 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Estudio de capacidades de imágenes satelitales para actividades de observación de la tierra sobre territorio colombiano

Juan David Correa Cano

Programa Académico

Director(es) del trabajo de grado

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

29 de Junio de 2017

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

La percepción remota permite capturar datos relevantes para la caracterización de la superficie terrestre, la atmosfera y los océanos. La gran diversidad de aplicaciones que tienen los sistemas de percepción remota ha permitido el desarrollo de diferentes tipos de sensores, entre los que se destacan los sensores pasivos, particularmente las cámaras multiespectrales e hiperspectrales. Estos sensores miden la radiancia emitida o reflejada por una superficie a lo largo del espectro electromagnético, al mismo tiempo que capturan información espacial, permitiendo la identificación remota de materiales, monitoreo de las superficies terrestres, estudios de cambio climático, y diversas aplicaciones militares. Colombia no cuenta con sistemas satelitales propios, sin embargo, existen varios sistemas de otros países que capturan datos multiespectrales del territorio colombiano. Satélites como Landsat y EO1 de la NASA han capturado imágenes de todo el planeta por varios años. Mucha de esta información ha sido desclasificada y se encuentra disponible en la web. Este trabajo busca evaluar la disponibilidad y capacidad de las imágenes capturadas por los sensores Landsat, ALI y Hyperion. Estos datos se encuentran en la plataforma EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Dada la alta variabilidad en las especificaciones de los datos capturados por los sensores, para usar esta información para estudios es necesario explorar técnicas de procesamiento que estandaricen las imágenes, y permitan un análisis temporal de la superficie.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme con sabiduría para afrontar los retos que se presentan día a día, a mis padres, hermana y mi novia por su apoyo firme y constante sin importar las dificultades que nos presenta la vida.

Agradezco enormemente a mi institución porque me formó en mi carrera profesional, me entrenó para enfrentar la vida y hoy por hoy soy quién quien soy gracias a ese perfil que lograron en mí.

Agradezco a la profesora María Constanza Torres Madroñero por ver en mí la posibilidad de realizar este laboratorio de trabajo de grado y me entregó el conocimiento y herramientas suficientes para que éste fuera posible.

Siempre estarán presentes en mi mente y en mi corazón, Dios los bendiga.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

Imagen Reproducción de la figura de un objeto por la combinación de los rayos de luz que proceden de él.

Espectro Distribución de la intensidad de una radiación en función de una magnitud característica, como la longitud de onda, la energía, la frecuencia o la masa.

EO-1 ALI Advanced Land Imager sensor, sensor de imágenes avanzadas de la tierra.

Landsat 8 OLI operational Land Imager sensor, sensor de imágenes operacionales de la tierra.

Landsat 8 TIRS Thermal Infrared Sensor, sensor de imágenes infrarrojas de la tierra.

Cirro Formaciones de nubes que ocurren a alta altitud, usualmente 16,500 – 45000 pies (5 – 13 Km)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. MARCO TEÓRICO	9
3. METODOLOGÍA.....	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	34
REFERENCIAS	36
APÉNDICE.....	37

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

La percepción remota incluye métodos y sistemas para obtener información de objetos o superficies sin tener contacto directo. Entre los sistemas empleados se encuentran sensores pasivos multiespectrales e hiperespectrales que miden la radiancia emitida y reflejada por una superficie a lo largo del espectro electromagnético. Estos sistemas pueden estar en satélites o en aeronaves. Entre las aplicaciones de percepción remota encontramos:

- *Agricultura:* La percepción remota ha tomado un papel importante en el estudio de sistemas agrícolas a nivel global, donde a través del uso de sensores utilizados por los satélites LANDSAT, EO1, entre otros podemos identificar índices de vegetación que al ser comparados entre diferentes épocas de tiempo sobre una misma área nos pueden entregar datos importantes como la variación de vegetación sobre el tiempo.
- *Monitoreo de catástrofes:* La percepción remota ha sido utilizada para el estudio y monitoreo de áreas que han sido impactadas por diferentes catástrofes como meteoritos, tormentas de arena, tornados y fuertes lluvias donde se toman muestras del terreno antes de y después de para hacer análisis estadístico de cuán grande fue el impacto.

Este proyecto busca explorar el uso de imágenes satelitales para estudios de observación de la tierra sobre el territorio colombiano. El objetivo principal del proyecto es:

Estudiar las capacidades de datos multiespectrales e hiperespectrales capturados por el satélite EO1 y LandSat para aplicaciones de observación de la tierra sobre territorio colombiano, específicamente analizar cambios en vegetación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Objetivos específicos:

- Desarrollar un programa principal desde el cuál se pueda consultar el índice de vegetación de múltiples imágenes (no se entregan estudios de datos ni categorización de índices, se definen solo la entrega de la imagen resultante del índice), esto con el fin de poder analizar la misma imagen en diferentes épocas cronológicas.
- Entregar los desarrollos con la documentación necesaria para que cualquier persona pueda entender la lógica implementada, esto con el propósito de que los desarrollos sean sostenibles en el tiempo además de escalables en el caso de ser necesario.
- Entregar la base de datos de imágenes utilizada para el laboratorio y alguna forma de catalogación para categorizarlas por orden cronológico; en caso de tener más imágenes, éstas deben ser entregadas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Imágenes Multiespectrales e Hiperespectrales

Partimos de que una **imagen espectral** es aquella que reproduce la figura de un objeto en función de la longitud de onda que esté reflejando (o emitiendo) el objeto en cuestión; o, dicho de otro modo, es un set de imágenes del mismo objeto representadas cada una de ellas con diferentes longitudes de onda. Las diferencias entre una imagen multiespectral y una imagen hiperespectral son múltiples, pero la principal es el número de bandas espectrales. (Álava Ingenieros, 2017). Para tener en palabras más claras y tener el concepto de imagen espectral e hiperespectral y el cómo se diferencian basta con entender que la formación de imágenes espectrales consiste en dividir el espectro en muchas bandas, donde todas las bandas visibles al ojo humano serán llamadas bandas espectrales y aquellas que son difíciles para el ojo humano serán catalogadas como imágenes hiperespectrales incluyendo obviamente aquellas que también son visibles al ojo humano.

Los satélites utilizados por el servicio geológico de los Estados Unidos (USGS) utilizan múltiples sensores que se encargan de formar conjuntos de imágenes espectrales, donde cada imagen representa un rango del espectro electromagnético también conocido como banda espectral. Las combinaciones de estas imágenes forman una imagen tridimensional hiperespectral conocido también como cubo de datos, que es regularmente utilizado para el procesamiento y análisis estadísticos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Principios de las ondas electromagnéticas

Toda radiación electromagnética tiene propiedades fundamentales y se comporta de manera predecible de acuerdo con los fundamentos de la teoría de ondas.

Existen varios espectros importantes que se pueden estudiar en la radiación electromagnética entre ellas están, el espectro de luz visible que tiene una longitud de onda de aproximadamente entre 0,4 a 0,7 μm (del violeta hasta el rojo), únicos colores visibles por el ser humano, luego está el espectro de la luz ultravioleta que son las ondas que están por fuera del alcance de la parte violeta; algunos materiales de la superficie de la tierra, principalmente rocas y minerales emiten fluorescencia o luz visible cuando son iluminadas por la radiación UV. Luego le sigue el espectro de infrarrojos (IR) que abarca una longitud de onda aproximadamente 0,7 μm a 100 μm . Esta se puede dividir en la región IR reflejada (0,7 μm – 3 μm) y la IR térmica (3 μm – 100 μm). Para nuestro caso de estudio utilizaremos la IR reflejada la cual nos brinda información de detección a distancia de forma similar a la radiación en la parte visible (Román-Gonzales, 2014, pp 14-17).

Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada

Para realizar el cálculo de índice vegetacional del área a visualizar, utilizaremos el índice de diferencia normalizada (NDVI) la cual minimiza efectos topográficos a una escala que va de -1 a 1, con el cero representado el aproximado donde empieza la ausencia de vegetación. Los valores negativos representan superficies sin vegetación.

Formula NVDI:

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED)$$

Donde:

- NDVI = índice vegetacional de diferencia normalizada.
- RED = Banda roja de la imagen multiespectral.
- NIR = Banda infrarroja de la imagen multiespectral.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Sensores satelitales usados para la toma de imágenes espectrales que sirvieron de fuente de información para este laboratorio de grado

EO-1 ALI (Advanced Land Imager)

“Es el primer instrumento observador de la tierra usado por el programa del nuevo milenio de la NASA (NMP). El ALI emplea un nuevo óptico gran angular y un espectrómetro altamente integrado para imágenes multiespectrales y pancromáticas.

EO-1 es un proyecto de tecnología de verificación diseñado para demostrar la resolución espacial y espectral comparable o mejorada con una considerable masa, volumen y ahorro de costes. MIT Lincoln Laboratory desarrolló el ALI con miembros del equipo de instrumentos NMP: Raytheon / Santa Barbara Remote Sensing (SBRS) para el sistema de plano focal, y Sensor Systems Group, Inc. (SSG) para el sistema óptico” (traducción, usgs, 2011)

Resumen del instrumento (EO-1 – ALI)

“El EO-1 ALI es un instrumento de verificación de tecnología bajo la NMP. El plano focal para este instrumento está parcialmente poblado con cuatro conjuntos de chips de sensor (SCA) y también cubre 3 ° por 1.625 °. Operando en forma pushbroom en una órbita de 705 km, proporciona bandas pancromáticas y multiespectrales tipo Landsat. Estas bandas han sido diseñadas para imitar seis bandas Landsat con tres bandas adicionales que cubren 0.433-0.453, 0.845-0.890 y 1.20-1.30 μm. El ALI también contiene una óptica gran angular diseñada para proporcionar un campo de visión continua de 15 ° x 1.625 ° para un plano focal totalmente poblado con una resolución de 30 metros para los píxeles multiespectrales y una resolución de 10 metros para los píxeles pancromáticos” (usgs, 2011)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para nuestro caso específico las bandas MS-4 (Banda Roja) y MS-5 (Banda Infrarrojo) son las más importantes ya que con estas se calcula el índice vegetacional.

Banda	Longitud de Onda (µm)
Pan	0.48 – 0.69
MS-1'	0.433 – 0.453
MS-1	0.45 – 0.515
MS -2	0.525 – 0.605
MS-3	0.63 – 0.69
MS-4	0.775 – 0.805
MS-4'	0.845 – 0.89
MS-5'	1.2 – 1.3
MS-5	1.55 – 1.75
MS-7	2.08

Tabla tomada de <https://eo1.usgs.gov/sensors/ali>

EO-1 Hyperion

“El hyperion provee una nueva clase de datos de observación de la tierra para una mejor caracterización de la superficie terrestre, proporciona un instrumento de grado científico con calibración de calidad basado en el patrimonio del instrumento de imágenes hiperespectrales LEWIS (HSI). Las capacidades de Hyperion proporcionan la resolución de las propiedades superficiales en cientos de bandas espectrales frente a las diez bandas multispectrales voladas en las misiones tradicionales de imágenes Landsat. A través de estas bandas espectrales, los ecosistemas terrestres complejos pueden ser visualizados y clasificados con precisión” (usgs, 2011)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Resumen del instrumento

“El Hyperion proporciona una cámara hiperespectral de alta resolución capaz de resolver 220 bandas espectrales (de 0,4 a 2,5 μm) con una resolución de 30 metros. El instrumento puede representar una superficie terrestre de 7,5 km por 100 km por imagen y proporcionar un mapeo espectral detallado a través de los 220 canales con alta precisión radiométrica. Los principales componentes del instrumento son los siguientes:

Diseño de la óptica del sistema basado en la misión de la cámara electroóptica (EOC) de Corea Multi-Purpose Satellite (KOMPSAT). El telescopio proporciona dos espectrómetros de imagen de rejilla separados para mejorar la relación señal-ruido (SNR)” (usgs, 2011)

Para nuestro caso específico las bandas B-30 (Banda Roja) y B-43 (Banda Infrarrojo) son las más importantes ya que con estas se calcula el índice vegetacional.

Banda	Longitud de Onda (μm)
B30	650.6700
B31	660.8500
B32	671.0200
B33	681.2000
...	...
B40	752.43000
B41	762.6000
B42	772.7800
B43	782.9500

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Fracción de figura tomada de <https://eo1.usgs.gov/sensors/hyperioncoverage>

Landsat 8 OLI y TIRS

“El TIRS (Operational Land Imager) y el Sensor Térmico Infrarrojo (TIRS) son instrumentos a bordo del satélite Landsat 8, lanzado en febrero de 2013. El satélite recoge imágenes de la Tierra con un ciclo de repetición de 16 días, referido a la Referencia Mundial Sistema-2. El tamaño aproximado de la escena es de 170 km al norte-sur por 183 km al este-oeste (106 mi por 114 mi).

Las bandas espectrales del sensor OLI, al igual que el sensor ETM + de Landsat 7, proporcionan mejoras a partir de instrumentos Landsat anteriores, con la adición de dos nuevas bandas espectrales: un canal azul profundo visible (banda 1) diseñado específicamente para investigación de recursos hídricos y zonas costeras, Y un nuevo canal infrarrojo (banda 9) para la detección de cirros. Dos bandas térmicas (TIRS) captan datos con una resolución mínima de 100 metros, pero se registran y se entregan con el producto de datos OLI de 30 metros. Los tamaños de archivos Landsat 8 son más grandes que los datos de Landsat 7, debido a bandas adicionales y productos de datos de 16 bits mejorados” (usgs, 2011)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para nuestro caso específico las bandas marcadas con rojo fueron las seleccionadas para realizar el cálculo del índice vegetacional.

<i>Landsat 1 – 5</i>	Landsat 1 – 3	Landsat 4 – 5	Longitud de Onda
<i>Escáner multiespectral (MSS)</i>	Banda 4 – Verde	Banda 1 – Verde	0.5 – 0.60
	Banda 5 – Rojo	Banda 2 – Roja	0.6-0.7
	Banda 6 – Infrarrojo cercano (NIR)	Banda 3 – Infrarrojo cercano	0.7 – 0.8
	Banda 7 – Infrarrojo cercano (NIR)	Banda 4 – Infrarrojo cercano	0.8 – 1.1

<i>Landsat 4 – 5</i>	Bandas	Longitud de Onda
<i>Mapeador temático (TM)</i>	Banda 1 – Azul	0.45 – 0.52
	Banda 2 – Verde	0.52 – 0.60
	Banda 3 – Rojo	0.63 – 0.69
	Banda 4 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.76 – 0.90
	Banda 5 – Infrarrojo onda corta 1 (SWIR 1)	1.55 – 1.75
	Banda 6 – Térmico	10.40 – 12.50
	Banda 7 – Infrarrojo onda corta 2 (SWIR 2)	2.08 – 2.35

<i>Landsat 7</i>	Bandas	Longitud de Onda
<i>Mapeador temático aumentado (ETM+)</i>	Banda 1 – Azul	0.45 – 0.52
	Banda 2 – Verde	0.52 – 0.60
	Banda 3 – Rojo	0.63 – 0.69
	Banda 4 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.76 – 0.90
	Banda 5 – Infrarrojo onda corta 1 (SWIR 1)	1.55 – 1.75
	Banda 6 – Térmico	10.40 – 12.50
	Banda 7 – Infrarrojo onda corta 2 (SWIR 2)	2.08 – 2.35
	Banda 8 - Pancromático	.52 - .90

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	Bandas	Longitud de Onda
<i>Landsat 8 (OLI)</i> <i>sensor de</i> <i>imágenes</i> <i>operacionales de la</i> <i>tierra.</i>	Banda 1 – Ultra azul (Costero/Aerosol)	0.43 – 0.45
	Banda 2 - Azul	0.45 – 0.51
	Banda 3 - Verde	0.53 – 0.59
	Banda 4 – Rojo	0.64 – 0.67
	Banda 5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 – 0.88
<i>Landsat 8 (TIRS)</i> <i>sensor de</i> <i>imágenes</i> <i>infrarrojas de la</i> <i>tierra</i>	Banda 6 – Infrarrojo onda corta 1 (SWIR 1)	1.57 – 1.65
	Banda 7 – Infrarrojo onda corta 2 (SWIR 2)	2.11 – 2.29
	Banda 8 – Pancromático	0.50 – 0.68
	Banda 9 - Cirro	1.36 – 1.38
	Banda 10 – Infrarrojo térmico 1 (TIRS 1)	10.60 – 11.19
	Banda 11 – Infrarrojo térmico 2 (TIRS 2)	11.50 – 12.51

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Creación de cubo multiespectral

Como fue descrito en el marco teórico, una imagen multiespectral, está conformada por múltiples espectros tanto visibles como no visibles al ojo humano. Lo primero que se quiso recrear en el laboratorio, fue la creación del cubo de imágenes espectrales que conforman una imagen multiespectral, para esto era necesario tener varias consideraciones en mente como lo es que cada imagen tiene un tamaño diferente de pixeles, por este motivo si queremos unificar las imágenes en un cubo, es necesario unificar sus medidas. Esto se logra tomando la medida de la imagen espectral más grande como plantillas de las demás imágenes, y así no tener problemas a la hora de la asignación de la imagen en el cubo. Para obtener el cubo de la imagen multiespectral basta con realizar el llamado a la función ***myfun_imagesPanc_Cube_List*** (ver Figura 1), cuyos parámetros de entrada son los siguientes: ***Nombre carpeta imagen*** (que es el directorio contenedor de todas las imágenes, ya que cuando es descargada de la página de usgs, viene comprimida y al ser descomprimida genera un directorio con las imágenes espectrales en este), ***Nombre del archivo de texto que lista las imágenes espectrales*** (el código implementado funciona por medio de un archivo de texto que contiene el listado de imágenes, para generar este archivo se puede hacer por medio del comando de Linux `"ls -m > lista.txt"`, para usar este comando en Windows puede hacer uso de un Shell como el de GIT BASH, que aunque no es específicamente para esto, cumple con el requerimiento estando localizado dentro del directorio de las imágenes (ver Figura 2)) y por último especificando la ***extensión de las imágenes espectrales*** (para nuestro caso todas las imágenes tenían extensión ".TIF").

```

1 -  clc, clear all;
2
3   %
4 -  [A,cube_Hyperion] = ...
5     myfun_imagesPanc_Cube_List('EO1H0040562004050110P2', 'lista.txt', '.tif');
6

```

Figura 1. Ejecución función *myfun_imagesPanc_Cube_List*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

MINGW64/d/Documentos/Trabajo_Grado/EO1A0040562004050110PZ
Ryudkno@Ryudkno-PC MINGW64 /d/Documentos/Trabajo_Grado/EO1A0040562004050110PZ
$ ls
E01A0040562004050110PZ_B01_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B04_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B07_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B10_L1GST.TIF  README.txt
E01A0040562004050110PZ_B02_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B05_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B08_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_MTL_L1GST.TXT
E01A0040562004050110PZ_B03_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B06_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B09_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_SGS_01.fgdc

Ryudkno@Ryudkno-PC MINGW64 /d/Documentos/Trabajo_Grado/EO1A0040562004050110PZ
$ ls -m > lista.txt

Ryudkno@Ryudkno-PC MINGW64 /d/Documentos/Trabajo_Grado/EO1A0040562004050110PZ
$ ls
E01A0040562004050110PZ_B01_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B04_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B07_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B10_L1GST.TIF  lista.txt
E01A0040562004050110PZ_B02_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B05_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B08_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_MTL_L1GST.TXT  README.txt
E01A0040562004050110PZ_B03_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B06_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_B09_L1GST.TIF  E01A0040562004050110PZ_SGS_01.fgdc

Ryudkno@Ryudkno-PC MINGW64 /d/Documentos/Trabajo_Grado/EO1A0040562004050110PZ
$ |

```

Figura 2. Lista de objetos dentro del directorio EO1H0040562004050110PZ y ejecución del comando `ls -m > lista.txt`, para crear listado de imágenes en un archivo de texto.

Como resultado se obtiene la imagen pancromática (en este ejemplo la imagen multiespectral es de un sensor Hyperion que no tiene imágenes pancromáticas; el programa asigna la imagen de mayor tamaño como pancromática, esto no modifica nada sobre las demás imágenes, simplemente que la característica es que su tamaño sería mayor). En nuestro caso todas las imágenes son del mismo tamaño, por lo cual es irrelevante esta imagen, lo realmente importante es el cubo que es generado por la función, la cual contiene todas las imágenes del espectro generado por el sensor (**Ver Figura 3**).

Workspace	
Name ▲	Value
A	3401x971 int16
cube_Hyperion	3401x971x242 double

Figura 3. A (imagen con posibilidad de características pancromáticas), cube_Hyperion (cubo que contiene las 243 imágenes generadas por el sensor y almacenadas en el archivo (EO1H0040562004050110PZ)

Ahora ingresa la duda ¿podríamos visualizar el conjunto de imágenes en una sola?, por supuesto que sí, pero dado a que éstas imágenes tienen un gran tamaño de pixeles consume gran memoria RAM del equipo que está procesando dicha solicitud, y que en

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ocasiones desborda las 16 Gb de RAM, por tal motivo en nuestro caso práctico no se implementará dado que no contamos con los recursos suficientes para procesar dicha solicitud.

Dado el inconveniente del tamaño de las imágenes, se optó por buscar una alternativa para trabajar con los índices de vegetación, ya que para estos solamente necesitamos ubicar las bandas correspondientes al espectro rojo e infrarrojo para realizar el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada. Por lo tanto, se hicieron uso de otras funciones.

Para ver el funcionamiento de la función myfun_imagesPanc_Cube_List por favor mirar el código fuente que contiene la documentación del mismo.

Índice Vegetacional por medio del cálculo por diferencia normalizada (NDVI).

Cada sensor satelital tiene unas especificaciones claras describiendo a que banda corresponde cada una de las imágenes generadas por este. Como se menciona anteriormente, el uso de las bandas roja e infrarroja nos aporta la solución para el cálculo del Índice vegetacional por medio de la diferencia normalizadas (NDVI), por esto se hace un listado de las bandas que serán utilizadas además de cómo están nombrados en los archivos entregados por la página USGS para los sensores, EO1-ALI, EO1-Hyperion, Landsat TM, Landsat 8 OLI y Landsat 8 TIRS. **(Ver Figura 4).**

No se realizaron estudios con este tipo de imágenes Landsat MMS, ya que la zona analizada no tenía registros del sensor o eran solo imágenes pancromáticas a las cuales no se les era posible separar en bandas espectrales.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Sensor	Banda	Identificación banda en el nombre de la imagen. (imágenes con extensión .TIF)
EO1- ALI	Banda	Banda 4 (B04)
	Roja	Ejemplo: EO1A0040562004050110PZ_ B04 _L1GST
	Banda	Banda 5 (B05)
EO1- Hyperion	Infrarroja	Ejemplo: EO1A0040562004050110PZ_ B05 _L1GST
	Banda	Banda 30 (B030)
	Roja	Ejemplo: EO1H0040562004050110PZ_ B030 _L1GST
Landsat 4 – 5 TM	Banda	Banda 43 (B043)
	Infrarroja	Ejemplo: EO1H0040562004050110PZ_ B043 _L1GST
	Banda	Banda 30 (30)
Landsat 7 ETM +	Roja	Ejemplo: p004r056_7t20010109_z19_nn 30
	Banda	Banda 40 (40)
	Infrarroja	Ejemplo: p004r056_7t20010109_z19_nn 40
Landsat 8 OLI, TIST	Banda	Banda 3 (B3)
	Roja	Ejemplo: LE70040562014029EDC00_ B3
	Banda	Banda 4 (B4)
Landsat 8 OLI, TIST	Infrarroja	Ejemplo: LE70040562014029EDC00_ B4
	Banda	Banda 4 (B4)
	Roja	Ejemplo: LC80040562017093LGN00_ B4
Landsat 8 OLI, TIST	Banda	Banda 5 (B5)
	Infrarroja	Ejemplo: LC80040562017093LGN00_ B5
	Banda	Banda 5 (B5)

Figura 4. Distribución bandas roja e infrarroja en los sensores, además de su identificación en el nombre de la imagen espectral.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Las imágenes espectrales descargadas de la página de USGS, tienen una forma particular de ser identificadas que también es importante tener en cuenta al momento de querer catalogar una imagen a que sensor corresponde, esto lo podemos hacer de la siguiente manera:

Sensor	Nombre archivo	Descripción
EO1- ALI EO1-HYPERION	EO1A0040562004050110PZ EO1H0040562004050110PZ	EO1: Sensor EO1 A: ALI H: HYPERION 004: latitud en la órbita 056: longitud de la órbita 2004050: Fecha en formato Julian Los otros datos no son relevantes para nuestro análisis.
LANDSAT 4 – 5 TM	ELP004R056_7T20010109	ELP: Sensor Landsat TM 004: latitud en la órbita 056: longitud de la órbita 20010109: Fecha formato Gregoriano Los otros datos no son relevantes para nuestro análisis.
LANDSAT 7 ETM +	LE70040562014029EDC00	LE7: Landsat ETM 7 004: latitud en la órbita 056: longitud de la órbita 2014029: Fecha en formato Julian Los otros datos no son relevantes para nuestro análisis.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

LANDSAT 8 OLI - TIRS	LC80040562017061LGN00	LC8: Landsat Collection 8 004: latitud en la órbita 056: longitud de la órbita 2017061: Fecha en formato Julian Los otros datos no son relevantes para nuestro análisis.
-------------------------	-----------------------	---

Luego de que identificamos a que sensor pertenecen, está la lista de imágenes, además de la extensión de las mismas, podemos hacer uso de la función

myfun_images_NIRED_RED_List (Ver figura 5) cuyos parámetros de entrada son los siguientes: ***ruta*** (ruta donde se encuentra la carpeta de imágenes, por lo general se recomienda poner la carpeta en la misma ruta donde está localizada la función, (ejemplo: "EO1A0040562004050110PZ"), ***Sensor*** sensor con el cual fue tomada la imagen multiespectral (ejemplo: ALI, HYPERION, L_TM, L_ETM_PLUS, L_OLI_TIRS), ***lista_txt*** lista que contiene las imágenes del sensor a analizar y por último ***extensión_archivo*** que es la extensión de las imágenes (ejemplo: .TIF). Esta función se encargará de ilustrar la banda roja, la banda infrarroja y además la imagen con el índice vegetacional normalizado, calculado para dichas imágenes espectrales (Ver Figura 6).

Para ver el funcionamiento de la función myfun_images_NIRED_RED_List por favor mirar el código fuente que contiene la documentación del mismo.

```
myfun_images_NIRED_RED_List('LE70040562014029EDC00', 'L_ETM_PLUS', 'lista.txt', '.tif');
```

Figura 5. Ejecución función *myfun_images_NIRED_RED_List*

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

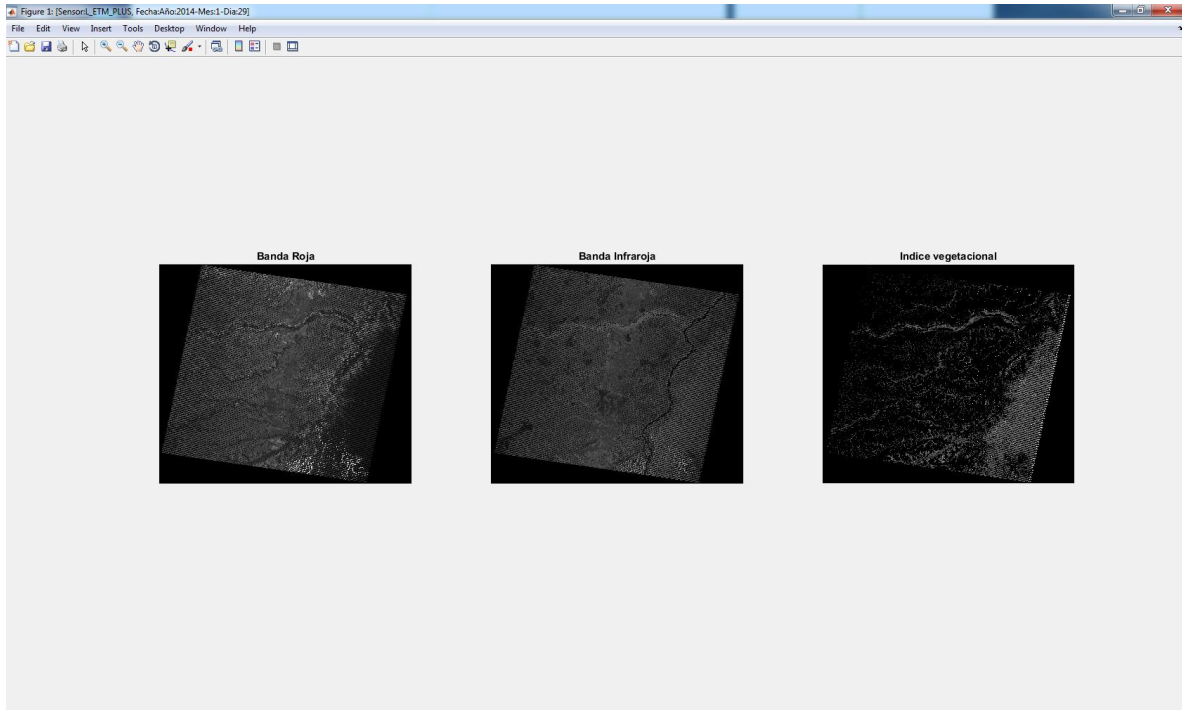
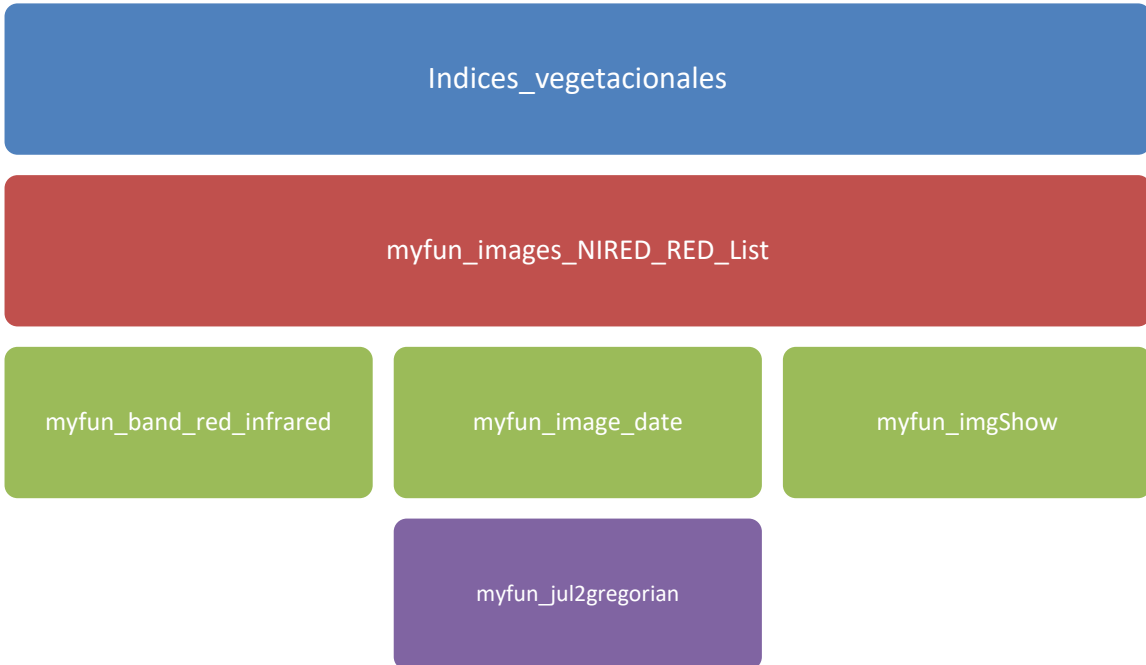


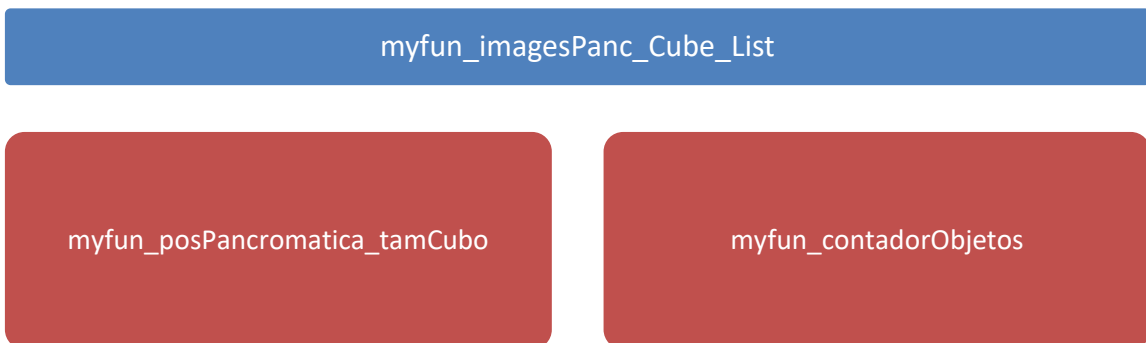
Figura 6. Resultado de la ejecución de la función myfun_images_NIRED_RED_List, la cual retorna las imágenes de la banda roja, infrarroja e índice vegetacional de una imagen del sensor Landsat 7.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Códigos fuentes y jerarquías para hallar índice vegetacional.



Códigos fuentes y jerarquías para generar cubos multiespectrales



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Obtención de imágenes satélites desde la página <https://earthexplorer.usgs.gov/> y cálculo de índice vegetacional

En esta página podrás visualizar, filtrar y descargar (gratis o pago) imágenes satelitales tomadas con diferentes sensores que son expuestos allí. Para nuestro caso específico seguiremos una secuencia de pasos para delimitar las imágenes a aquellas que pertenece a territorio colombiano.

1. Abrir el navegador de preferencia e ingresar la url <https://earthexplorer.usgs.gov/>

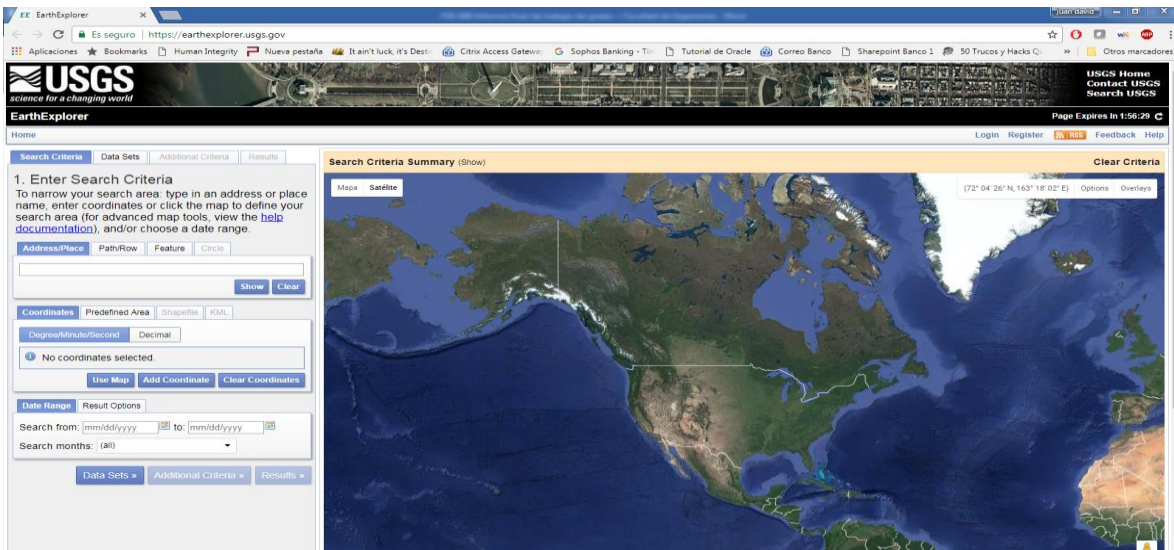


Figura 7. Tomada de la página <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Antes de continuar debes registrarte para poder tener acceso a los filtros de imágenes y además poder usar áreas predefinidas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. Luego se da clic en la sección “KML” y clic en “Select File”

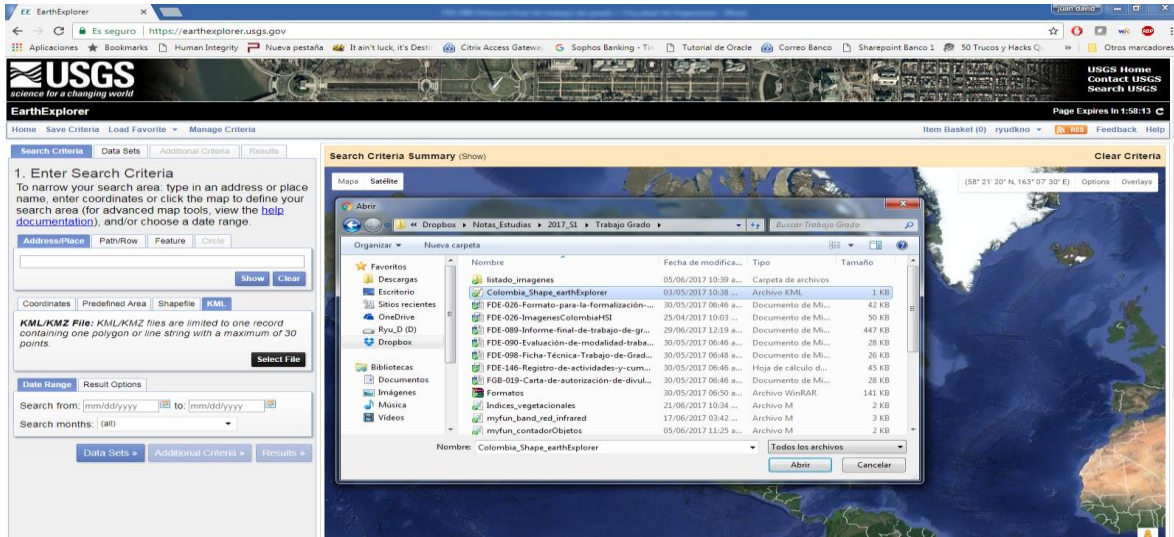


Figura 8. Tomada de la página <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Aquí seleccionamos el archivo KML que contiene las coordenadas delimitadoras del área de interés, para nuestro caso el territorio colombiano.

3. Luego de haber cargado el KML con las coordenadas deseadas, procedemos a dar clic en la sección de “Data Sets”, donde encontraremos los sensores que deseamos utilizar. Para nuestro caso EO1-ALI, EO1-HYPERION y LANDSAT.

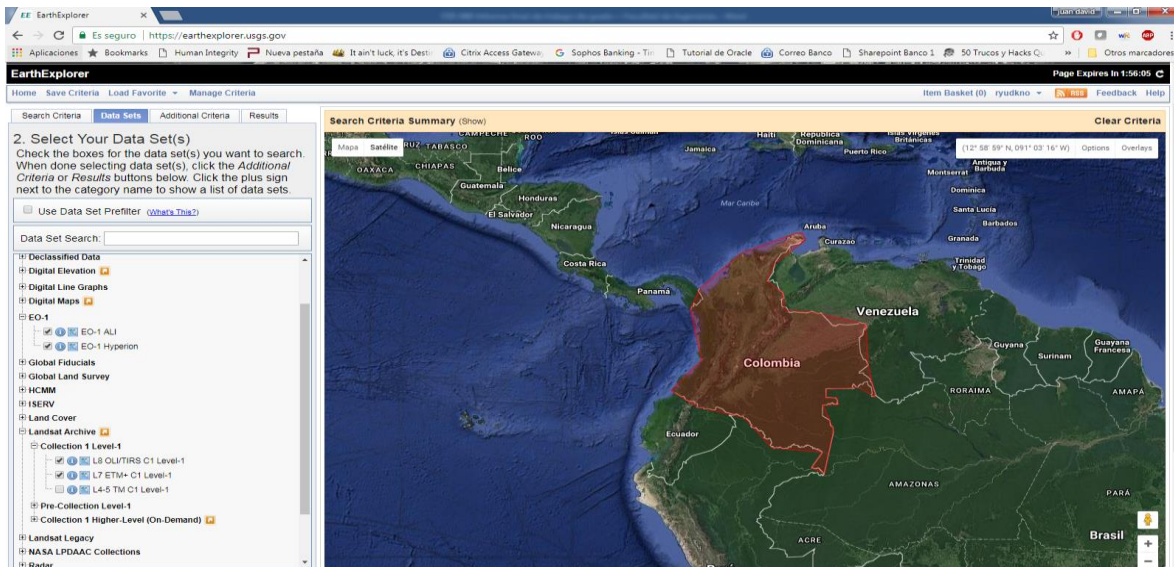


Figura 9. Tomada de la página https://earthexplorer.usgs.gov

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se puede utilizar la sección de “Additional Criteria” en el caso de querer usar filtros como que la nubosidad sea menor al 20% y demás.

- Se da clic en resultados para obtener las imágenes que cumplen nuestro criterio de búsqueda.

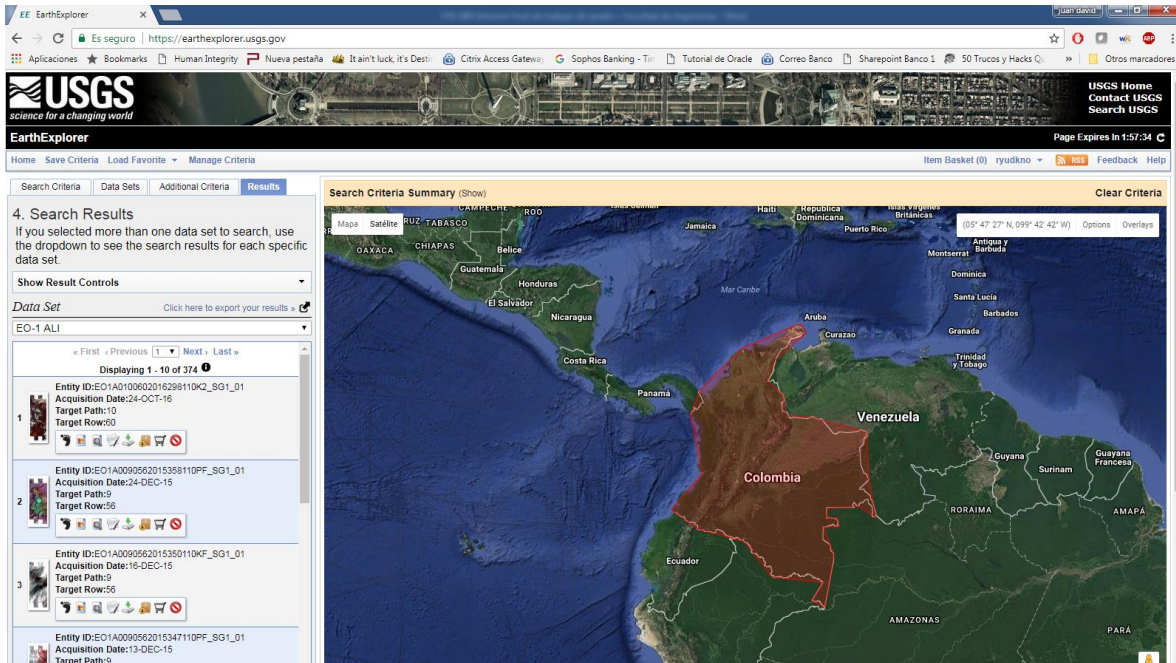


Figura 9. Tomada de la página <https://earthexplorer.usgs.gov>

Aquí se tendrán varias opciones sobre la imagen como características, ubicación geoespacial, opciones de descarga y otros. Para el caso del proyecto, se descargaron imágenes con la calidad más alta ofrecida por la página como lo es el archivo de extensión .TIF

- Tomar las imágenes deseadas y descargarlas.
- Poner las imágenes donde se encuentran las fuentes de Matlab, descomprimirlos ya que vienen en formato. Zip e ingresar a la carpeta descomprimida.
- Ejecutar el comando de Linux que crea la lista de imágenes (ver página 18).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

8. Cree un programa en Matlab que realice el llamado a la función de cálculo de índice vegetacional con los parámetros establecidos (ver página 22).

```

Indices_vegetacionales.m x +
1  %Autor(es): Juan David Correa Cano
2  %Fecha: 05 de Junio de 2017
3  %Asignatura: Trabajo Grado (Visión Artificial).
4  %Programa principal, muestra de índice vegetacional de los sensores
5  %E01-ALI, E01-HYPERION, LANDSAT-TM, LANDSAT-EWM-PLUS, LANDSAT OLI-TIRS
6  |
7 - clear all, clc;
8  myfun_images_NIRED_RED_List('E01A0040562004050110PZ', 'ALI', 'lista.txt', '.tif');
9
10 - clear all, clc;
11 myfun_images_NIRED_RED_List('E01H0040562004050110PZ', 'HYPERION', 'lista.txt', '.tif');
12
13 - clear all, clc;
14 myfun_images_NIRED_RED_List('ELP004R056_7I20010109', 'L_TM', 'lista.txt', '.tif');
15
16 - clear all, clc;
17 myfun_images_NIRED_RED_List('LE70040562014029EDC00', 'L_ETM_PLUS', 'lista.txt', '.tif');
18
19 - clear all, clc;
20 myfun_images_NIRED_RED_List('LC80040562017061LGN00', 'L_OLI_TIRS', 'lista.txt', '.tif');
21
22 - clear all, clc;
23

```

Figura 10. Ejemplo de programa principal de Matlab que realiza llamados a las funciones de cálculo de índice vegetacional.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Usando la metodología expuesta, realizamos la ejecución del programa principal en función de generar el índice vegetacional de los sensores expuestos en el trabajo (EO1-ALI, EO1-HYPERION, LANDSAT-TM, LANDSAT-ETM-PLUS, LANDSAT-OLI-TIRS).

```
%Autor(es): Juan David Correa Cano
%Fecha: 05 de Junio de 2017
%Asignatura: Trabajo Grado (Visión Artificial).
%Programa principal, muestra de índice vegetacional de los sensores
%EO1-ALI, EO1-HYPERION, LANDSAT-TM, LANDSAT-EWM-PLUS, LANDSAT OLI-TIRS

%Se clarean variables de trabajo
clear all, clc;
%Se llama la función que calcula el índice vegetacional de la imagen
según
%el sensor utilizado, en este caso: Sensor(EO1-ALI)
myfun_images_NIRED_RED_List('EO1A0040562004050110PZ', 'ALI', 'lista.txt',
'.tif');

clear all, clc;
%Se llama la función que calcula el índice vegetacional de la imagen
según
%el sensor utilizado, en este caso: Sensor(EO1-HYPERION)
myfun_images_NIRED_RED_List('EO1H0040562004050110PZ', 'HYPERION',
'lista.txt', '.tif');

clear all, clc;
%Se llama la función que calcula el índice vegetacional de la imagen
según
%el sensor utilizado, en este caso: Sensor(EO1-LANDSAT-TM)
myfun_images_NIRED_RED_List('ELP004R056_7T20010109', 'L_TM', 'lista.txt',
'.tif');

clear all, clc;
%Se llama la función que calcula el índice vegetacional de la imagen
según
%el sensor utilizado, en este caso: Sensor(EO1-LANDSAT-ETM-PLUS)
myfun_images_NIRED_RED_List('LE70040562014029EDC00', 'L_ETM_PLUS',
'lista.txt', '.tif');

clear all, clc;
%Se llama la función que calcula el índice vegetacional de la imagen
según
%el sensor utilizado, en este caso: Sensor(EO1-LANDSAT-OLI-TIRS)
myfun_images_NIRED_RED_List('LC80040562017061LGN00', 'L_OLI_TIRS',
'lista.txt', '.tif');
```

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```
clear all, clc;
%Se llama la función que calcula el índice vegetacional de la imagen
según
%el sensor utilizado, en este caso: Sensor(E01-LANDSAT-OLI-TIRS)
myfun_images_NIRED_RED_List('LC80040562017093LGN00', 'L_OLI_TIRS',
'lista.txt', '.tif');
```

Figura 11. Código fuente utilizado como programa principal de llamados a la función myfun_images_NIRED_RED_List, encargada de generar las imágenes de índice vegetacional de cada sensor ingresado como parámetro de entrada

Luego de realizar el procesamiento correspondiente y teniendo en cuenta que todas las imágenes son del mismo punto de referencia (PATH: 004, ROW: 056) obtenemos los siguientes resultados:

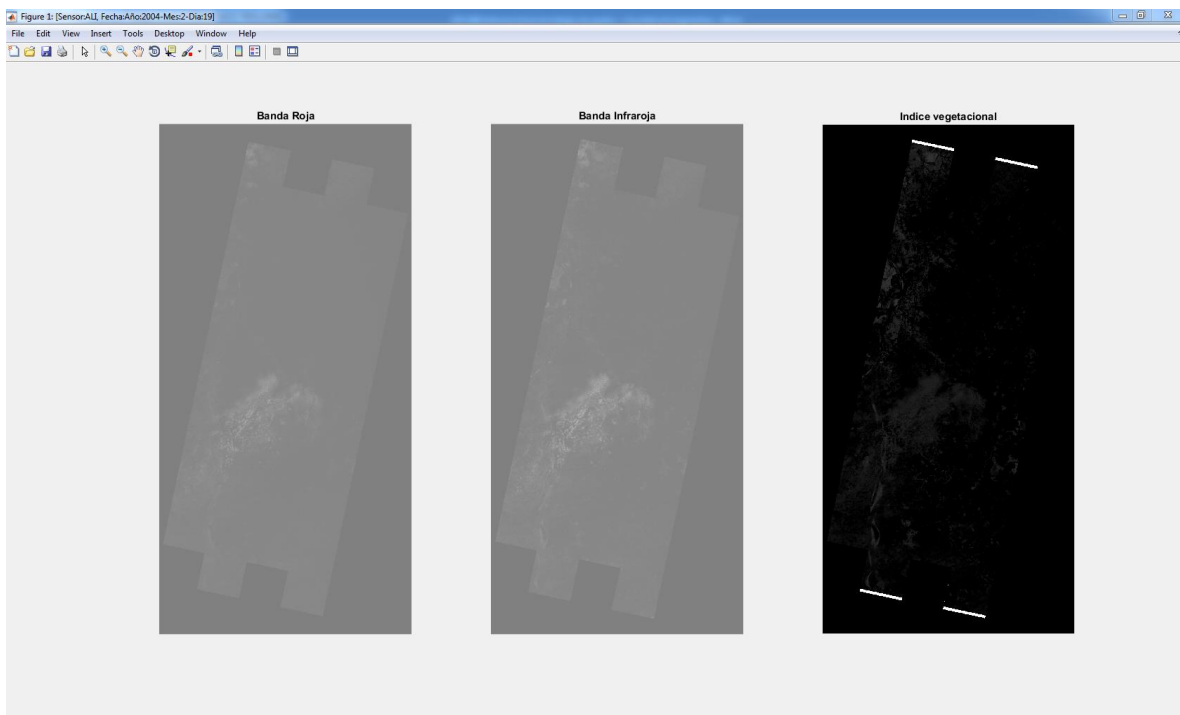


Figura 12. Índice vegetacional sensor EO1-ALI con fecha “febrero 19 de 2004”.

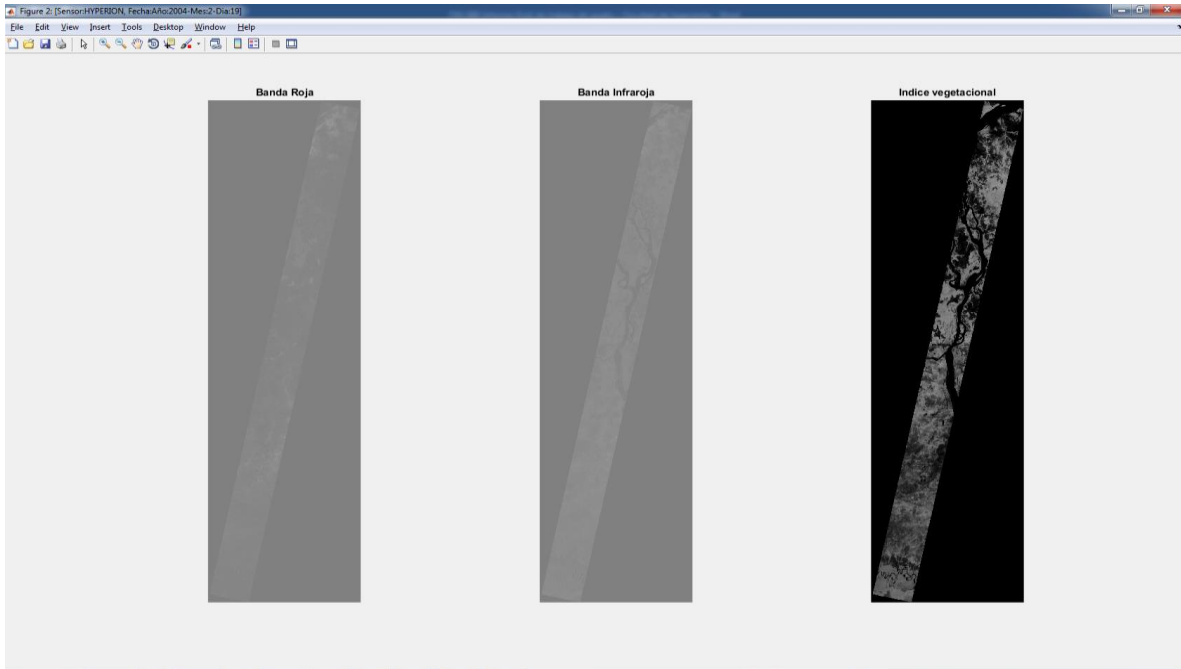


Figura 13. Índice vegetacional sensor EO1-HYPERION con fecha “febrero 19 de 2004”

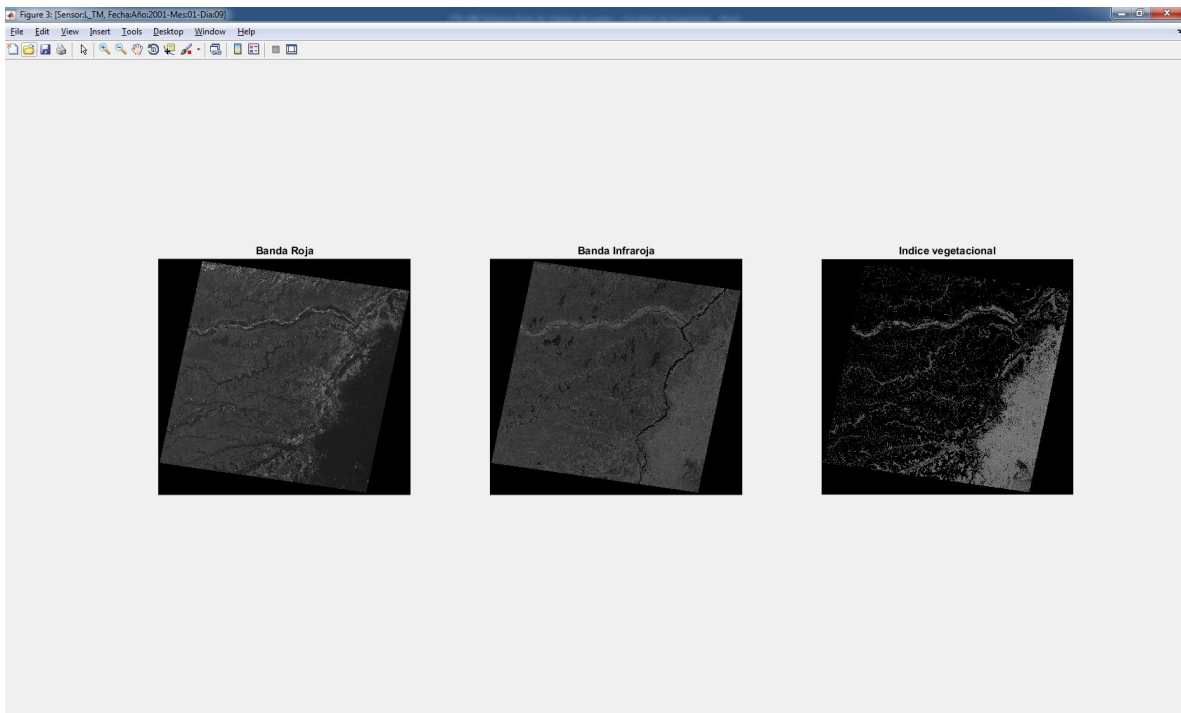


Figura 14. Índice vegetacional sensor LANDSAT-TM con fecha “enero 9 de 2001”

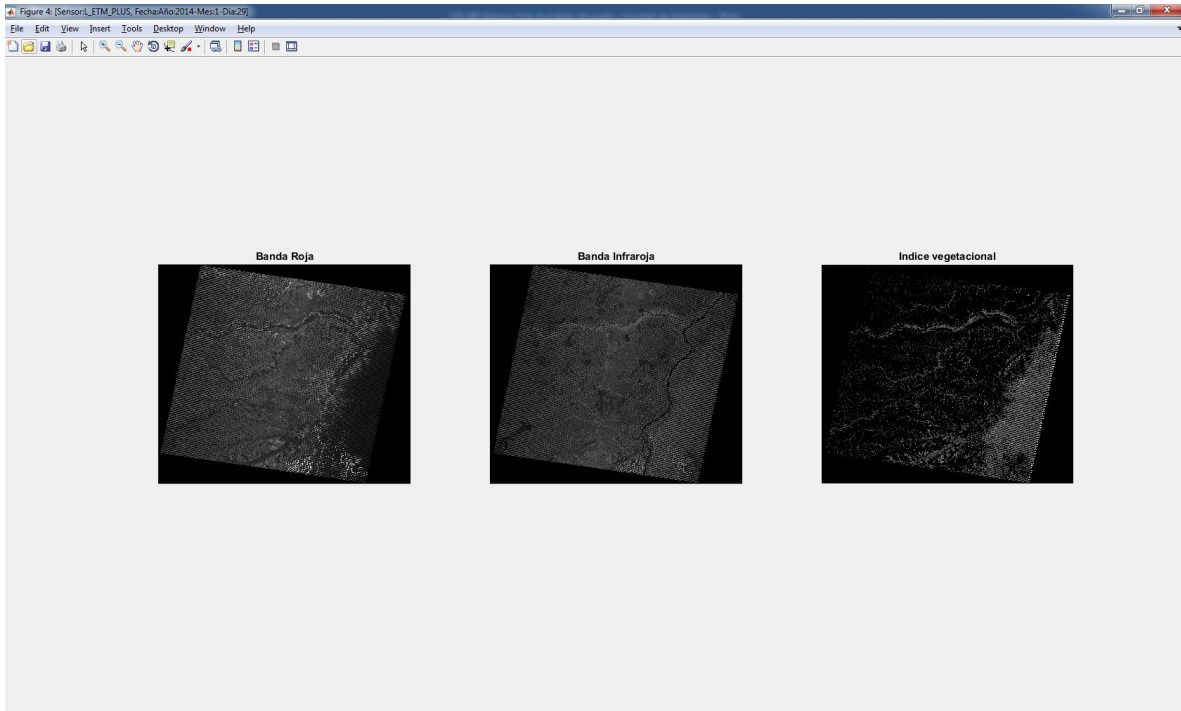


Figura 15. Índice vegetacional sensor LANDSAT-ETM-PLUS con fecha “enero 29 de 2014”

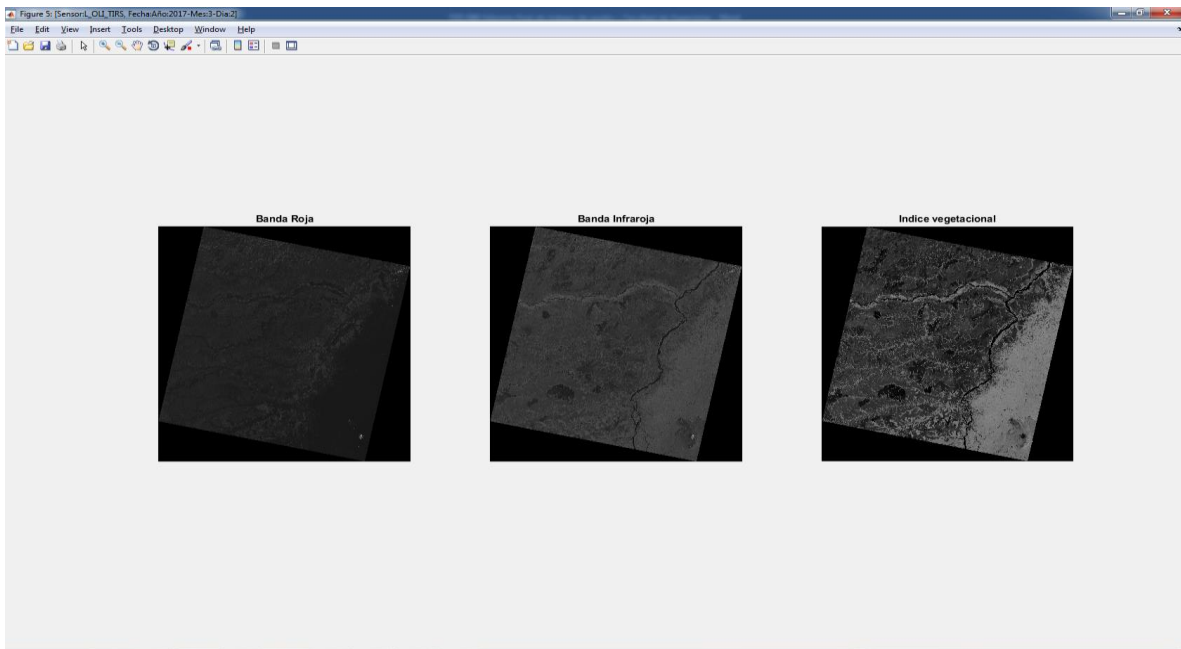


Figura 16. Índice vegetacional sensor LANDSAT-OLI-TIRS con fecha “marzo 2 de 2017”

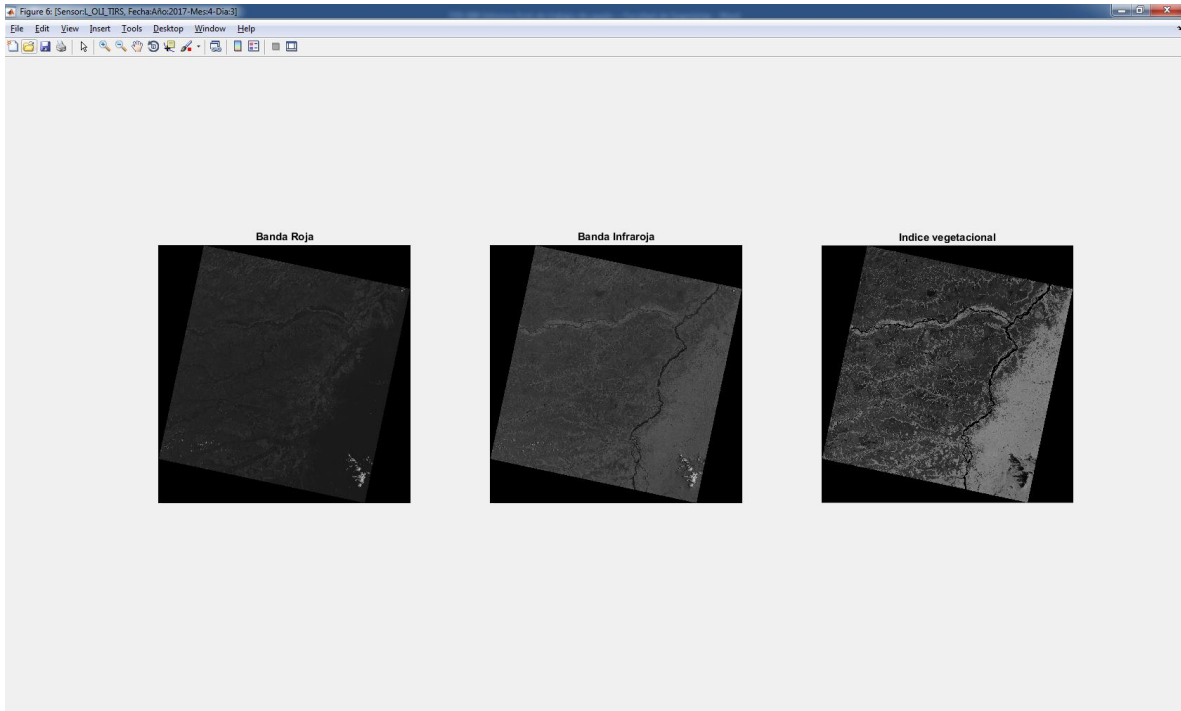


Figura 17. Índice vegetacional sensor LANDSAT-OLI-TIRS con fecha “abril 3 de 2017”

Las figuras 12-17 son los resultados del uso de la función para ilustrar el índice vegetacional de los diferentes sensores. Es claro que la implementación satisface la necesidad de ilustrar tales índices, que serán de gran utilidad para el análisis de deforestación ambiental, impactos de oleadas de cambios climáticos, desastres naturales o generados por el hombre, entre otros.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- El índice vegetacional de una región es uno de los datos más relevantes de información estadística y de análisis ambiental, ya que gracias a este se pueden tomar medidas preventivas a desastres naturales o en caso pos-desastre estudiar comportamiento de la vegetación cercana y como podría impactar el ecosistema del área afectada.
- La generación de las ilustraciones de índice vegetacional toman gran importancia para el reto futuro que es poder implementar una solución que a partir de dichas imágenes analice que cambios han surgido a través del tiempo en una zona de interés y utilizando información de los múltiples sensores, de esta manera se podrían generar bases de datos estadísticas que servirán para prevención ya sea de desastres naturales o impactos ambientales generados por el ser humano
- La implementación se realiza de tal manera que la ilustración de cada índice vegetacional no deja datos de ambiente en el programa, de esta forma se optimiza el almacenamiento de información para la ilustración de las siguientes imágenes.
- La generación de cubos multiespectrales, es una implementación que requiere bastantes recursos computacionales, ya que las imágenes son un tamaño bastante grande y que consumen un alto porcentaje de la memoria RAM, limitante que se tuvo en el proyecto de laboratorio ya que los equipos de cómputo contaban con un tamaño de memoria RAM máximo de 16GB, tamaño que no fue suficiente para procesar los cubos multiespectrales.
- En el proyecto se catalogaron las imágenes de forma manual con la ayuda de Excel (archivo: lista_imagenes_consolidado.xls), a futuro se podría implementar un catalogador de imágenes espectrales cuya fuente sea la página <https://earthexplorer.usgs.gov/>, de tal manera que al descargar la imagen esta se pueda

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

identificar rápidamente a que longitud y latitud de la tierra pertenece, la fecha de generación y de este modo filtrar más rápidamente las imágenes de interés (aunque la página cuenta con filtros por sensor, al momento de descargar la imagen viene con un formato no fácil de leer para cualquier usuario).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

Teledet. (2017). TUTORIAL - INTRODUCCION A LA PERCEPCION REMOTA. Disponible en: <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/imagenes-satelitales-tutorial.htm>

Avid Roman-Gonzalez, Natalia Indira Vargas-Cuentas. Análisis de imágenes hiperespectrales. Revista Ingeniería & Desarrollo, 2013, Año 9 (N 35), pp.14-17.

Álava Ingenieros. (2017). Disponible en: <http://www.grupoalava.com/ingenieros/actualidad/que-diferencia-una-imagen-multiespectral-de-una-hiperespectral/>

EO1.USGS.GOV. (2013) USGS EO-1. Disponible en: <https://eo1.usgs.gov/sensors/ali>

EO1.USGS.GOV. (2013) USGS EO-1. Disponible en: <https://eo1.usgs.gov/sensors/hyperion>

Es.wikipedia.org. (2017). Hiperespectral.

Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Hiperespectral>

Landsat.usgs.gov. (2017). What are the band designations for the Landsat satellites? | Landsat Missions. Disponible en: <https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE

APENDICE A

Corresponde a los códigos fuente necesarios para realizar el cálculo del índice vegetacional.

Programa principal: Indices vegetacionales.m

```
%Autor(es): Juan David Correa Cano
%Fecha: 05 de Junio de 2017
%Asignatura: Trabajo Grado (Visión Artificial).
%Programa principal, muestra de índice vegetacional de los sensores
%E01-ALI, E01-HYPERION, LANDSAT-TM, LANDSAT-EWM-PLUS, LANDSAT OLI-TIRS

%Se clarean variables de trabajo
clear all, clc;
%Se llama la función que calcula el índice vegetacional de la imagen
según
%el sensor utilizado, en este caso: Sensor(E01-ALI)
myfun_images_NIRED_RED_List('E01A0040562004050110PZ', 'ALI', 'lista.txt',
'.tif');

clear all, clc;
%Se llama la función que calcula el índice vegetacional de la imagen
según
%el sensor utilizado, en este caso: Sensor(E01-HYPERION)
myfun_images_NIRED_RED_List('E01H0040562004050110PZ', 'HYPERION',
'lista.txt', '.tif');

clear all, clc;
%Se llama la función que calcula el índice vegetacional de la imagen
según
%el sensor utilizado, en este caso: Sensor(E01-LANDSAT-TM)
myfun_images_NIRED_RED_List('ELP004R056_7T20010109', 'L_TM', 'lista.txt',
'.tif');

clear all, clc;
%Se llama la función que calcula el índice vegetacional de la imagen
según
%el sensor utilizado, en este caso: Sensor(E01-LANDSAT-ETM-PLUS)
myfun_images_NIRED_RED_List('LE70040562014029EDC00', 'L_ETM_PLUS',
'lista.txt', '.tif');

clear all, clc;
%Se llama la función que calcula el índice vegetacional de la imagen
según
%el sensor utilizado, en este caso: Sensor(E01-LANDSAT-OLI-TIRS)
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```
myfun_images_NIRED_RED_List('LC80040562017061LGN00', 'L_OLI_TIRS',
'lista.txt', '.tif');
```

```
clear all, clc;
%Se llama la función que calcula el índice vegetacional de la imagen
según
%el sensor utilizado, en este caso: Sensor(E01-LANDSAT-OLI-TIRS)
myfun_images_NIRED_RED_List('LC80040562017093LGN00', 'L_OLI_TIRS',
'lista.txt', '.tif');
```

función: myfun_images_NIRED_RED_List.m

```
%Autor(es): Juan David Correa Cano
%Fecha: 01 de Junio de 2017
%Asignatura: Trabajo Grado (Visión Artificial).
%Descripción: Muestra una figura con múltiples imágenes, donde la imagen
% primera corresponde a la banda roja de la imagen
multiespectral
% ingresada, la imagen dos corresponde a la banda
infrarroja
% de la imagen multiespectral y la tercera al índice
% vegetacional calculado para dicha imagen.
%Parámetros entrada:
% ruta: ruta donde se encuentra el listado con las imágenes, en caso de
% estar en la misma ruta donde se encuentra la función no es necesario
% especificarla. Ej.: 'E01A0040562004050110PZ', siendo este un
directorio
% o carpeta
% sensor: nombre del sensor que se está utilizando:
% (posibles valores):
% --> ALI: Sensor E01-ALI
% --> HYPERION: Sensor E01-Hyperion
% --> L_TM: Landsat Thematic Mapper
% --> L_ETM_PLUS: Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus
% --> L_OLI_TIRS: Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and
% Thermal Infrared Sensor (TIRS)
% lista_txt: es el nombre de la lista con extensión txt.
% extension_archivo: se especifica la extensión de los objetos que se
% desean entregar, es decir, si las imágenes están en .TIF, se debe
poner
% la extensión '.TIF'
%Parámetro salida:
%-----
--

%function [im_red, im_nired, image_vegetation_index, fecha_img] =...
function ...
myfun_images_NIRED_RED_List(ruta, sensor, lista_txt,
extensionArchivo)
%Se concatena la ruta para leer el listado de imágenes
Ruta = fullfile(ruta, '/');
File = strcat(Ruta, lista_txt);
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

%Variable que almacenar el tipo de archivos que son las imágenes
pextension = upper(extensionArchivo);

%Apertura del archivo de listado de imágenes
fileOpen = fopen(File, 'r');
%Asignación del listado de imágenes a archivo de celdas
cellsFile = textscan(fileOpen, '%s%s', 'Delimiter', ',');
%Vectores que almacenaran los nombres de los archivos listados
names(:,1) = cellsFile{1};
names(:,2) = cellsFile{2};
%Cierre del archivo listado
fclose(fileOpen);

%Ciclo encargado de analizar imagen por imágenes si corresponde a la
%banda roja o infrarroja, para ambos vectores
for i=1:size(names(:,1), 1)
    iM_temp1 = names{i,1};
    iM_temp2 = names{i,2};

    %asignación de bandas roja e infrarroja en caso de ser existentes
    %en el vector names1
    if (not(strcmpi(iM_temp1, '')) && strcmpi(iM_temp1(end-
3:end), pextension))
        if (myfun_band_red_infrared(iM_temp1, sensor, 'RED') == true)
            iM_TempRed = imread(strcat(Ruta, iM_temp1));
        elseif (myfun_band_red_infrared(iM_temp1, sensor, 'NIRED') ==
true)
            iM_TempNiRed = imread(strcat(Ruta, iM_temp1));
            if (size(iM_TempNiRed) > size(iM_TempRed))
                iM_Red = zeros(size(iM_TempNiRed,1),
size(iM_TempNiRed,2));
                iM_Red(1:size(iM_TempRed,1), 1:size(iM_TempRed,2)) =
double(iM_TempRed);
                iM_NiRed = double(iM_TempNiRed);
            elseif (size(iM_TempNiRed) < size(iM_TempRed))
                iM_NiRed = zeros(size(iM_Red,1), size(iM_Red,2));
                iM_NiRed(1:size(iM_TempNiRed,1),
1:size(iM_TempNiRed,2)) = double(iM_TempNiRed);
                iM_Red = double(iM_TempRed);
            else
                iM_Red = double(iM_TempRed);
                iM_NiRed = double(iM_TempNiRed);
            end
            iM_RealRed = iM_TempRed;
            iM_RealNiRed = iM_TempNiRed;
        end
    end;
    %asignación de bandas roja e infrarroja en caso de ser existentes
    %en el vector names2
    if (not(strcmpi(iM_temp2, '')) && strcmpi(iM_temp2(end-
3:end), pextension))
        if (myfun_band_red_infrared(iM_temp2, sensor, 'RED') == true)
            iM_TempRed = imread(strcat(Ruta, iM_temp2));

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

elseif (myfun_band_red_infrared(iM_temp2, sensor, 'NIRED') ==
true)
    iM_TempNiRed = imread(strcat(Ruta,iM_temp2));
    if (size(iM_TempNiRed) > size(iM_TempRed))
        iM_Red = zeros(size(iM_TempNiRed,1),
size(iM_TempNiRed,2));
        iM_Red(1:size(iM_TempRed,1), 1:size(iM_TempRed,2)) =
double(iM_TempRed);
        iM_NiRed = double(iM_TempNiRed);
    elseif (size(iM_TempNiRed) < size(iM_TempRed))
        iM_NiRed = zeros(size(iM_Red,1), size(iM_Red,2));
        iM_NiRed(1:size(iM_TempNiRed,1),
1:size(iM_TempNiRed,2)) = double(iM_TempNiRed);
        iM_Red = double(iM_TempRed);
    else
        iM_Red = double(iM_TempRed);
        iM_NiRed = double(iM_TempNiRed);
    end;
    iM_RealRed = iM_TempRed;
    iM_RealNiRed = iM_TempNiRed;
end;
end;
end;
%Limpia variables ya que consumen recursos de la RAM que pueden ser
%usados para otros procesos
clear iM_TempRed, clear iM_TempNiRed;

%Se asigna la fecha de la imagen según el contenedor del mismo
%(carpeta)
fecha_img = myfun_image_date(ruta, sensor);

%Se calcula el índice vegetacional
suma = (iM_NiRed + iM_Red);
resta = (iM_NiRed - iM_Red);
image_vegetation_index = resta./suma;

%Se asignan los valores reales de la banda roja e infrarroja
im_red = iM_RealRed;
im_nired = iM_RealNiRed;

%Se llama la función necarga de mostrar las imágenes de las bandas
%roja, infrarroja índice vegetacional
myfun_imgShow(im_red, im_nired, image_vegetation_index, fecha_img,
sensor);

%Mensaje de finalización de función    display('finalización función
myfun_imagesNIRED_RED_List');
end

```


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

función: myfun band red infrared.m

```

%Autor(es): Juan David Correa Cano
%Fecha: 05 de Junio de 2017
%Asignatura: Trabajo Grado (Visión Artificial).
%Descripción: Identificar imagen (banda) NIRED (Infrarrojo) y RED (rojo)
%Parámetros entrada:
%  nom_img: nombre de la imagen, la cual tiene una descripción
nematotécnica
%  que ayuda a identificar las bandas.
%  sensor: nombre del sensor que se está utilizando:
%  (posibles valores):
%  --> ALI: Sensor E01-ALI
%  --> HYPERION: Sensor E01-Hyperion
%  --> L_TM: Landsat Thematic Mapper
%  --> L_ETM_PLUS: Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus
%  --> L_OLI_TIRS: Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and
Thermal Infrared Sensor (TIRS)
%  banda: banda que desea consultar:
%  (posibles valores):
%  --> NIRED: Consultar si la imagen hace referencia a la banda
infrarroja del sensor
%  --> RED: Consultar si la imagen hace referencia a la banda
roja
%  del sensor.
%Párametro salida:
%  boolRespuesta: Retorna verdadero si la banda corresponde a lo
consultado, retorna falso en caso contrario.
%-----
--

```

```

function boolRespuesta = myfun_band_red_infrared(nombre_imagen, sensor,
banda)
    %Inicialización de constantes
    boolRespuesta = false;

    %Si el sensor equivale a E01-ALI
    if (strcmpi(sensor, 'ALI'))
        tempNombre = nombre_imagen(24:26);
        %Si la imagen corresponde a la banda infrarroja
        if (strcmpi(banda, 'NIRED') && strcmpi(tempNombre, 'B05'))
            boolRespuesta = true;
        %Si la imagen corresponde a la banda roja
        elseif (strcmpi(banda, 'RED') && strcmpi(tempNombre, 'B04'))
            boolRespuesta = true;
        end;
    %Si el sensor equivale a E01-HYPERION
    elseif (strcmpi(sensor, 'HYPERION'))
        tempNombre = nombre_imagen(24:27);
        %Si la imagen corresponde a la banda infrarroja
        if (strcmpi(banda, 'NIRED') && strcmpi(tempNombre, 'B043'))
            boolRespuesta = true;
        %Si la imagen corresponde a la banda roja
        elseif (strcmpi(banda, 'RED') && strcmpi(tempNombre, 'B030'))
            boolRespuesta = true;
    end;
end

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

end;
%Si el sensor equivale a LANDSAT-TM
elseif (strcmpi(sensor, 'L_TM'))
tempNombre = nombre_imagen(27:28);
%Si la imagen corresponde a la banda infrarroja
if (strcmpi(banda, 'NIRED') && strcmpi(tempNombre, '40'))
boolRespuesta = true;
%Si la imagen corresponde a la banda roja
elseif (strcmpi(banda, 'RED') && strcmpi(tempNombre, '30'))
boolRespuesta = true;
end;
%Si el sensor equivale a LANDSAT-ETM-PLUS
elseif (strcmpi(sensor, 'L_ETM_PLUS'))
tempNombre = nombre_imagen(23:24);
%Si la imagen corresponde a la banda infrarroja
if (strcmpi(banda, 'NIRED') && strcmpi(tempNombre, 'B4'))
boolRespuesta = true;
%Si la imagen corresponde a la banda roja
elseif (strcmpi(banda, 'RED') && strcmpi(tempNombre, 'B3'))
boolRespuesta = true;
end;
%Si el sensor equivale a LANDSAT-OLI-TIRS
elseif (strcmpi(sensor, 'L_OLI_TIRS'))
tempNombre = nombre_imagen(23:24);
%Si la imagen corresponde a la banda infrarroja
if (strcmpi(banda, 'NIRED') && strcmpi(tempNombre, 'B5'))
boolRespuesta = true;
%Si la imagen corresponde a la banda roja
elseif (strcmpi(banda, 'RED') && strcmpi(tempNombre, 'B4'))
boolRespuesta = true;
end;
end;
end

```

función: myfun_image_date.m

```

%Autor(es): Juan David Correa Cano
%Fecha: 07 de Junio de 2017
%Asignatura: Trabajo Grado (Visión Artificial).
%Descripción: fecha de imagen, hace uso de la función myfun_jul2gregorian
%
% caso de necesitar interpretar la fecha julian a gregoriano
%Parámetros entrada:
% nom_img: nombre de la imagen, la cual tiene una descripción
nematécnica
% que ayuda a identificar las bandas.
% sensor: nombre del sensor que se está utilizando:
% (posibles valores):
% --> ALI: Sensor EO1-ALI
% --> HYPERION: Sensor EO1-Hyperion
% --> L_TM: Landsat Thematic Mapper
% --> L_ETM_PLUS: Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus
% --> L_OLI_TIRS: Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and
Thermal Infrared Sensor (TIRS)
%Parámetro salida:

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```
% fecha: Retorna la fecha original de la imagen
```

```
%-----
```

```
--
```

```
function fecha_imagen = myfun_image_date(nombre_imagen, sensor)
%Si el sensor de entrada es: EO1-ALI
if (strcmpi(sensor, 'ALI'))
    iM_Jul = nombre_imagen(11:17);
    fecha_imagen = myfun_jul2gregorian(iM_Jul);
%Si el sensor de entrada es: EO1-HYPERION
elseif (strcmpi(sensor, 'HYPERION'))
    iM_Jul = nombre_imagen(11:17);
    fecha_imagen = myfun_jul2gregorian(iM_Jul);
%Si el sensor de entrada es: LANDSAT-TM
elseif (strcmpi(sensor, 'L_TM'))
    fecha_imagen = strcat('Año:', nombre_imagen(14:17)...
        , '-Mes:', nombre_imagen(18:19), '-
Dia:', nombre_imagen(20:21));
%Si el sensor de entrada es: LANDSAT-ETM-PLUS
elseif (strcmpi(sensor, 'L_ETM_PLUS'))
    iM_Jul = nombre_imagen(10:16);
    fecha_imagen = myfun_jul2gregorian(iM_Jul);
%Si el sensor de entrada es: LANDSAT-OLI-TIRS
elseif (strcmpi(sensor, 'L_OLI_TIRS'))
    iM_Jul = nombre_imagen(10:16);
    fecha_imagen = myfun_jul2gregorian(iM_Jul);
end;
end
```

función: myfun_jul2gregorian.m

```
%Autor(es): Juan David Correa Cano
%Fecha: 01 de Junio de 2017
%Asignatura: Trabajo Grado (Visión Artificial).
%Descripción: Interpretar fecha julian a gregoriano
%Parámetros entrada:
% jul: Fecha en formato julian AAAADDD
%Parámetro salida:
% fecha_imagen = Fecha en el siguiente formato "Ano:AAAA-Mes:MM-Dia:DD"
%-----
--
function fecha_imagen = myfun_jul2gregorian(jul)
%Asignación de variables de trabajo
boolMayor = true;
%Se asigna el año AAAA
j_anio = jul(1:4);
%Se toma el día en Julian DDD
j_dia = jul(5:7);
%Se pasan ambas variables julianas a doble
j_anio = str2num(j_anio);
j_dia = str2num(j_dia);

%Condicional que evalua Sí el número de día ingresado es menor a 365
%366 días
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

if (j_dia > sum(eomday(j_anio, 1:12)))
    fecha_imagen = 'Fecha_con_Error';
%En caso de ser un número día válido se procede a calcular el mes y
día
else
    j = 1;
    %Ciclo, mientras la sumatoria de días del mes sea menor a el día
    %julian ingresado, sigue evaluando el siguiente mes
    while(boolMayor == true)
        if (sum(eomday(j_anio, 1:j)) > j_dia)
            boolMayor = false;
        else
            j = j +1;
        end
    end
end

%Una vez sea menor, J almacena el número del mes al cual
%corresponde la fecha en julian
g_anio = int2str(j_anio);
g_mes = int2str(j);
%El día en julian, menos la sumatoria de días de los meses
%anteriores podemos hallar el día exacto el cual corresponde el
día
%en Julian
g_dia = int2str(j_dia - sum(eomday(j_anio, 1:j-1)));

%Se procede a asignar el formato de salida del parámetro
fecha_imagen = strcat('Año:', g_anio, '-Mes:', g_mes, '-
Dia:', g_dia);
end
end

```

función: myfun_imgShow.m

```

%Autor(es): Juan David Correa Cano
%Fecha: 07 de Junio de 2017
%Asignatura: Trabajo Grado (Visión Artificial).
%Descripción: Visualización de imágenes
%Parámetros entrada:
%   iMRed = Imágen de la banda roja del sensor seleccionado
%   iMNiRed = Imágen de la banda infraroja del sensor seleccionado
%   iMIndice = Imágen con la información de índice
%   vegetacional
%   iMFecha = Fecha de la imagen
%   iMSensor = sensor utilizado para la imagen
%Parámetro salida:

function myfun_imgShow(iMRed, iMNiRed, iMIndice, iMFecha, iMSensor)
    figure('name', strcat('[Sensor: ', iMSensor, ', Fecha:', iMFecha,
    ' ]')),
        subplot(1,3,1), imshow(iMRed), title('Banda Roja'),
        subplot(1,3,2), imshow(iMNiRed), title('Banda Infraroja'),
        subplot(1,3,3), imshow(iMIndice), title('Indice vegetacional');
end

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APENDICE B

Corresponde a los códigos fuente necesarios para realizar la generación del cubo multispectral.

función: myfun_imgShow.m

```
%Autor(es): Juan David Correa Cano
%Fecha: 31 de Mayo de 2017
%Asignatura: Trabajo Grado (Visión Artificial).
%Descripción: Crear imagen multicapa con imágenes M x N x 1.
%Parámetros entrada:
% ruta: ruta donde se encuentra el listado con las imágenes, en caso de
% estar en la misma ruta donde se encuentra la función no es necesario
% especificarla. Ej: 'E01A0040562004050110PZ', siendo este un
directorio
% o carpeta
% lista_txt: es el nombre de la lista con extensión txt.
% extensión_archivo: se especifica la extensión de los objetos que se
% desean entregar, es decir, si las imágenes están en .TIF, se debe
poner
% la extensión '.TIF'
%Parámetro salida:
% iM_Pancromatic = Imágen pancromática del conjunto de imágenes
% iM_Cube = Conjunto de imágenes.
%-----
--
```

```
function [iM_Pancromatic, iM_Cube] = myfun_imagesPanc_Cube_List(ruta,
lista_txt, extensionArchivo)
%Separador de ruta
Ruta = fullfile(ruta, '/');
%Variable que almacena la ruta exacta donde está la imagen del sensor
File = strcat(Ruta, lista_txt);
%Variable que almacena el nombre de la extensión de la imagen que fue
%ingrsada por medio de uno de los parámetros de entrada
pextension = upper(extensionArchivo);
%Se abre el archivo y se carga en la variable fileOpen
fileOpen = fopen(File, 'r');
%Se almacenan los valores del archivo en celdas de dos columnas
cellsFile = textscan(fileOpen, '%s%s', 'Delimiter', ',');
%Se asignan todos los valores de las celdas a nombres para su uso
futuro
names(:,1) = cellsFile{1};
names(:,2) = cellsFile{2};
%Se cierra el archivo de listado para no dejarlo agarrado por el
%programa en ejecución
fclose(fileOpen);

%Se realiza el llamado a la función myfun_posPancromatic_tamCubo, la
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

%cual está encargada de retornar la posición de la imagen
pancromática
%(para los sensores que aplica) y el tamaño de la imagen más grande
%para poder formar el cubo de imágenes multiespectrales
[XPan, tamCubo] = myfun_posPancromatica_tamCubo(Ruta, names, '.TIF');

%El contador está encargado de totalizar cuantas imágenes están
%almacenadas en el cubo
contador = myfun_contadorObjetos(names, pextension);

%La variable iM_Def almacenará el cubo de imágenes multiespectrales
iM_Def = zeros(tamCubo(1), tamCubo(2), contador);
indice_iMDef = 1;

%Ciclo encargado de vaciar las imágenes al cubo multiespectral
for i=1:size(names(:,1), 1)
    iM_temp1 = names{i,1};
    iM_temp2 = names{i,2};

    %Si el nombre de archivo (columna 1) no está vacío y además
    cumple con la
    %extensión dada como parámetro de entrada, entonces:
    if (not(strcmpi(iM_temp1, '')) && strcmpi(iM_temp1(end-
3:end), pextension))
        %Se almacena la imagen en variable temporal
        iM_temp = imread(strcat(Ruta, iM_temp1));
        %Se agrega la imagen al cubo multiespectral
        iM_Def(1:size(iM_temp,1), 1:size(iM_temp,2), indice_iMDef) =
iM_temp;
        indice_iMDef = indice_iMDef + 1;
    end;
    %Si el nombre de archivo (columna 2) no está vacío y además
    cumple con la
    %extensión dada como parámetro de entrada, entonces:
    if (not(strcmpi(iM_temp2, '')) && strcmpi(iM_temp2(end-
3:end), pextension))
        %Se almacena la imagen en variable temporal
        iM_temp = imread(strcat(Ruta, iM_temp2));
        %Se agrega la imagen al cubo multiespectral
        iM_Def(1:size(iM_temp,1), 1:size(iM_temp,2), indice_iMDef) =
iM_temp;
        indice_iMDef = indice_iMDef + 1;
    end;
end;

%Se asigna la imagen pancromática según la posición entrega
%anteriormente
iM_Pancromatic = imread(strcat(Ruta, names{XPan(1), XPan(2)}));
%Se asigna el cubo de salida
iM_Cube = iM_Def;
%Mensaje en pantalla de finalización del proceso
display('finalización función myfun_imagesPanc_Cube_List');
end

```

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: 7/10/2017

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____