



**COMPARACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN EN EL CERRO DE LA  
CONEJERA DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**MIGUEL ANGEL JUZGA SOLANILLA**

**ARTICULO PARA OPTAR AL TITULO DE ESPECIALISTA EN GEOMATICA**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**ESPECIALIZACION EN GEOMATICA**

**2016**

# COMPARACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN EN EL CERRO DE LA CONEJERA DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ

Miguel Angel Juzga Solanilla,  
Ingeniero Forestal, Candidato Especialista en Geomática,  
Bogotá, Colombia,  
migueljuzga@live.com

## Palabras clave

Índice de vegetación, vegetación, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NVDI, Índice de Vegetación de Cociente RVI, Índice de Vegetación de Cociente Normalizado NRVI, Índice de Vegetación Transformado TVI, Índice de Vegetación Transformado Corregido CTVI, Índice de Vegetación Transformado de Thiam TTVI, cerro la conejera, comparación.

## RESUMEN

El área de estudio es el cerro de la conejera en la ciudad de Bogotá, (Colombia), en la localidad de suba, el cual presenta gran cantidad de vegetación, alrededor se encuentran cultivos propios de la sabana de Bogotá; esta área del cerro es un parque ecológico declarado por el distrito capital por tal razón es de especial conservación por parte de las autoridades ambientales de la ciudad.

Dentro del espectro electromagnético la vegetación tiene la propiedad de reflejar con mayor intensidad en la banda del infrarrojo cercano, debido principalmente a la presencia de clorofila en los tejidos vegetales, lo cual hace que mediante la combinación de bandas con la banda del infrarrojo cercano se pueda analizar el estado de la vegetación y la presencia o ausencia en una zona particular.

Mediante la descomposición de las bandas de una imagen landsat 8 del año 2015, se realizó el análisis de seis índices de vegetación basados en la pendiente, se realizaron las operaciones algebraicas para el cálculo de los índices y luego de los resultados se compararon entre sí para determinar las ventajas y desventajas de usar cada uno de los índices analizados.

## **ABSTRACT**

The area of study is the hill of the hutch in the city of Bogota, Colombia, in the town of Upland, which has a large amount of vegetation, around there are crops typical of the savanna of Bogota; This area of the hill is an ecological park declared by the capital district for such reason is of special conservation by the environmental authorities of the city.

Within the electromagnetic spectrum the vegetation has the property to reflect with greater intensity in the band of the near infrared, mainly due to the presence of chlorophyll in the vegetal tissues, which makes that by the combination of bands with the band of the near infrared can be Analyze the state of vegetation and the presence or absence in a particular area.

Through the decomposition of the bands of an image landsat 8 of the year 2015, the analysis of six vegetation indices based on the slope was carried out, the algebraic operations were carried out to calculate the indices and then the results were compared to each other for Determine the advantages and disadvantages of using each index analyzed.

## **1 INTRODUCCIÓN**

Dentro de las nuevas tecnologías de información se encuentran actualmente fuentes de toma de datos de fácil acceso al usuario, los datos que hace un tiempo tenían algunas fallas para su uso, hoy día han sido corregidos y mejorados y son de uso masivo y libre en todo el mundo como lo son las imágenes de satélite; en el año 2013 se realizó el lanzamiento de la última misión del Landsat 8 o LDCM (Landsat Data Continuity Mission) es un satélite de observación de la Tierra construido por Orbital Sciences Corporation para la NASA y el USGS (United States Geological Survey), el cual permitió corregir el fallo de la antigua misión landsat 7, e incorporo nuevas bandas al desarrollo de la misión.

Los satélites en órbita tienen como uno de sus objetivos la observación de cambios en la superficie terrestre, es así como mediante la combinación de cada una de las bandas que tiene el sensor, podemos analizar diferentes tipos de coberturas y cambios en nuestra superficie, lo cual resulta muy útil cuando se trabaja en el control y uso de los recursos naturales.

Las propiedades reflectivas de la vegetación dependen de tres tipos de variables la primera la estructura de la cubierta vegetal, principalmente caracterizada por su índice foliar, por la orientación de las hojas y por su distribución y tamaño; la segunda las propiedades ópticas de los elementos reflectantes (tallos, hojas, flores y frutos); y la tercera la geometría de la observación, determinada por la orientación relativa entre el sol y la superficie y por la situación del sensor con respecto a esta última.

En la Banda del infrarrojo próximo, las hojas con mayor desarrollo generan mayor dispersión, por ende tienen mayor reflectancia, la vellosoidad de algunos tipos de hojas incrementa también la reflectancia en el visible y el infrarrojo próximo, así como también el estado nutritivo de las plantas influyen en la reflectancia espectral. La característica principal que puede detectarse en relación con el vigor vegetal es el amarillamiento o clorosis y numerosos estados carenciales dan como resultado la clorosis, (B. Martínez, 2006) es decir el poco contenido de clorofila en la vegetación, esto permite que a través de la banda del infrarrojo se pueda determinar el estado y la presencia o ausencia de vegetación en una zona particular.

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

Los índices de vegetación, son imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales. El resultado de estas operaciones permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales.

Teniendo en cuenta lo anterior se realizó el cálculo de seis diferentes índices de vegetación al área que cubre el cerro de la conejera en la ciudad de Bogotá, tomando como base una imagen satelital landsat 8 descompuesta en todas sus bandas, se realizaron las operaciones algebraicas correspondientes y se comparó la respuesta de cada índice a la vegetación presente en el cerro y sus alrededores, identificando así las ventajas y desventajas que presenta el uso de uno u otro índice para el caso particular de la zona de estudio.

## **2 MATERIALES Y METODOS**

### **2.1 METODOLOGIA**

La metodología consistió en la recopilación de información secundaria de la zona de estudio, esto incluyo la revisión de documentos generados con respecto al área del proyecto y la obtención de la imagen satelital. Para la obtención de la imagen satelital se utilizó la plataforma del servicio geológico de los Estados Unidos (USGS), revisando que el área de estudio estuviera en las condiciones adecuadas, esto es, buena calidad y bajo porcentaje de nubes.

La imagen descargada se obtuvo en un nivel L1Gt el cual tiene datos con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas y muestreos para el registro a una proyección cartográfica referenciada a WGS84. Se realizó procesamiento sencillo

de la imagen satelital consistente en la corrección atmosférica, para dicha corrección se usó el software PCI geomática.

La imagen original se recortó con el fin de lograr el cubrimiento de las 161 ha que tiene el cerro de la conejera y así realizar el procesamiento de manera más rápida.

Se determinó hacer el cálculo de 6 índices basados en la pendiente, los cuales se indican a continuación:

- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NVDI
- Índice de Vegetación de Cociente RVI
- Índice de Vegetación de Cociente Normalizado NRVI
- Índice de Vegetación Transformado TVI
- Índice de Vegetación Transformado Corregido CTVI
- Índice de Vegetación Transformado de Thiam TTVI

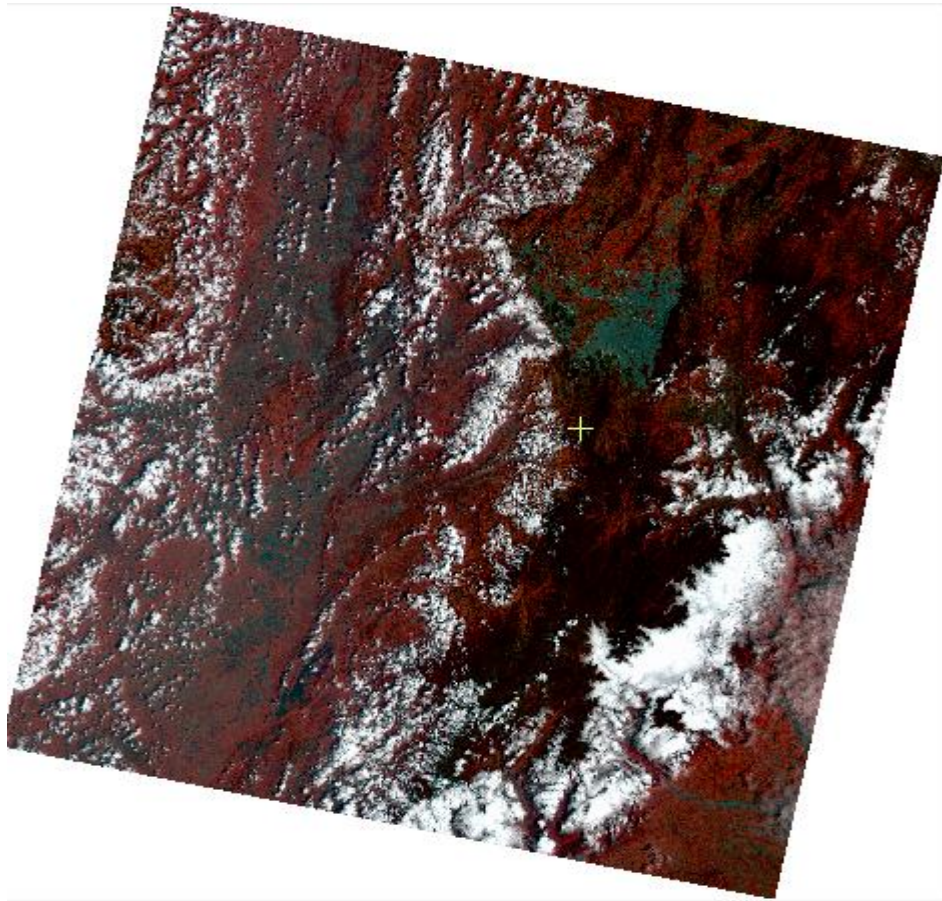
Se realizó comparación entre estos índices para determinar las fortalezas de aplicar cada uno al caso particular de las condiciones vegetativas del área de estudio.

### **2.1.1 Selección de la imagen**

Para la selección de la imagen se realizó búsqueda detallada en la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos, desde el año 2015 hasta el año 2016, seleccionando las imágenes que cumplieran con los parámetros de nubosidad no mayor al 10 % de la zona de estudio y que correspondiera un periodo reciente. Para el año 2016 no se logró encontrar imágenes, principalmente por el tema de nubosidad.

De acuerdo a lo anterior se seleccionó la imagen LC80080572015052LGN00.tar, la cual cumplió con las condiciones anteriormente mencionadas; esta fue tomada en el mes de Febrero del año 2015, con el satélite landsat 8, se descargó en formato geo-tiff para garantizar la consecución de las 10 bandas separadas, sin embargo para él estudió solo se utilizaron las bandas del rojo y del infrarrojo cercano, la descripción de la imagen se encuentra a continuación:

*Imagen N° 1 imagen de satélite landsat 2015*



Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS.2015

*Tabla N° 1 Características de la imagen LC80080572015052LGN00.tar*

<b>Descripción</b>	<b>Datos</b>
ID. Identificador único para cada insumo de acuerdo con el metadato.	LC80080572015052LGN00_MTL.txt
Path/Row.	TARGET_WRS_PATH 8 TARGET_WRS_ROW 57
Origen	ImagecourtesyoftheU.S.GeologicalSurvey
Fecha de captura.	2015-02-21T15:12:33.515768Z
Sensor.	OLI_TIRS
Datum,	WGS84
Altitud del satélite	705000
Azimut solar	116.79631768
Formato de Almacenamiento.	GeoTIFF

Fuente: Meta data imagen landsat LC80080572015052LGN00 de 2015

### **2.1.2 Índices generados**

Los índices de vegetación son medidas cuantitativas, basadas en los valores digitales, que tienden a medir la biomasa o vigor vegetal. Usualmente el índice de vegetación es producto de varios valores espectrales que son sumados, divididos, o multiplicados en una forma diseñada para producir un simple valor que indique la cantidad o vigor de vegetación dentro de un píxel. Altos valores de índices de vegetación identifican píxeles cubiertos por proporciones substanciales de vegetación saludable (Campbell, 2013)

Se escogieron 6 índices basados en la pendiente a fin de lograr compararlos y definir cuáles son las ventajas y desventajas de la utilización de cada uno de estos, se comparó su comportamiento frente la vegetación existen en la zona y se concluyó sobre el resultado obtenido.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **2.2.1 Localización geográfica**

El Cerro La Conejera es un parque ecológico que hace parte del Sistema de Áreas Protegidas del Distrito Capital. De acuerdo al Sistema de Áreas Protegidas del Distrito Capital, el Parque Ecológico de Montaña Cerro La Conejera hace parte de la Estructura Ecológica Principal del Distrito y posee objetivos de preservación y restauración de ecosistemas que brindan servicios ambientales.

El Cerro La Conejera constituye una forma fisiográfica que se acerca a la denominación de colina, considerando la propia definición, es una unidad genética de relieve, que consiste en una elevación natural del terreno de menor altura que una montaña con relación a un nivel de base; presenta 110 m. de desnivel aproximadamente.

Las laderas manifiestan una influencia coluvial en su parte baja y divergen en todas direcciones a partir de la cima relativamente estrecha, siendo su base ovoide.

Lo anterior significa que, la denominación de “cerro”, corresponde más a un reconocimiento tradicional, regional, que en la ciudad se le ha dado al sistema montañoso que circunda la Sabana de Bogotá, como son los Cerros Orientales y los Cerros de Suba, entre otros, y que sistemáticamente ha sido recogido por la normatividad Distrital. Otros estudios, inclusive, le dan el carácter de Serranía, tanto al Cerro La Conejera, como a los Cerros de Suba (Bogota, s.f.)

El cerro de la conejera se localiza entre las coordenadas geográficas extremas: 4° 47' 14,3" de latitud Norte, 74° 4' 3,4" de longitud Oeste; y 5° 35' 13" de latitud Norte - 73° 15' 49,7" de longitud Oeste. (**Ver Mapa N° 1**)

Sus límites son:

- Por el oriente: Limita con el barrio San José de Bavaria y la zona de expansión urbana determinada por el POT. (Decreto 619/2000).
  - Por el occidente: Con la Vía Suba -Cota y la zona de suelo rural determinada por el POT.
  - Por el norte: Con el Colegio Corazonista, Club Los Búhos y la zona de suelo rural determinada por el POT.
- Por el sur: Con la Diagonal 170 y el sector 2 o zona sur del Cerro.

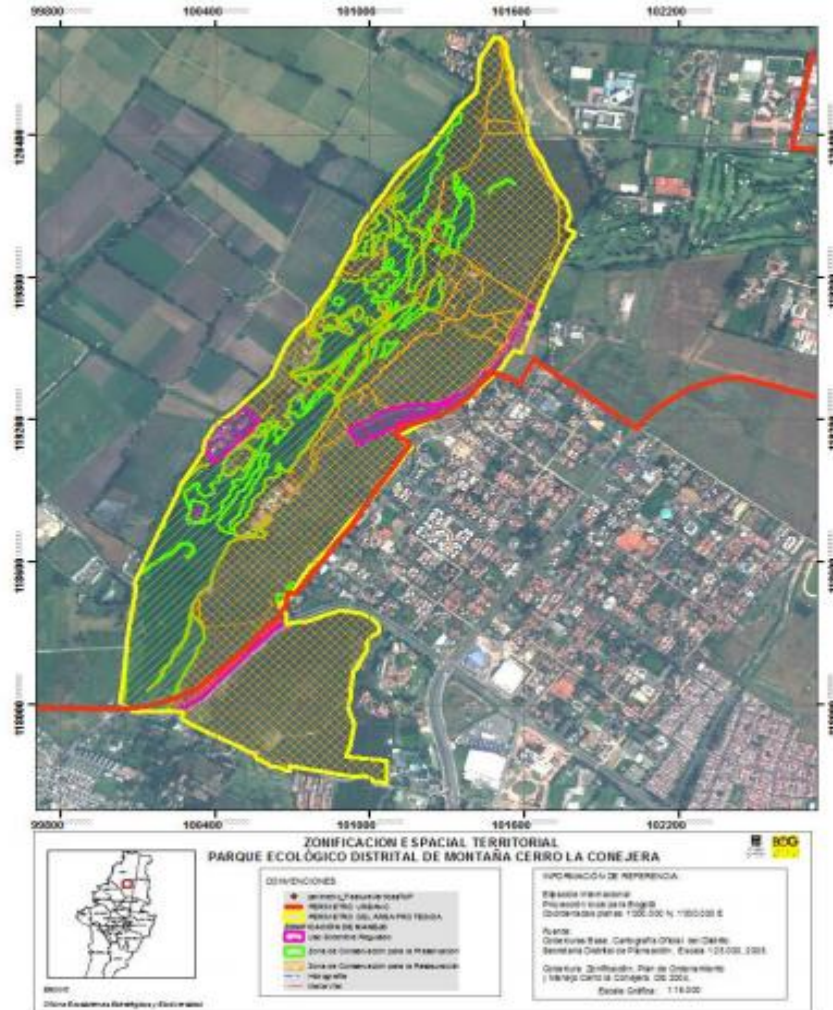
El Cerro La Conejera se encuentra a una altura entre 2565 y 2680 m.s.n.m. Presenta una extensión de 161,4 ha.

En cuanto al clima predomina el ambiente de clima frío, con temperatura promedio de 12.4 °C, en un régimen de tipo bimodal; hidrográficamente se ubica en la cuenca media del río Bogotá, denominada planicie fluviolacustre de la Sabana de Bogotá. La evaporación es de 1046,9 mm/año valor medio anual el brillo solar se calcula en 1399,5 horas/año, que corresponden aproximadamente en promedio a 116,62 horas mensuales y 3,88 horas diarias. La velocidad del viento es de 1,7 m/s y su dirección predominante en este sector corresponde a vientos del Norte, y por último la precipitación promedio: 753,15 mm, en promedio anual. (Ambiente, 2014)



## Mapa N° 1 Zonificación Espacial Territorial Parque Ecológico Distrital de Montaña Cerro la Conejera

RESOLUCIÓN No. 03653



Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente Resolución 03653 de 2014

### 2.3 IMPORTANCIA ECOLOGICA

El Cerro de la Conejera presenta un alto conflicto entre los procesos asociados y proyectados en su territorio, como lo es el desarrollo urbano y las actividades agropecuarias en las áreas aledañas; no obstante, las cualidades del territorio ofrecen condiciones óptimas para el desarrollo de estas dos actividades. Su cercanía a vías de primer nivel como la Avenida Boyacá, Avenida Calle 170 y la vía Bogotá – Cota, hacen de este espacio un área de alto valor para el desarrollo urbanístico, aunque el régimen de usos del área protegida no lo permita.

Los valores ecológicos del Cerro de la Conejera lo convierten en un área estratégica para la circulación de aves y el mantenimiento de la conectividad de la zona norte del Distrito.

### **2.3.1 Valor de Conectividad regional**

Desde la visión regional Bogotá – Cundinamarca se define un escenario a través de la configuración de la red de ciudades para que funcionen como un sistema competitivo. En el contexto ecológico regional, la zona Norte del Distrito juega un papel primordial como articulador de los corredores biogeográficos del río Bogotá y los cerros orientales, por los valores ecosistémicos que allí se encuentran. Dentro de las conexiones ecológicas previstas para volver a relacionar los cerros orientales y la cuenca del río Bogotá, la de mayor relevancia es la conexión vertical entre los ecosistemas de las cimas y laderas altas y los ecosistemas de la planicie y el valle aluvial del río Bogotá.

### **2.3.2 Valor Ecológico**

Por su ubicación y relación regional, es el escudo de protección de un amplio sector de la Sabana de Bogotá; por sus particularidades biofísicas, es un maravilloso ejemplo de la relación hombre-naturaleza donde se conservan los ecosistemas biológicos de ladera y valle aluvial. El Cerro La Conejera puede considerarse como un nodo principal dentro de la Estructura Ecológica Local de Suba y la zona norte, ya que es uno de los parches más representativos con diversas especies de flora.

### **2.3.3 Valor Potencial biótico**

La importancia ecológica de la zona norte no está sólo en su valor paisajístico sino también en la conservación de especies. Constituye un eco-tono bioclimático y por ello, un lugar de encuentro de flora y fauna procedentes de los ecosistemas circunvecinos ubicados en los Cerros Orientales, Bosque Las Mercedes, Quebrada La Salitrosa y los humedales Córdoba, Juan Amarillo (Tibabuyes), La Conejera y Torca - Guaymaral. El 54,7% (127,36 ha.) del ecosistema del Cerro presenta condiciones con alto a muy alto potencial biótico.

### 2.3.4 Hidrografía

El Cerro la Conejera está ubicado en la localidad de Suba en las cuencas de los ríos Bogotá, Juan Amarillo (rio Salitre o denominado por la comunidad Muisca desde sus orígenes como el rio Neuque) y Torca, el sistema hidrográfico lo componen además humedales, quebrada la salitrosa y un complejo de vallados en la zona rural y en las zonas aun no desarrolladas. En cercanías al Cerro de la conejera se encuentran “humedales de planicie de origen fluviolacustre caracterizados por poseer un espejo de agua múltiple y zonas de inundación no uniformes. Según la Política Distrital de Humedales, en Suba existen cuatro humedales pertenecientes a la subcuenca de los ríos Torca y Salitre; dichos ecosistemas constituyen parques ecológicos distritales de carácter público: humedales de Guaymaral, La Conejera, Córdoba y Juan Amarillo o Tibabuyes con un área total de 363 hectáreas; además hay humedales de planicie de recreación activa privados en los clubes El Rancho, Los Arrayanes y Choquenza, que no están reconocidos en la estructura ecológica principal, al igual que otros cuerpos de agua que se ubican en la zona rural en el plano de inundación del rio Bogotá y su vegetación dominante que son la hierbas pantanosas o acuáticas; a veces tienen árboles y arbustos, pero en forma dispersa”

### 2.3.5 Vegetación

Se han encontrado alrededor de 253 distintas especies de flora acuática y terrestre. En los cuerpos acuáticos domina un tipo de juncoide liderado por *Scirpus californicus* (SC) y en la parte terrestre domina la vegetación de Lengua de vaca (*Rumex conglomeratus*), Barbasco (*Polygonum* sp) y Botoncillo (*Bidens laevis*). La flora terrestre se junta y conforma conjuntos herbáceos de extensión endémica de la Sabana de Bogotá

La vegetación arbórea de La Conejera está conformada por especies nativas e introducidas en el proceso de reforestación, por tanto se encuentra una combinación en algunos casos dando como principales especies al Arboloco (*Polymnia pyramidalis*), Aliso (*Alnus acuminata*) y el Sauce (*Salix humboldtiana*). (HUMBOLDT, 2008)

## 3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El cálculo de los índices mostro unas diferencias significativas en el estado de la vegetación del cerro y sus alrededores, se presenta un análisis de los resultados de cada índice, tomando en cuenta la respuesta de cada pixel y el conjunto de pixeles en el recorte de la imagen utilizada.

### 3.1 ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)

Inicialmente se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) el cual fue introducido por (Rouse, 1974) para producir un índice espectral que separa la vegetación verde del suelo utilizando datos digitales del LANDSAT MSS. Éste se expresa como la diferencia entre la banda infrarroja cercana y roja normalizada por la suma de esas bandas, es decir:

*Ecuación 1*

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

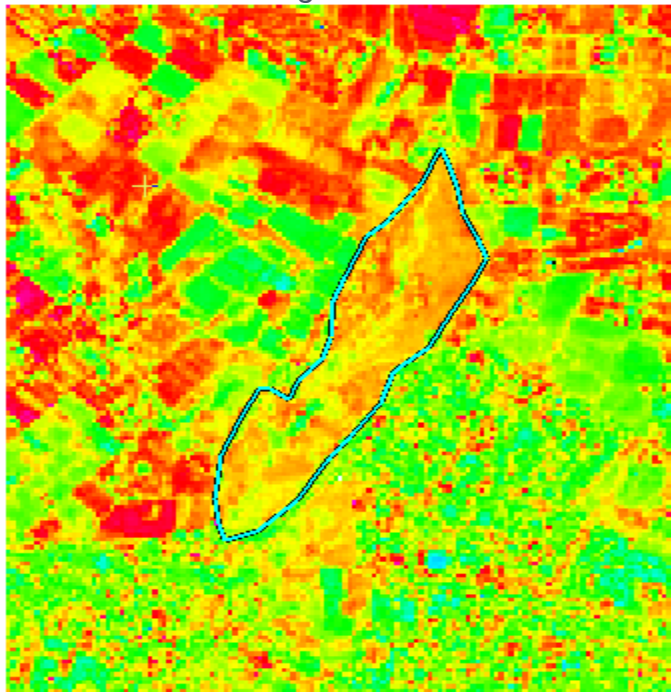
*donde:*

*NIR = Banda 5 Infrarrojo cercano*

*RED = Banda 4 Rojo*

Este es el índice más usado porque retiene la habilidad para minimizar los efectos topográficos y a su vez producir una escala de medida lineal. Además, los errores de división por cero son reducidos en gran medida. Más aún, la escala de medida posee la apreciada propiedad de oscilar de -1 a 1 con el 0 representando el valor aproximado de la falta de vegetación. Entonces, los valores negativos representan las superficies sin vegetación, al calcular este índice sobre el área de estudio, el resultado fue el siguiente:

*Imagen N° 2 Resultado índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)*



Fuente: El autor 2016

En el índice NDVI los valores más altos están representados por el color rojo y los valores más bajos y negativos están representados por la gama de verdes, esto quiere decir que el índice diferencia la vegetación propia del cerro de la conejera en tonalidades rojizas, con presencia de vigorosidad y diferencia claramente las áreas de cultivos en la parte occidental del cerro, donde las representa en tono verde. Este índice es uno de los más usados por las respuestas que tiene ante la presencia de clorofila en la vegetación, también se pueden distinguir algunas áreas azules, las cuales son zonas desprovistas de vegetación y corresponden a construcciones urbanas.

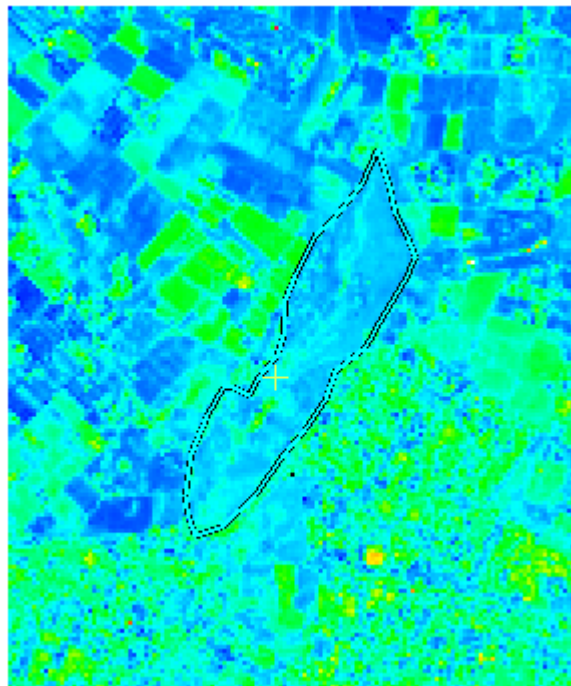
### 3.2 ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE COCIENTE (RVI)

Este índice fue sugerido por (Richardson, 1997) por tener gráficamente la misma fuerzas y debilidades que el TVI mientras que resulta más simple a nivel computacional. El RVI es claramente el inverso del cociente simple estándar (RATIO) como se muestra en esta expresión:

*Ecuación 2*

$$RVI = \frac{RED}{NIR}$$

***Imagen N° 3 Resultado Índice de Vegetación de Cociente (RVI)***



Fuente: El autor 2016

Al calcular el RVI, utilizando solamente el cociente de las dos bandas, se obtiene gráficamente un producto inverso al presentado por el NVDI, donde los valores más altos de píxeles reflejan superficies sin vegetación y los valores más bajos muestran las zonas donde hay mayor presencia de clorofila, en nuestro mapa los valores de vegetación esta representados en tonalidades de azules y los de poca vegetación en verdes y amarillos; podemos decir que para el caso particular si queremos resaltar las áreas donde la presencia de clorofila es menor este índice muestra claramente este tema, simbolizando la ausencia de vegetación con los valores de píxeles altos.

### 3.3 ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE COCIENTE NORMALIZADO (NRVI)

El resultado de NRVI normalizado, es similar al NVDI, reduce efectos topográficos, iluminación y efectos atmosféricos, además de crear una distribución normal estadísticamente deseable, se calcula de la siguiente forma:

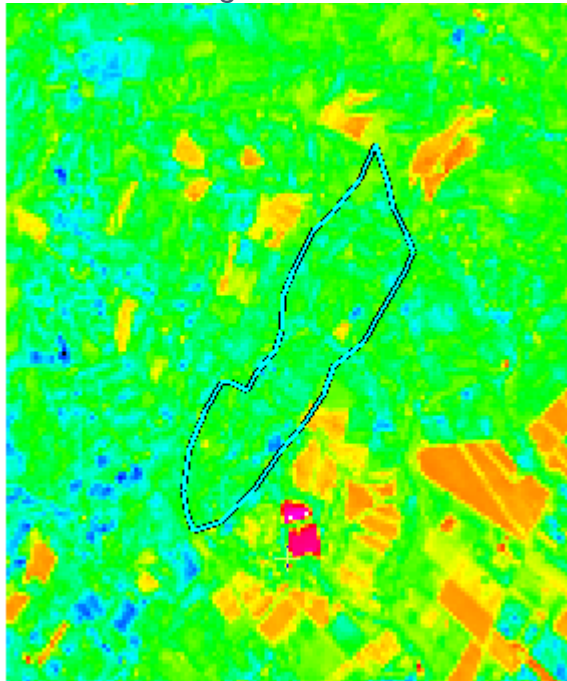
*Ecuación 3*

$$NRVI = RVI - \frac{1}{RVI + 1}$$

*donde;*

*RVI* = Índice de Vegetación de Cociente

*Imagen N° 4 Resultado Índice de Vegetación de Cociente Normalizado (NRVI)*



Fuente: El autor 2016

Este índice resulta confuso para el análisis de la vegetación, pues muestra uniformidad en el cerro y en sus alrededores, pero revisando en detalle, muestra una diferencia marcada en las tonalidades de azul, donde se evidencian las zonas desprovistas de vegetación, suelo desnudo, construcciones y vías.

Los valores más bajos los representan poca vegetación y los más altos muestran alguna presencia de vegetación, sin embargo, homogeniza los datos bastante, por tal razón es útil en el caso particular de cerro de la conejera, para diferenciar las construcciones o suelos desnudos como lo es las vías que llegan a la cima del cerro y algunas zonas como la occidental, donde se está preparando el terreno para nuevos cultivos.

### **3.4 ÍNDICE DE VEGETACIÓN TRANSFORMADO (TVI)**

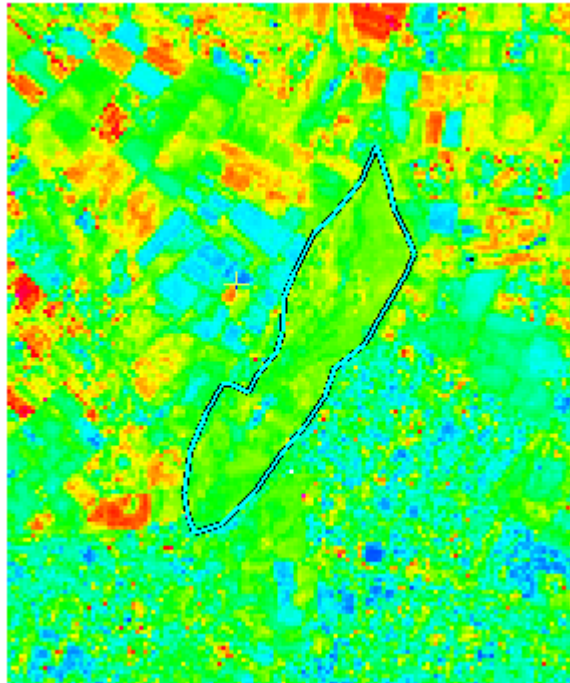
El índice de vegetación transformado incorpora un valor de 0.5 con el fin de evitar resultados negativos, la raíz cuadrada intenta corregir valores que se aproximan a una distribución de Poisson e introduce una distribución normal. Como deficiencia podemos decir que no elimina del todo los valores negativos, pues necesita como dato de entrada valores positivos, de no ser así la operación continúa con valores negativos. Cálculo se realiza con la expresión:

*Ecuación 4*

$$TVI = \sqrt{\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}} + 0.5$$



*Imagen N° 5 Resultado Índice de Vegetación Transformado (TVI)*



Fuente: El autor 2016

Los datos arrojados por el TVI, no difieren a los arrojados por el NVDI, en si las imágenes son muy similares en este caso los valores más altos son los sitios donde se presenta alta acumulación de clorofila y los más bajos se refieren a ausencia de vegetación; para el caso particular las zona de estudio las tonalidades verdes presentan vegetación en estado maduro y las zonas rojas representan cultivos o formaciones vegetales en desarrollo, las zonas azules determinan los suelos desnudos, urbanos o con alguna practica de agricultura como la labranza.

### **3.5 ÍNDICE DE VEGETACIÓN TRANSFORMADO CORREGIDO (CTVI)**

Este índice fue propuesto por (Perry, 1984) y apunta a corregir el TVI, Agrega una constante de 0,5 a todos los valores del NDVI con el fin de eliminar los valores negativos, sin embargo no lo logra del todo ya los valores del NDVI pueden tener el rango -1 a +1. Los valores menores que -0,5 dejan pequeños valores negativos luego de la operación de adición. Entonces, el CTVI se realiza para resolver esta situación al dividir  $(NDVI + 0,50)$  por su valor absoluto  $ABS(NDVI + 0,50)$  y multiplicar el resultado por la raíz cuadrada del valor absoluto  $(SQRT[ABS(NDVI + 0,50)])$ . Esto suprime el NDVI negativo.



La ecuación se escribe a continuación:

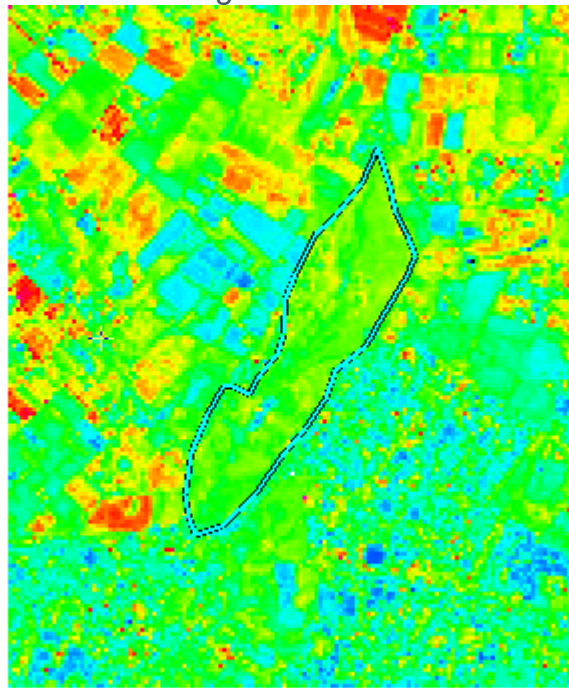
*Ecuación 5*

$$CTVI = \frac{NDVI + 0.5}{ABS(NVDI + 0.5)} * \sqrt{ABS(NDVI + 0.5)}$$

*donde;*

*NDVI* = índice de vegetación de diferencia normalizada

*Imagen N° 6 Resultado índice de vegetación transformado corregido (CTVI)*



Fuente: El autor 2016

En este caso particular el índice de vegetación transformado corregido (CTVI), no presenta variación alguna con el NDVI, mostrando los mismos resultados y corrigiendo los valores negativos en su totalidad, es de recordar que el NVDI, tenía valores negativos inferiores a 0,5, por tal razón desde la primera corrección antes de aplicar el valor absoluto se corregía este tema; en resumen los valores altos están representados en tonalidades de verde y rojos y los valores bajos en azules.

### **3.6 ÍNDICE DE VEGETACIÓN TRANSFORMADO DE THIAM (TTVI).**

Este índice es una corrección al CTVI, para eliminar la sobreestimación del color verde, algunos autores como Thiam 1997 citado por (Eastman, 2003) indica que la imagen resultante del CTVI puede ser muy “ruidosa” debido a una sobrestimación

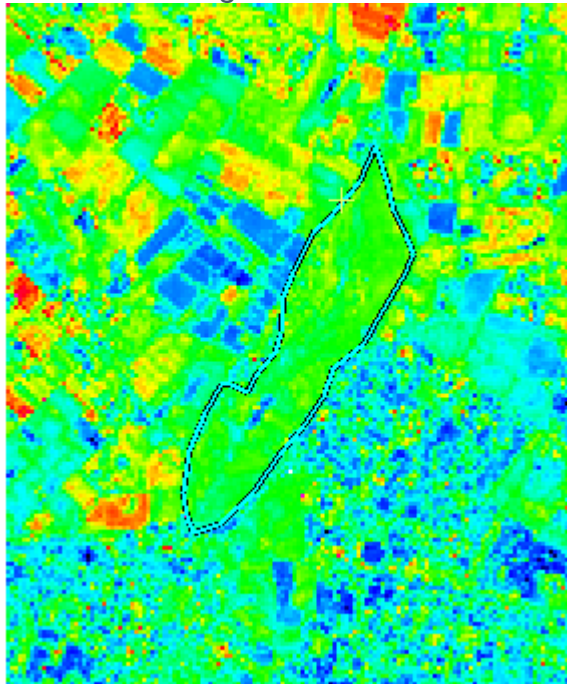
de la cualidad verde. Él sugiere ignorar el primer término de la ecuación CTVI para obtener mejores resultados. Esto se logra sacando la raíz cuadrada de los valores absolutos del NDVI en la expresión original del TVI para tener un nuevo índice de vegetación.

Siendo así la expresión es la siguiente:

*Ecuación 6*

$$TTVI = \sqrt{ABS(NVDI + 0.5)}$$

*Imagen N° 7 Resultado Índice de Vegetación Transformado de Thiam (TTVI)*



Fuente: El autor 2016

Este índice presenta un comportamiento similar al NDVI, sin embargo logramos identificar mejor los bordes de las zonas de cultivos aledañas al cerro y efectivamente genera delimitación de zonas más claramente, es una buena recomendación para refinar las salidas que presenta el NDVI, en aras de lograr mejor detalle en la interpretación de la cobertura.

#### **4 CONCLUSIONES**

- Para la zona de estudio se determinó que el indicador que mejor se comporta y representa la vegetación existente es el NDVI, pues represento de manera clara la vegetación existente en el cerro y demarco las áreas de los cultivos aledañas al cerro.

- En cuanto a la determinación de áreas donde no se encuentra vegetación o suelos descubiertos, el mejor índice según la comparación realizada en este estudio fue el RVI, donde los valores mayores de píxeles, representaron estas áreas de manera clara, siendo el índice inverso del NVDI, dependiendo de lo que se desee mostrar en futuros trabajos se debe escoger este índice para resaltar áreas sin vegetación o el NVDI para las áreas con vegetación, teniendo en cuenta los altos valores de píxeles en la imagen.
- El Índice de Vegetación de Cociente Normalizado (NRVI) muestra una eficiencia demarcando las áreas de construcciones con claridad, para el tema de vegetación resulta algo confuso pues realiza una homogenización de las zonas con vegetación no delimitando claramente los estados de la misma, este índice es muy adecuado para demarcar construcciones e infraestructura así como también vías, pues resalta muy bien los valores de píxeles bajos.
- En el caso de la corrección en el Índice de Vegetación Transformado de Thiam (TTVI), al retirar la primera parte de la fórmula del Índice de Vegetación Transformado Corregido (CTVI), logra delimitar muy bien los bordes de los cultivos y las áreas que están en preparación para agricultura, este índice logra mejorar la imagen producida por el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NVDI), y es apropiado usarlo cuando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NVDI) genera una imagen poco clara o si se quiere detallar un poco mejor para su posterior interpretación y análisis.
- En general se puede indicar que los índices más apropiados para el estudio de la vegetación en la zona del Cerro de la Conejera en Bogotá son el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NVDI), y su refinamiento se consigue de una manera muy útil con el Índice de Vegetación Transformado de Thiam (TTVI).
- De manera general en cuanto a la zona de estudio se puede decir que la vegetación del Cerro de la Conejera de Bogotá se encuentra en un estado maduro de desarrollo, donde la presencia de clorofila es media, y los alrededores del cerro se encuentran rodeados de zonas de cultivos donde según la fecha de la imagen (Febrero de 2015), algunos se encontraban en preparación para un nuevo ciclo.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

- Ambiente, S. D. (20 de Noviembre de 2014). *Resoluciones*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2016, de <http://190.27.245.106/BLA/resoluciones/RESOLUCIONES%202014/3653.pdf>
- B. Martínez, F. C.-d.-H. (2006). Estimación de parámetros biofísicos de vegetación. *Revista de Teledetección*, 17.
- Bogota, S. d. (s.f.). *Ubicacion Cerro la Conejera*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2016, de <http://ambientebogota.gov.co/cerro-la-conejera>
- Campbell, J. B. (2013). *Introduction to Remote Sensing* (Fifth Edition ed.). New York: Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- Eastman, R. (2003). Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. En R. Eastman, *Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes* (pág. 312). IDRISI Kilimanjaro.
- HUMBOLDT, I. D. (2008). *INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2016, de <http://www.humboldt.org.co/es/test/item/331-conectividad-ecologica-en-la-zona-urbano-rural-de-la-localidad-de-suba-oportunidades-para-la-conservacion-de-la-biodiversidad-local>
- Perry, C. J. (1984). *naldc.nal.usda.gov*. Recuperado el 20 de Octubre de 2016, de <https://naldc.nal.usda.gov/download/21891/PDF>
- Richardson, A. J. (1997). *Distinguishing Vegetation From Soil Background Information, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* (Second Edition ed.). Tucson, Arizona: Academic Press. Obtenido de [https://books.google.com.co/books?id=nsgTC-zAI4QC&pg=PA184&lpg=PA184&dq=Richardson+y+Wiegand+\(1977\)+tvi&source=bl&ots=n1B5JXgcp8&sig=Fu32I-jp7lp8J1o6GOO-iMmFRpM&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiFpp2Ous\\_QAhWlbiYKHTimA0oQ6AEIGzAA#v=onepage&q=Richardson%20y%20Wiegand%](https://books.google.com.co/books?id=nsgTC-zAI4QC&pg=PA184&lpg=PA184&dq=Richardson+y+Wiegand+(1977)+tvi&source=bl&ots=n1B5JXgcp8&sig=Fu32I-jp7lp8J1o6GOO-iMmFRpM&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiFpp2Ous_QAhWlbiYKHTimA0oQ6AEIGzAA#v=onepage&q=Richardson%20y%20Wiegand%20)
- Rouse, J. W. (1974). *Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation*.