. Utilizar algunos datasets ráster junto con otros datos espaciales, evidencia la necesidad de que se deban alinear o georreferenciar en un sistema de coordenadas.

En el software “ArcGis”, la barra de herramientas de georreferenciación se utiliza para llevar a cabo la georreferenciación de las imágenes satelitales insumo del presente estudio. Teniendo en cuenta que el proceso se lleva a cabo mediante la selección de puntos de control perfectamente verificables en el terreno y que presenten poca variación con el paso del tiempo, se sugieren por ejemplo intersecciones de corrientes de agua o de caminos, afloramientos de roca, el extremo de una punta de tierra, la esquina de un campo establecido, esquinas de calles, construcciones, etc.

El número de puntos de control que necesita crear dependen de la complejidad de la transformación que se piensa hacer, si es posible, se deben expandir los puntos de control por todo el dataset ráster en lugar de concentrarlos en un área. Normalmente, tener al menos un punto de control junto a cada esquina del dataset ráster y unos cuantos por el interior genera los mejores resultados.^{7 8}

5.6. CLIP

Depurar la información con la que se trabaja es un pre proceso que genera un aumento en la confiabilidad de los resultados obtenidos al final, ya que mediante dicha depuración se asegura completitud y calidad de los datos. Utilizar la herramienta “Clip” al momento de preparar la información permite crear subconjuntos espaciales de datos con los cuales se asegura la ejecución completa

[⁶] Remuestrear (Administración de Datos), (2013), Sitio web de Recursos de ArcGIS: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//00170000009t000000>. (Mayo de 2015).

[⁷] Principios básicos de georreferenciación de un dataset ráster, (2013), Sitio web de Recursos de ArcGIS: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//009t000000mn000000>. (Mayo de 2015).

[⁸] Anexos de Capacitación, (2012), Sitio web del Instituto Nacional de Estadística y Censos de Ecuador: http://www.inec.gob.ec/nuevo_inec/items/gestion_eficiente/cartografia/anexos/CAPACITACIONES/INSTRUCIONES%20AMANZANADO/GEORREFERENCIACION%20EN%20ARCgis.pdf. (Mayo de 2015).

de la metodología propuesta y se evitan los vacíos de información. La herramienta “Clip” permite extraer una porción de un dataset ráster en función de una extensión de plantilla. La salida de recorte incluye todos los píxeles que intersecan la extensión de plantilla. El área recortada se especifica ya sea con un contorno rectangular con las coordenadas mínimas y máximas x e y, o con un archivo vectorial con geometría de tipo polígono creado sobre la extensión deseada para la salida.⁹

5.7. ANÁLISIS DE IMÁGENES (IMAGE ANALYSIS)

La manipulación, procesamiento y extracción de información de archivos de tipo raster como las imágenes de satélite, también tiene su espacio específico dentro del software utilizado. El conjunto de herramientas y técnicas se denomina Análisis de Imagen (Image Analysis) y contiene las herramientas que se usan para mejorar la apariencia de los datos ráster e imágenes.¹⁰

La ventana Análisis de imagen admite el análisis y explotación de imágenes y datos ráster en ArcMap con una colección de funciones de visualización, procesos y herramientas de medición utilizados normalmente.

Para el caso particular de este estudio, la sección Procesamiento de la ventana análisis de imagen simplifica el procesamiento de imágenes complejas y proporciona opciones para aplicar procesos al hacer un clic, como recortar, crear el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés), crear mosaicos y exportar.¹¹

5.8. Función NDVI

El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) es un índice normalizado que le permite generar una imagen que muestra el verdor (la biomasa relativa). Este índice aprovecha el contraste de las características de dos bandas de un dataset ráster multiespectral: las absorciones de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad de los materiales de las plantas en la banda cercana al infrarrojo (NIR).

El NDVI se utiliza en todo el mundo para hacer un seguimiento de las sequías, supervisar y predecir la producción agrícola, ayudar en la predicción de las zonas con riesgo de incendio y cartografiar la desertización.

Este índice genera valores entre -1,0 y 1,0 que básicamente representan el verdor y donde cualquier valor negativo corresponde principalmente a las nubes, el agua y la nieve y los valores cercanos a cero corresponden principalmente a las rocas y al terreno desnudo. Los valores muy bajos de NDVI (por debajo de 0,1)


⁹] Recortar (Gestión de Datos), (2014), Sitio web de Recursos de ArcGIS: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#//0017000009n000000>. (Mayo de 2015).

¹⁰] ¿Qué es la ventana de análisis de imagen?, (2013), Sitio web de Recursos de ArcGIS: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//009t000001tm000000>. (Mayo de 2015).

¹¹] Ventana análisis de imagen: Sección de procesamiento?, (2013), Sitio web de Recursos de ArcGIS: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//na/009t000000m7000000/>. (Mayo de 2015).

corresponden a áreas yermas de rocas, arena o nieve. Los valores moderados representan terrenos con arbustos y prados (0,2 a 0,3), mientras que los valores altos indican bosques de zonas templadas y tropicales (0,6 a 0,8).¹²

5.9. SALIDA CIENTÍFICA

Una de las opciones importantes a tener en cuenta a la hora de calcular el NDVI  (Índice diferencial de vegetación normalizado) de una imagen multiespectral que muestra el verdor (la biomasa relativa), es la manera en la cual se despliegan los valores calculados, ya que si se utiliza la salida científica, dicha función dará como resultado valores entre -1.0 y 1.0, mientras que si no se utiliza se escalarán los valores a un rango de 0–200 y se ampliaría demasiado el rango de valores obtenidos al final de proceso. El chequeo de la opción antes descrita se realiza sobre la venta de propiedades del Image Analysis.¹³

5.10. SIMBOLOGÍA – CATEGORIAS – CLASIFICACIÓN

La simbología es la aplicación de símbolos gráficos, que pueden variarse en color, tamaño y otras propiedades, para representar entidades geográficas en un mapa. En ArcGIS, la simbología se establece desde la ficha Simbología del cuadro de diálogo Propiedades de capa.

Para clasificar los datos puede utilizar uno de los diferentes métodos de clasificación estándar incluidos en ArcMap o definir de forma manual sus propios rangos de clase personalizados.

Si desea definir sus propias clases, puede agregar manualmente cortes de clase y establecer los rangos que sean apropiados para los datos.

La simbología proporciona opciones para asignar símbolos de mapas y representar los datos. Las opciones incluyen dibujar todas las entidades con un símbolo; utilizar símbolos proporcionales; utilizar categorías basadas en valores de atributos; el uso de cantidades, rampas de color o gráficos basados en atributos; o el uso de reglas de representación y símbolos.¹⁴

5.11. NORMALIZACIÓN

El análisis de resultados que se realiza después de adelantar cada proceso intermedio de la metodología, muestra que los rangos de valores que resultan de dichos procesos deben ser sometidos a normalización, con el fin de generar datos más homogéneos e interpretables dentro de un mismo rango de escala.

La técnica para llevar datos a un mismo rango se denomina normalización, que quiere decir, mantener los valores relativos aunque se cambien los valores

[¹²] Función NDVI, (2013), Sitio web de Recursos de ArcGIS:

<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//009t00000052000000>. (Mayo de 2015).

[¹³] Utilizar el botón NDVI en la ventana Análisis de imagen, (2013), Sitio web de Recursos de ArcGIS:

<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//009t000000n3000000>. (Mayo de 2015).

[¹⁴] ¿Qué es la simbología?, (2013), Sitio web de Recursos de ArcGIS:

<http://resources.arcgis.com/es/communities/understanding-gis/01w3000000n000000.htm>. (Mayo de 2015)

absolutos. Una técnica más adecuada para ciertos propósitos, es re-escalar los datos mediante una normalización mínima - máxima, la fórmula general para esta técnica es:

$$V_n = ((X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})) * 100$$

donde:

V_n = Valor normalizado

X = Valor original

X_{\max} = Valor máximo del rango original

X_{\min} = Valor mínimo del rango original

La ventaja del re-escalado es que podemos llevar datos de diferentes escalas a un dominio común para hacerlos comparables sin perder información.¹⁵

5.12. RASTER CALCULATOR

Los distintos procesos automáticos que se ejecutan sobre la información, deben ser, en ocasiones, complementados con ciertas herramientas de programación manual. El uso de los resultados de los procesos aplicados se facilita mediante el uso de la calculadora raster, la cual construye y ejecuta una expresión simple de álgebra de mapas utilizando una interfaz símil a una calculadora y con salidas de tipo raster.¹⁶

5.13. INDICE DE CAMBIOS

Al adelantar procesos de cálculo de índices a partir de los niveles digitales de las imágenes de satélite, y teniendo en cuenta que dichos cálculos se realizaron para dos periodos de tiempo distintos, se denominó índice de cambios al valor resultante de hacer un resta normalizada para los índices de verdor visual de los dos periodos de tiempo mencionados, y teniendo como resultado un valor escalado y normalizado en un rango entre 0 y 200.

Dicho índice de cambios se interpretará teniendo como base teórica que todos aquellos valores menores de 100 son los que presentan cambios o disminución del vigor o fitomasa fotosintéticamente activa de la planta y los valores mayores de 100 corresponden a las zonas con aumento de la misma. Cuando el valor sea 100, se interpreta como zona sin cambio relativo o aparente.

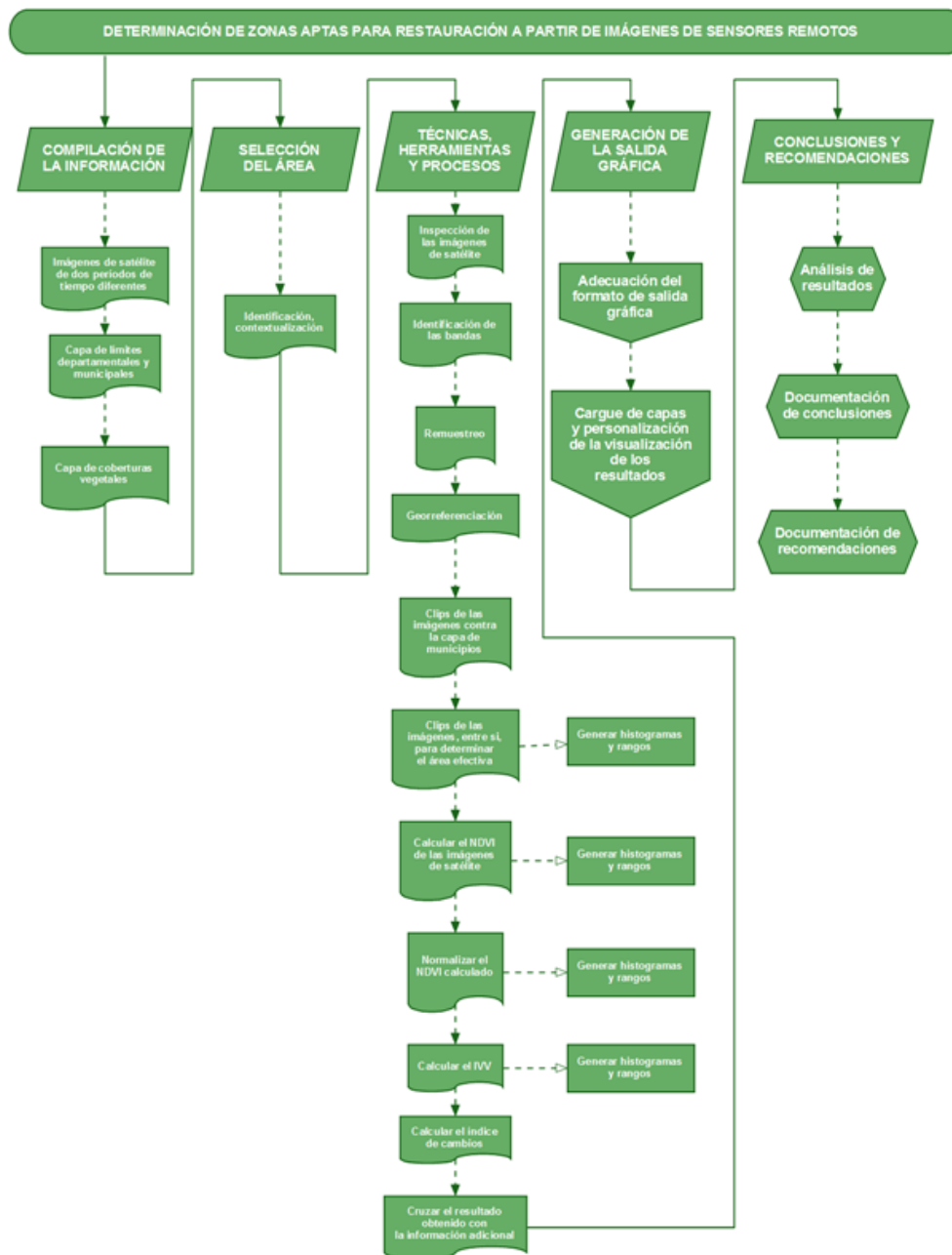
El índice de cambios se puede presentar en rangos, tomando los valores en términos porcentuales e interpretándose como: Disminución (rojo), Sin cambio (gris), Aumento (verde oscuro), por ejemplo.

[¹⁵] Cuberos J., Berzal F., Guión de Prácticas de Minería de Datos, (2010), Tomado de: <http://elvex.ugr.es/decsai/intelligent/workbook/D0%20SPSS.pdf>. (Mayo de 2015)

[¹⁶] ¿Cómo funciona la calculadora raster?, (2013), Sitio web de Recursos de ArcGIS: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#na/009z000000z800000/>. (Mayo de 2015).

Los resultados se pueden presentar en la cantidad de rangos que atiendan la necesidad del análisis.¹⁷

6. METODOLOGÍA PROPUESTA



[¹⁷] Castro, R., y Castillo, E., TeleSAT, APLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LOS CAMBIOS Y ANALISIS DE LOS RECURSOS NATURALES, (2004), Tomado de: http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/jornada/programa/t-7_trab_39.pdf. (Mayo de 2015).

El proceso planteado para el cálculo de los índices de cambio en la zona elegida del municipio de Paz de Ariporo en el departamento del Casanare, contiene:

6.1. COMPILACIÓN DE INFORMACIÓN

La compilación de todos los insumos necesarios para el desarrollo del estudio es el punto de partida de todos los procesos necesarios para encontrar las zonas aptas para restauración en el municipio seleccionado.

6.1.1. Imágenes de satélite de dos periodos de tiempo

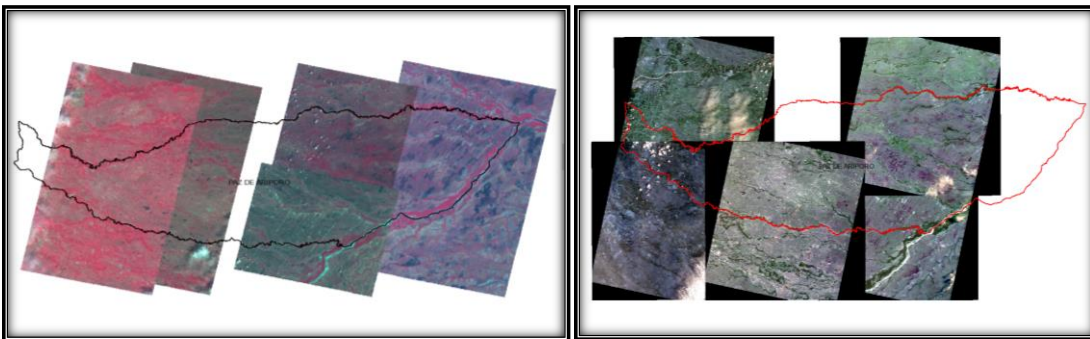


Imagen 1. Imágenes de Satélite SPOT 5 (Izq.) y ALOS (Der.)

6.1.2. Capa de límites departamental y municipal

Para contextualizar la información se hace necesario el uso de información de carácter general.

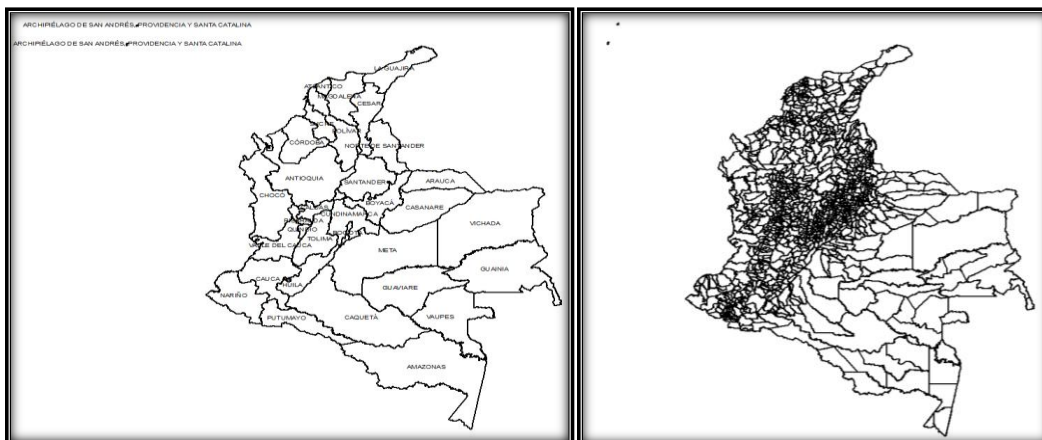


Imagen 2. Límites departamentales y municipales de Colombia

6.1.3. CAPA DE COBERTURAS

Las coberturas CORINE LAND COVER Colombia contienen datos de cobertura vegetal que alimentan los análisis que se adelantan con los resultados.

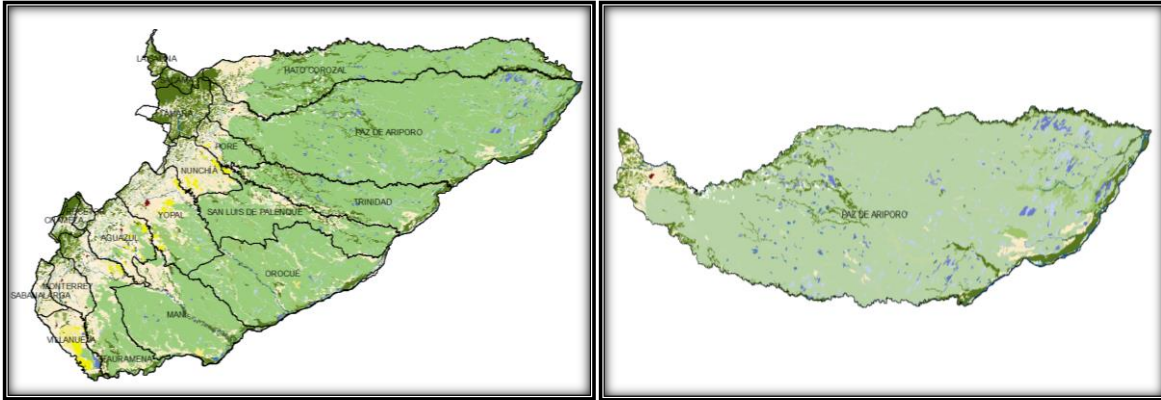


Imagen 3. Coberturas CORINE LAND COVER 2010

7. SELECCIÓN DEL ÁREA SOBRE LA CUAL SE ADELANTARÁN LOS CÁLCULOS.

Un cruce de conceptos e información digital permite hacer la selección de la zona de trabajo. La información de contextualización y la información temática permiten tomar la decisión teniendo en cuenta la calidad de la misma y la disponibilidad de equipos y herramientas que soporten la carga de procesos.

7.1. IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA

Despliegue visual de la zona y su distribución municipal.

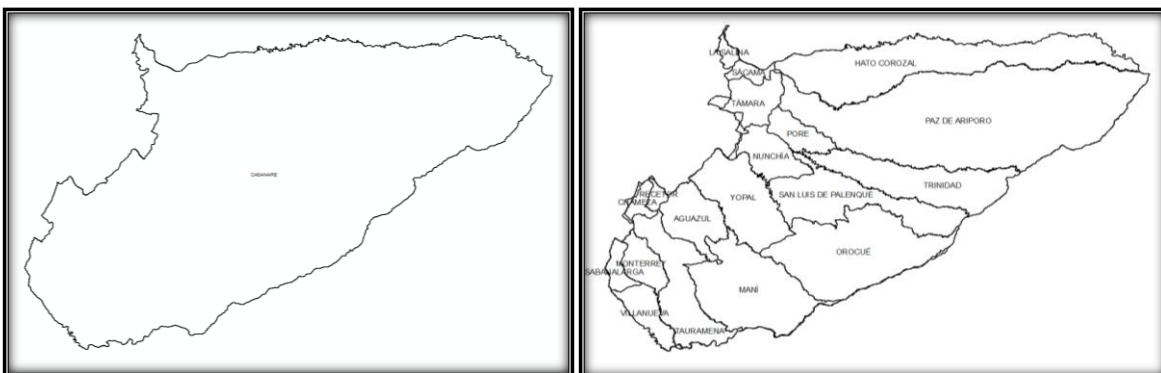


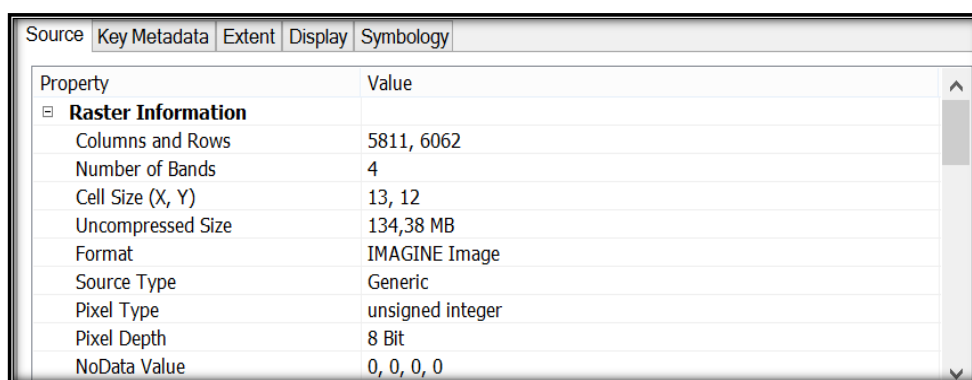
Imagen 4. Límite del departamento del Casanare y división municipal

8. TÉCNICAS, HERRAMIENTAS Y PROCESOS

A continuación se presentan las herramientas geomáticas y las técnicas de cálculo empleadas para poder llevar a cabo la determinación de las zonas aptas para restauración en el área propuesta.

8.1.1. Inspección de las imágenes

Antes de utilizar cualquier herramienta geomática y técnica de cálculo sobre algún conjunto de datos raster, se recomienda hacer una completa inspección del mismo con el fin de determinar tamaños de píxel, número de bandas, sistema de referencia, etc.



Property	Value
Raster Information	
Columns and Rows	5811, 6062
Number of Bands	4
Cell Size (X, Y)	13, 12
Uncompressed Size	134,38 MB
Format	IMAGINE Image
Source Type	Generic
Pixel Type	unsigned integer
Pixel Depth	8 Bit
NoData Value	0, 0, 0, 0

Imagen 5. Propiedades de las imágenes.

8.1.2. Identificación de Bandas

La identificación de bandas hace referencia al análisis que se debe llevar a cabo con el fin de determinar si las bandas que componen la imagen están en el mismo orden o en la misma posición en la cual las almacena el sensor. La identificación de las bandas se hace mediante la generación de combinaciones de bandas y el comportamiento visual que presenta cada una de ellas.

8.1.3. Remuestreo

La inspección de las imágenes tiene como ventaja que permite identificar procesos extras de adecuación de la información que en primera instancia no suelen estar contemplados en las metodologías de trabajo propuestas. El remuestreo es uno de ellos, y se lleva a cabo con el fin de homogenizar los tamaños de píxel presentes en las distintas imágenes de satélite insumo del estudio.

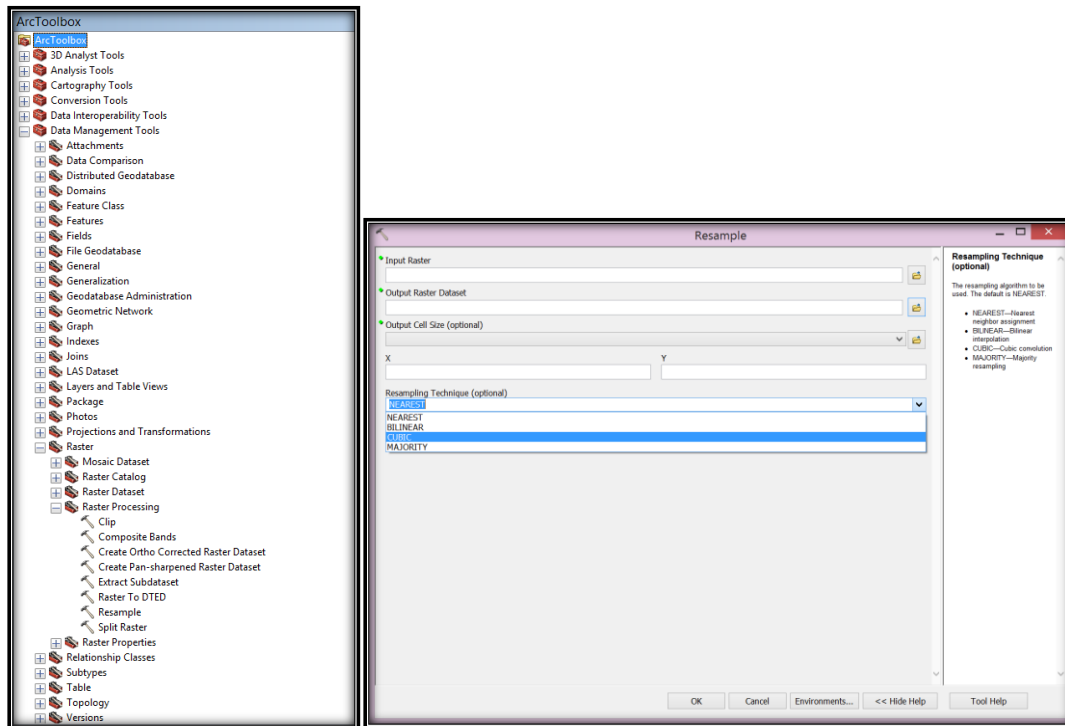


Imagen 6. Herramienta de Remuestreo (Resample) de ArcGIS

8.1.4. Georreferenciación

El proceso de georreferenciación se utiliza con el fin de homogenizar la posición de los elementos de los dos distintos sensores remotos con los cuales se adelanta el estudio. Entre más coincidentes sean los elementos de las dos imágenes de satélite, mayor precisión se obtendrá en el resultado final del proceso, debido a que se garantiza que la comparación de los niveles digitales será de píxel sobre píxel específicamente.

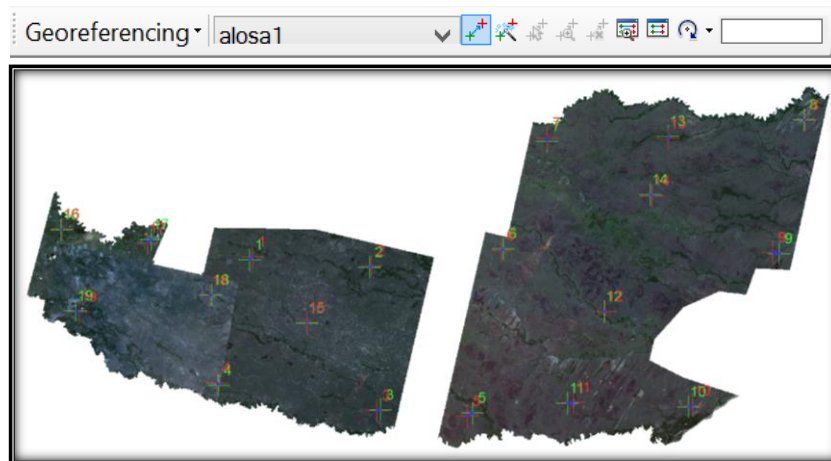


Imagen 7. Ejemplo de georreferenciación

8.1.5. Clips sobre el municipio

Luego de garantizar por lo menos el 90% de coincidencia de los píxeles de las dos imágenes de satélite, se avanza un paso más en la definición del conjunto de datos sobre el cuál se harán los cálculos, para ello se recortan las imágenes georreferenciadas con respecto al límite del municipio y así poder garantizar que los resultados obtenidos no estén contaminados por información de áreas aledañas o fuera del contexto. Para el caso se hizo necesaria la creación de una capa de polígonos con la cual eliminar el background de las imágenes ALOS y a su vez determinar áreas efectivas de trabajo.

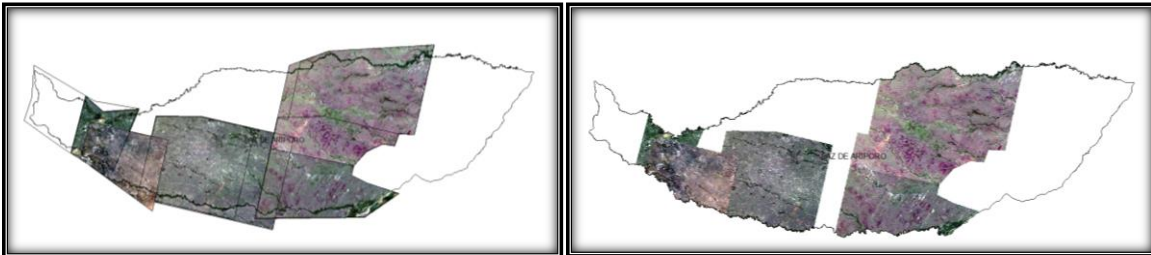


Imagen 8. Recorte de las imágenes ALOS contra el límite municipal

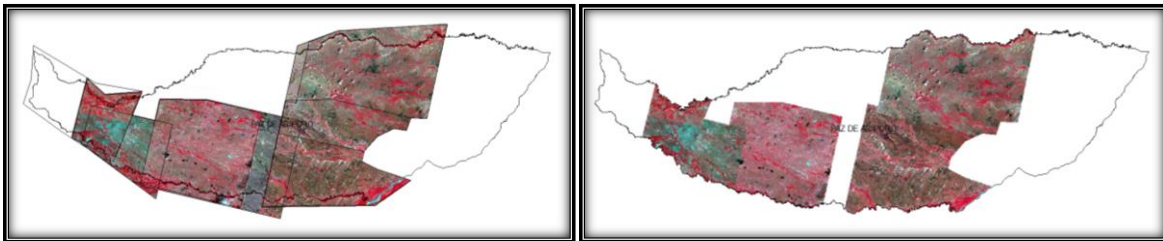


Imagen 9. Recorte de las imágenes SPOT 5 contra el límite municipal

8.1.6. Clips de intersección de las imágenes

Recortadas las imágenes de satélite contra los límites municipales, se determinan áreas efectivas de cada sensor mediante una superposición de capas y un nuevo recorte.

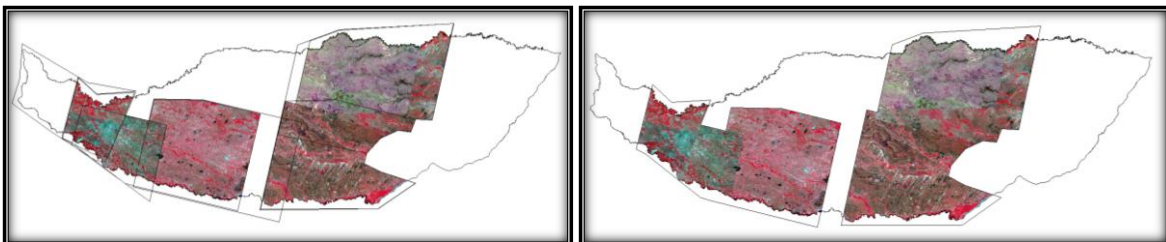


Imagen 10. Recorte de las imágenes SPOT 5 y ALOS (Áreas efectivas)

NOTA: Se trabajó únicamente el área efectiva oriental del total determinado, debido a comportamientos anómalos en algunas imágenes SPOT 5 del área efectiva occidental.

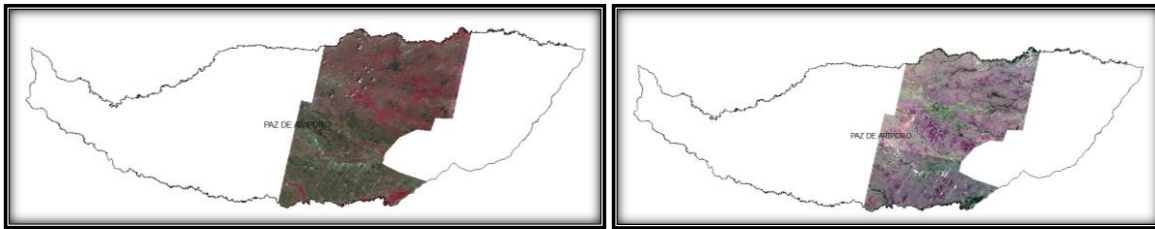


Imagen 11. Áreas efectivas finales

8.1.7. Calcular NDVI imágenes ALOS y SPOT

El cálculo del índice diferencial de vegetación normalizado se realiza desde la ventana de análisis de imagen. Una vez se haya seleccionado la imagen a la cual se va a calcular el índice se deben seleccionar las bandas del rojo e infrarrojo y chequear la casilla de salida científica.

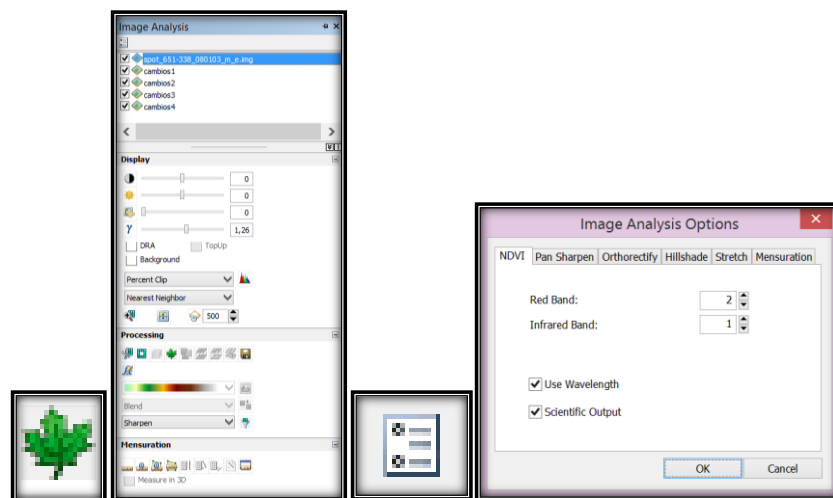


Imagen 12. De izquierda a derecha: Icono NDVI, Ventana de Análisis de Imágenes, Icono de Opciones del Análisis de Imágenes, Ventana de opciones del Análisis de Imágenes.

Elegida el área efectiva determinada para las imágenes de satélite y configuradas las opciones, se calcula el NDVI.

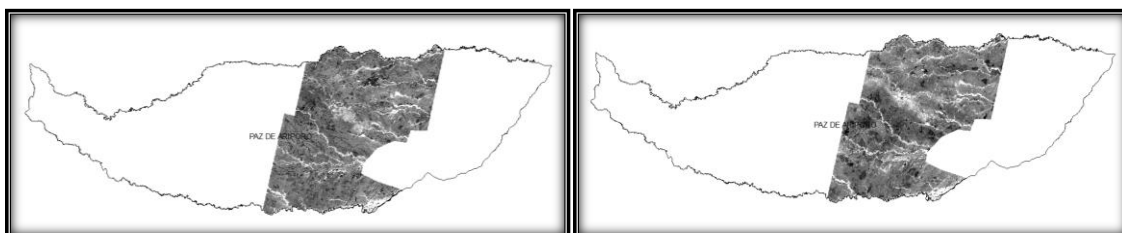


Imagen 13. NDVI Imagen SPOT 5 (Izq.) y NDVI Imagen ALOS (Der.)

8.1.8. Generar Histogramas y Rangos

Calculados los NDVI, se accede a las propiedades de la capa generada y en la sección de simbología se elige la opción de visualización por

clasificación, la cual inmediatamente pregunta si se quiere general el histograma para los datos, a lo que se responde que sí para poder visualizar los rangos de valores de la capa.

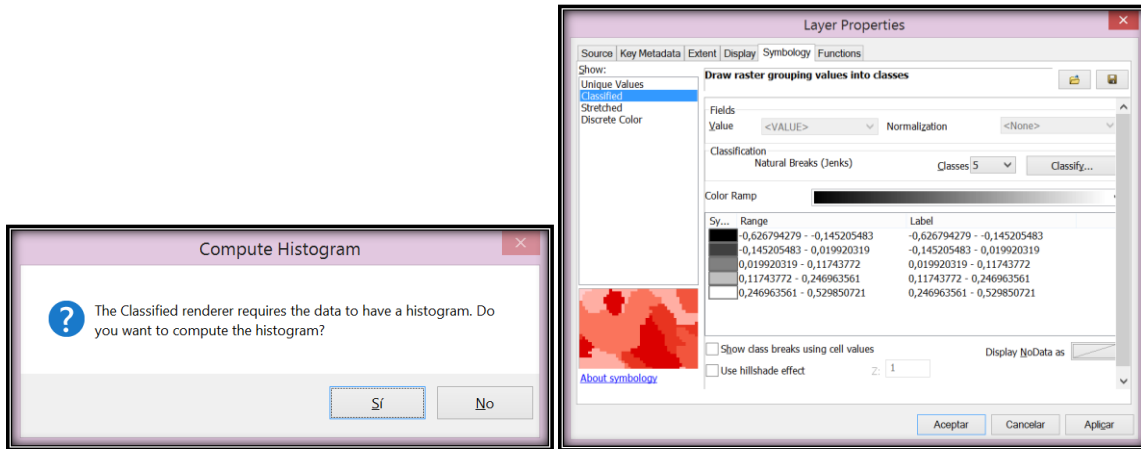


Imagen 14. Generación del histograma y visualización de los datos del NDVI por rangos.

8.1.9. Normalizar NDVI imágenes ALOS y SPOT

Teniendo en cuenta que se busca tener valores comparables y dentro de un mismo rango para las dos imágenes de satélite participantes en el estudio, se aplica una escala normalizada a los datos obtenidos mediante el uso de la calculadora raster; la aplicación de la fórmula hace que se obtengan valores entre 0 y 100 y gracias a esto la manipulación e interpretación de los datos es más sencilla.

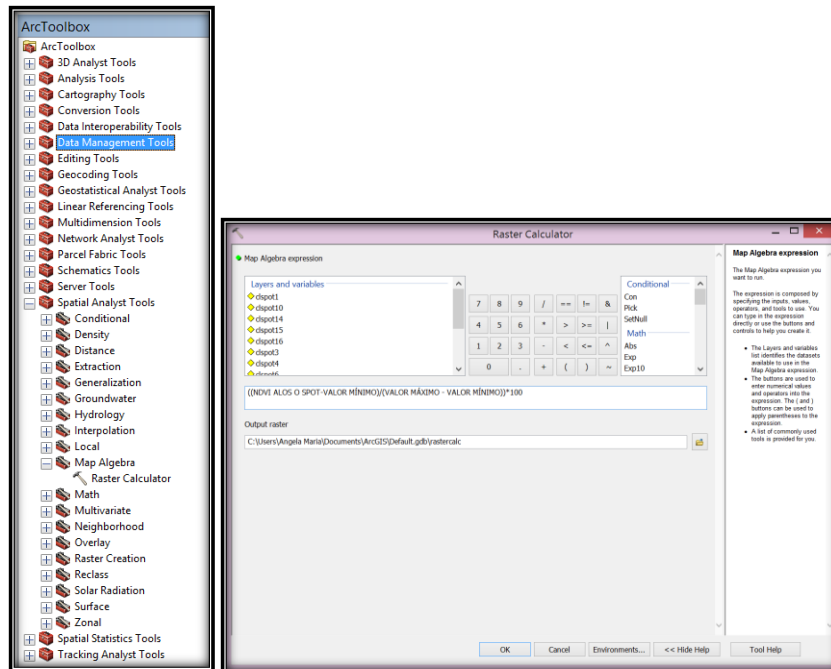


Imagen 15. Normalización de los resultados del NDVI.

8.1.10. Generar histograma y rangos

Al igual que en pasos anteriores, la manipulación de la manera en la cual se presentan los datos es importante y facilita la visualización e interpretación de los mismos. Se accede a las propiedades de la capa generada y en la sección de simbología se elige la opción de visualización por clasificación, la cual inmediatamente pregunta si se quiere general el histograma para los datos, a lo que se responde que sí para poder visualizar los rangos de valores de la capa.

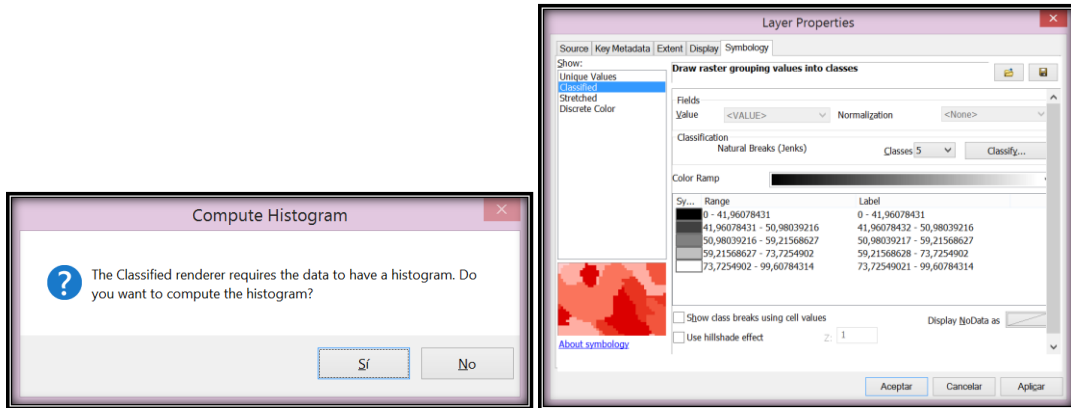
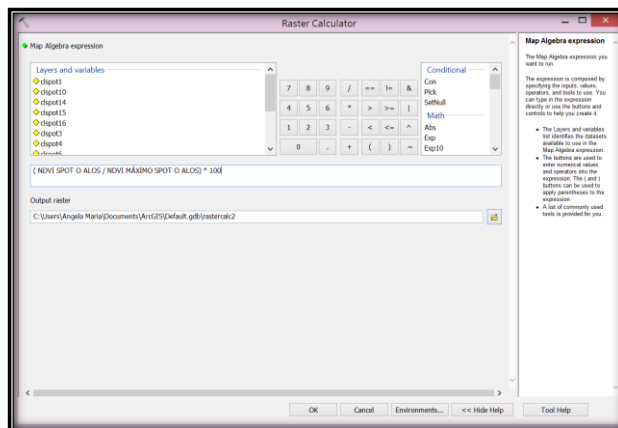


Imagen 16. Generación del histograma y visualización de los datos del NDVI por rangos.

8.1.11. Calcular el IVV a partir del NDVI normalizado

Una vez se ha normalizado el NDVI calculado sobre las imágenes de satélite, se utiliza nuevamente la calculadora raster para el cálculo del índice de verdor visual mediante el uso de una fórmula que regresa una valoración porcentual de cada NDVI en función del valor máximo del mismo para la zona de estudio.



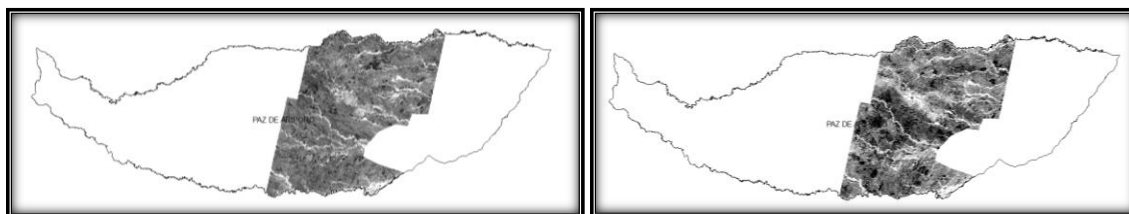


Imagen 17. Índice de Verdor Visual – IVV para la imagen SPOT 5 (Izq.) y ALOS (Der.).

8.1.12. Generar histograma y rangos

Al igual que en pasos anteriores, la manipulación de la manera en la cual se presentan los datos es importante y facilita la visualización e interpretación de los mismos. Se accede a las propiedades de la capa generada y en la sección de simbología se elige la opción de visualización por clasificación, la cual inmediatamente pregunta si se quiere generar el histograma para los datos, a lo que se responde sí para poder visualizar los rangos de valores de la capa.

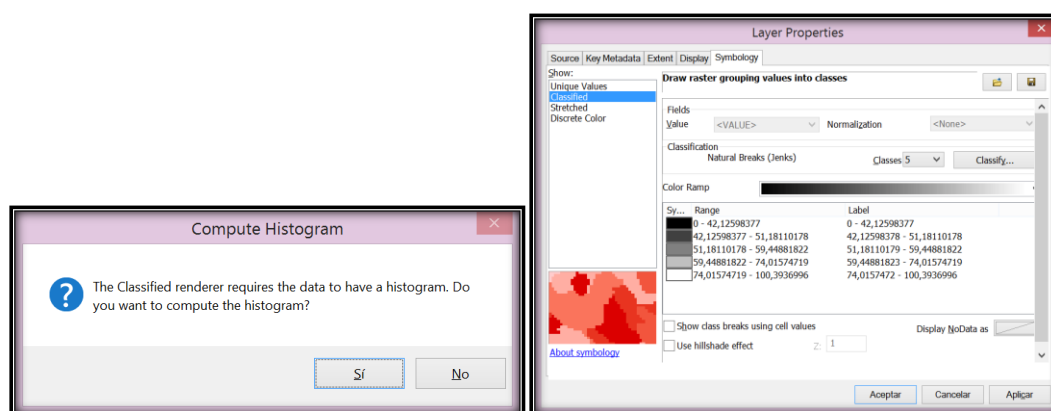


Imagen 18. Generación del histograma y visualización de los datos del IVV por rangos.

8.1.13. Calcular el índice de cambios

Una vez adelantados todos los cálculos de NDVI e IVV explicados anteriormente, se utiliza por última vez la calculadora raster para generar el índice de cambios basados en la resta de los valores comparables que se generaron en pasos anteriores. El índice de cambios se genera mediante una resta normalizada entre los valores obtenidos para cada uno de los períodos de tiempo del estudio, teniendo en cuenta que para el numerador se debe restar el IVV de la fecha más reciente del IVV de la fechas mas antigua.

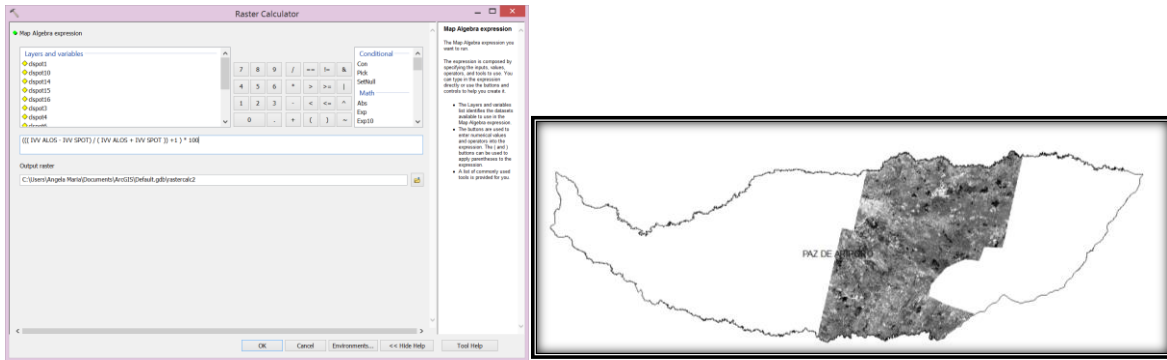


Imagen 19. Cálculo del índice de cambios mediante una resta normalizada.

8.1.14. Generar Histograma, Rangos y Simbología

Al igual que en pasos anteriores, la manipulación de la manera en la cual se presentan los datos es importante y facilita la visualización e interpretación de los mismos. Se accede a las propiedades de la capa generada y en la sección de simbología se elige la opción de visualización por clasificación, la cual inmediatamente pregunta si se quiere generar el histograma para los datos, a lo que se responde sí para poder visualizar los rangos de valores de la capa. Al editar la forma en que se visualizan los resultados se editan la cantidad de rangos y los cortes a los cuales se van a generar los mismos, de la misma manera se elige una paleta de colores que permita diferenciar fácilmente dichos cambios.

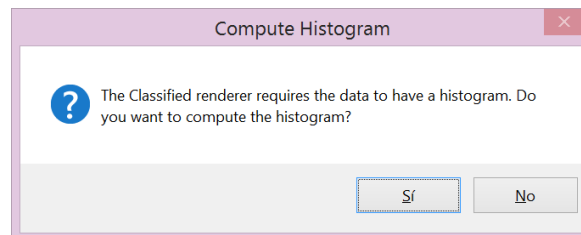


Imagen 20. Generación del histograma.

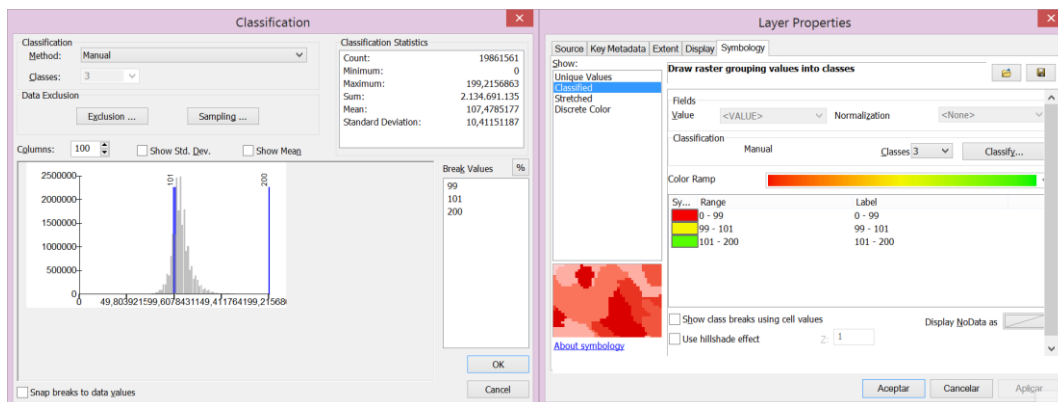


Imagen 21. Edición de los rangos y la simbología del Índice de Cambios.

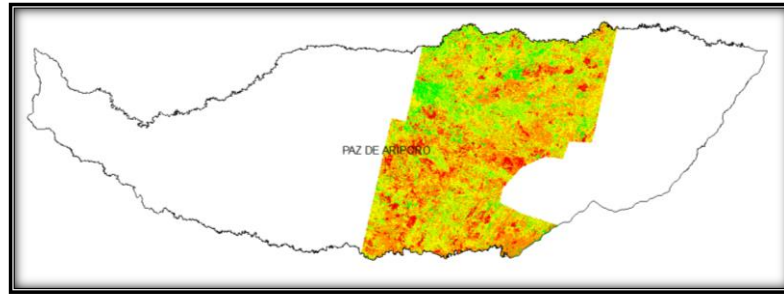


Imagen 22. Índice de Cambios.

8.1.15. Cruzar los resultados con la capa de coberturas

Con el fin de inferir conclusiones basadas en el índice de cambios y la capa de coberturas que se tiene como insumo, se hace una superposición de capas y se identifican las coberturas con mayor afectación o pérdida de actividad fotosintética. La identificación de dichas coberturas permite la focalización de las acciones que pretendan contrarrestar las consecuencias de ésta pérdida de vigor vegetal, con un grado de certidumbre mucho mayor, al saber a qué tipo de cobertura se le apuntará con la generación de planes de restauración.

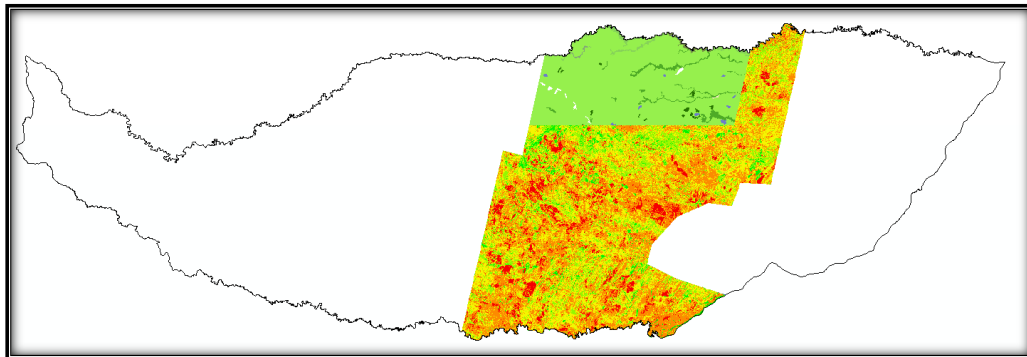
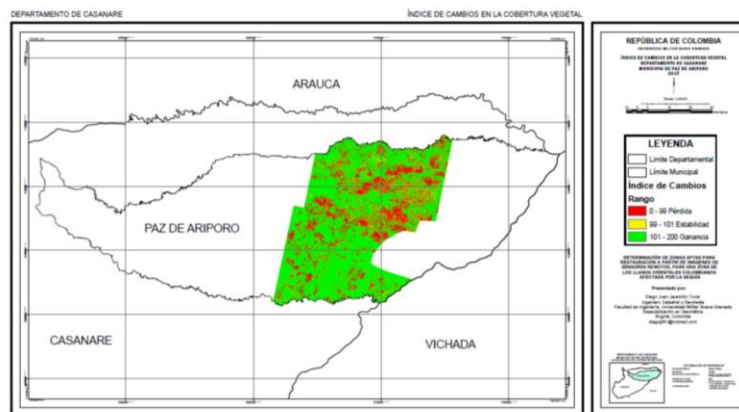


Imagen 23. Índice de Cambios vs Coberturas Corine Land Cover.

9. GENERACIÓN DEL MAPA DE ÁREAS APTAS PARA RESTAURACIÓN



10. CONCLUSIONES

El cálculo de índices de vegetación con fines restaurativos busca generar un impacto sobre zonas que han sido afectadas por fenómenos naturales como la sequía. El caso de estudio de este documento se centra en la zona del municipio de Paz de Ariporo en el departamento del Casanare en la República de Colombia, dónde en el año 2014 una intensa sequía cobró la vida de miles de animales y causó grandes daños en la vegetación de la zona. Si se tiene en cuenta que las herramientas geomáticas son potentes y su contribución con el control o hasta predicción de sucesos como los mencionados es posible, casos como el del Casanare en el año 2014 hubieran podido ser mitigados o controlados. Sin embargo el estudio no logró centrarse específicamente en el año 2014 debido a que los insumos obtenidos cubren otro período de tiempo. Teniendo en cuenta esto, la metodología presentada por el estudio arroja unos resultados que pueden ser fácilmente trasladados a dicho período de tiempo para su posterior análisis.

La posibilidad de medir la actividad fotosintética de las coberturas vegetales es de gran importancia, y si a ello se le suman técnicas comparativas entre las mismas épocas pero en distintos períodos, los resultados obtenidos pueden ser de gran ayuda para generar planes, políticas y proyectos orientados a la atención de las consecuencias causadas por procesos naturales. La metodología propuesta en este documento busca generar un análisis sobre los resultados obtenidos al calcular índices diferenciales normalizados de vegetación, índices de verdor visual e índices de cambio sobre las coberturas vegetales del área de estudio. Adelantados los procesos de cálculo de los distintos índices y generando la visualización de los cambios presentados, se puede observar que la zona seleccionada para el análisis tiene un gran porcentaje de cobertura vegetal que presentó disminución de la actividad fotosintética para la comparación generada entre los años 2007 y 2010.

Haciendo una comparación general de las coberturas presentes en el área para el año 2010, y teniendo en cuenta las áreas obtenidas como de pérdida de vigor de la vegetación, todas las actividades que se pueden adelantar alrededor de dichos resultados se pueden orientar hacia la restauración de los herbazales densos inundables (Según clasificación Corine Land Cover Colombia) principalmente, y en segundo lugar a los bosques de galería y riparios.

Se infiere fácilmente que así como en gran medida la mayor afectación se ve reflejada en los herbazales densos inundables, una cantidad considerable de los mismos presenta cambios favorables en cuanto a ganancia de vigor, razón por la cuál se deben hacer focalizaciones exactas de los lugares a los cuáles se les debe orientar las acciones que pretenden contrarrestar las consecuencias sufridas por la cobertura vegetal.

Los insumos juegan un papel fundamental en el desarrollo de estudios de este tipo teniendo en cuenta que gracias a los resultados se pueden desarrollar una gran cantidad de actividades que generen beneficios al planeta, por lo tanto se

recomienda hacer un buen tratamiento de los mismos y ser cuidadoso con cada procesamiento que se adelante para garantizar una correcta utilización de los resultados obtenidos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco muy especialmente a mi familia y a todos los ingenieros, amigos, colegas y demás personas que de una u otra manera aportaron para finalización de ésta tesis.

Germán Jaramillo, María Esneda Tovar, Fabio Andrés Jaramillo Tovar, Ángela Fernández, Jorge Arias, Linda Milena Torres, Cristian Obando, Nicolás Suarez...

REFERENCIAS

- Castro, R., y Castillo, E., TeleSAT, APLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LOS CAMBIOS Y ANALISIS DE LOS RECURSOS NATURALES, (2004), Tomado de: http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/jornada/programa/t-7_trab_39.pdf. (Mayo de 2015).
- Gilabert, M. A., González-Piqueras, J., García-Haro, J., Acerca de los Índices de Vegetación, (1997). Tomado de: http://telenet.fao1.cie.uva.es/promotores/revista/revista_08/AET8_4.pdf. (Mayo de 2015).
- Castro, R., Información sobre Tierras Agrícolas y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible, Pg. 61, (1999). Tomado de: http://www2.inia.cl/medios/platina/descarga/TallerSatelital/bsesteoricasp.remota_rcastro.pdf. (Mayo de 2015).
- Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria – SINAVEF, ¿Qué es el NDVI?, (2010). Tomado de: http://portal.sinavef.gob.mx/documentos/Que_es_NDVI.pdf. (Mayo de 2015).
- Morales, J., Estado de la Información Forestal en Colombia, (2002). Tomado de: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/AD392S/AD392S00.pdf>. (Mayo de 2015).
- Carvacho, L., Sánchez, M., Comparación de índices de vegetación a partir de imágenes MODIS en la región del libertador Bernardo O'Higgins, Chile, en el período 2001-2005., (2010). Tomado de: http://age-tig.es/2010_Sevilla/ponencia3/CARVACHO.pdf. (Mayo de 2015).
- Meneses-Tovar, C., El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque, (2011). Tomado de: <http://www.fao.org/docrep/015/i2560s/i2560s07.pdf>. (Mayo de 2015).
- Triviño, A., Vicedo, M., Soler, G., Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del índice de fragmentación de hábitats empleado por la agencia europea de medio ambiente, (2007). Tomado de: http://geofocus.rediris.es/2007/Articulo8_2007.pdf. (Mayo de 2015).
- El Espectador., Publican nuevos mapas de la forestación del mundo con alta precisión, (2015). Tomado de: <http://www.elespectador.com/noticias/elmundo/publican-nuevos-mapas-de-forestacion-del-mundo-alta-pre-articulo-552264>. (Mayo de 2015).
- El Espectador., Alerta por sequía en Colombia, así está el panorama nacional, (2014). Tomado de: <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/alerta-sequia-colombia-asi-esta-el-panorama-nacional-articulo-483593>. (Mayo de 2015).
- El Tiempo., Actividad petrolera y ganadería, responsables de sequía en Casanare, (2014). Tomado de: <http://www.eltiempo.com/politica/justicia/investigacion-de-la-contraloria-sobre-sequia-en-casanare-14346398>. (Mayo de 2015).
- El Tiempo., Gobierno tomará medidas contra la sequía en Casanare, (2014). Tomado de: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13718976>. (Mayo de 2015).