

SOIL PLUGIN - PLUGIN PARA QGIS PARA CALCULAR ÍNDICES ESPECTRALES
DE SUELOS

Autores:

José Leonardo Hurtado Abril

José Manuel Aguilar Ruiz

**Trabajo de grado en modalidad de monografía presentado como requisito parcial
para optar por el título de especialista en Sistemas de Información Geográfica**

Director:

Msc. Salomón Ramírez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Bogotá D.C., Colombia

Mayo 2017

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. ALCANCE	6
5. OBJETIVOS	7
6. ESTADO DEL ARTE	8
7. METODOLOGÍA	13
8. RESULTADOS	15
9. CONCLUSIONES	20
10. REFERENCIAS	21

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Diagrama metodológico.</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2: Diagrama de casos de uso.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3: Diagrama de clases.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6: Diagrama de secuencia.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4: Diagrama de componentes.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 5: Diagrama de despliegue.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 7: Soil Plugin, ejemplo de ejecución. a) Interface b) SAVI index.</i>	<i>19</i>

1. Introducción

En la actualidad diversas profesiones hacen uso de la información satelital como insumo para sus investigaciones empleando interpretación directa o procesos temáticos que faciliten esta tarea como el caso de los índices espectrales. Más del 50% de estos índices se encuentran enfocados al análisis multi-campo de la vegetación lo que dificulta el análisis de datos en campos que no tengan como insumo o interés la vegetación.

El desarrollo de herramientas complementarias bajo el entorno del software libre se ha impulsado en la última década como consecuencia de los avances científicos en áreas como el estudio de la tierra, sin embargo, son muy pocas las profesiones que ven la parte matemática y algorítmica detrás de la generación de un índice espectral. Además, en la parte temática hay mucho más que vegetación en el planeta para ser parte del estudio, por lo que es de suma utilidad la generación de una herramienta enfocada al desarrollo de índices espectrales enfocados al estudio y detección de diversos fenómenos aplicados a los suelos.

El objetivo del desarrollo de la presente herramienta es la generación de índices espectrales enfocados al estudio de los suelos de una manera sencilla e intuitiva para cualquier tipo de usuario.

Se desarrolla bajo una metodología secuencial basada en un único caso de uso, partiendo del ingreso de una imagen de interés, la selección del índice espectral de interés, este a su vez en la interface muestra un aviso de las bandas requeridas y finalmente una ruta de salida para calcular el índice.

El proceso en la generación del índice es bastante rápido y fácil de ejecutar, convirtiéndose en una herramienta eficiente y de gran utilidad en diversos tipos de estudios.

2. Planteamiento del Problema

Del software especializado en el manejo de información geográfica existen algunos enfocados a la manipulación de información tipo ráster empleada específicamente en la teledetección. Un área de estudio de la teledetección es la superficie terrestre y sus fenómenos a través de la generación de índices espectrales, lo cual busca el apoyo visual y matemático desde los estudios más básicos hasta los más complejos en el uso de imágenes de satélite. Según el index database for remote sensing, se estima que a la fecha existen cerca de 750 índices aplicables a imágenes Landsat y 250 a imágenes Sentinel, entre las imágenes satelitales de descarga libre y de mayor uso en los estudios ambientales. Sin embargo, de estos 750 índices más del 60% se encuentran enfocados al estudio de la vegetación y sus diferentes variaciones (clorofila, salud, incendios, fenología, etc.) lo que sesga drásticamente el acceso a estos análisis en algunas profesiones de las ciencias terrestres (INRES, 2017).

Con el desarrollo de la carrera satelital los sensores que capturan las imágenes han ampliado las regiones del espectro electromagnético en que registran las señales teniendo en cuenta el propósito o el objetivo específico de la detección. La incursión en algunas de las regiones del infrarrojo de onda corta permite nuevos análisis enfocados al estudio de fenómenos asociados a los suelos y las implicaciones que ejercen sobre la superficie del planeta incrementando las aplicaciones y por ende el número de índices desarrollados. Los índices espectrales permiten generar bases temáticas en rampas de pseudo color que varían los valores resultantes lo que permite a un usuario cualquiera decidir el tipo de análisis a emplear, de esta manera aplicando la teoría espectral a cualquier campo que involucre la superficie del planeta como objeto de estudio.

Programas especializados en el manejo de información ráster como por ejemplo ERDAS, cuenta con un módulo especializado en el tratamiento de imágenes Landsat, donde se encuentran aproximadamente 20 índices automatizados, 17 de ellos enfocados al estudio de vegetación.

De acuerdo al index database en el momento las imágenes Landsat cuentan con 37 índices aplicados al estudio de suelos y 28 adicionales con usos complementarios a los suelos. Al generar nuevas bandas espectrales en la región del infrarrojo medio el desarrollo espectral de estudios aplicados a los suelos se está incrementando, pero el software especializado no cuenta con este volumen de índices automatizados dentro de su estructura por lo que dan la opción de generar modelos o códigos de programación.

Los profesionales de diferentes escenas en su mayoría tienen la conceptualización del índice y los criterios para usarlo, pero no cuentan con la formación para generarlo y en muchos otros casos ni les compete aprender a modelarlos por lo que requieren una herramienta que permita la automatización de este proceso, pasando de una fórmula compleja a una interfaz sencilla, dinámica y funcional.

Por ello y con base a las estadísticas de los índices aplicados al estudio de suelos la generación de una nueva herramienta que permita la automatización de índices espectrales para imágenes Landsat y Sentinel, impulsaría la incursión en nuevos campos de la investigación permitiendo que el usuario quien quiera que sea solo ingrese a la herramienta, seleccione el índice que desea generar y cargue las bandas espectrales necesarias y obtenga su resultado de forma fácil y ágil.

3. Justificación

A medida que los diversos campos del conocimiento han puesto a su disposición diversos tipos de técnicas para impulsar el desarrollo de sus tecnologías han generado implícitamente una interdisciplinariedad que tiene como propósito común el estudio la superficie de la tierra en cuanto a procesamiento, interpretación y análisis, lo que ha generado investigaciones muy interesantes y mucho más enriquecedoras. Los profesionales de las ciencias de la tierra vienen desarrollando múltiples estudios y muchos de ellos se enfocan al recurso suelo como objeto de interés, por lo cual contar con una amplia lista de estos índices sería de gran utilidad.

El conjunto de software especializado en el tratamiento de la información satelital de tipo ráster en la mayoría de los casos es de origen privado, lo cual implica altos costos en licenciamiento para el adelanto de las investigaciones y las limitaciones en el derecho de propiedad intelectual sobre los resultados obtenidos al igual que la opción de ser publicado, por lo que jóvenes investigadores o pertenecientes a países subdesarrollados optan por realizar dichos estudios con otras opciones. La existencia de una herramienta implementada en software libre permite a los investigadores suplir esta necesidad y por consiguiente profundizar y proponer nuevas alternativas en el análisis de las actuales tecnologías.

El desarrollo de herramientas aplicadas bajo el paradigma del software libre se ha potenciado a lo largo de los últimos años, permitiendo a múltiples usuarios acceder y mejorar primeras versiones haciendo de estas herramientas mucho más funcionales y robustas que en comparación a algunas de software privado que realiza las mismas tareas. La capacidad que tienen los usuarios de conectarse implícitamente con los desarrolladores de las herramientas es transcendental en el

crecimiento de la comunidad académica ya que se genera un proceso de retroalimentación en el desarrollo de herramientas sencillas, ágiles y muy funcionales.

Generar e implementar una herramienta de acceso libre orientada al análisis de los suelos desarrollado de manera muy sencilla aplicada a imágenes de satélite permite al usuario implementar diversos tipos de análisis específicos que según su disciplina o profesión considere pertinente, sin detenerse en la formulación matemática y la programación de código que le permita generar dichos resultados, de esta manera el usuario solo se concentra en lo que en realidad le importa que es el tratamiento individual de los resultados.

4. Alcance

La herramienta Soil Plugin está enfocada al tratamiento de imágenes Landsat correspondientes a los programas 4, 5, 7 y 8 y a sus respectivos sensores Thematic Mapper – (TM), Enhanced Thematic Mapper Plus – (ETM+) y Operational Land Imager – (OLI). La herramienta cuenta con 12 índices espectrales funcionales para cualquiera de las imágenes de satélite de los sensores y programas ya mencionados sin importar lugar geográfico ni fecha.

La herramienta procesa la extensión total de la imagen Landsat de entrada partiendo del supuesto que la composición de bandas esta ordenada de acuerdo a las fichas técnicas de cada sensor respectivamente.

La herramienta está programada para generar índices espectrales del grupo temático de suelos y sus diferentes análisis como incendios, variación vegetal, pendiente de suelos y composición mineral. Son 12 índices que fueron seleccionados como los más representativos, más empleados por la comunidad académica y con los mejores resultados en cada uno de los campos temáticos ya mencionados.

5. Objetivos

- Desarrollar una herramienta que permita la generación y manipulación de índices espectrales con temáticas relacionadas al análisis de los suelos.

a. Objetivos Específicos

- ✓ Identificar requerimientos funcionales y no funcionales necesarios para la adecuada generación de la herramienta.
- ✓ Diseñar la arquitectura del software pertinente que cumpla correctamente con la implementación de los requerimientos funcionales y no funcionales para la herramienta.
- ✓ Implementar una herramienta que cumpla con los requerimientos funcionales y no funcionales designados y que continúe la arquitectura propuesta de manera que sea eficiente y fácil de usar.

6. Estado del arte

a. Antecedentes

La generación de índices temáticos se ha implementado de una manera conceptual en el diferente software comercial especializado en el manejo de información satelital. Teniendo en cuenta que el acceso al procesamiento de imágenes de satélite no es algo común de encontrar en herramientas de acceso libre es importante identificar lo que ya existe, sus fortalezas y de igual manera sus respectivas falencias que ayuden a soportar la propuesta.

Si bien es conocido que el acceso de manera libre se da luego de incorporar un plugin al repositorio web de GIS también existen otras herramientas como un visor especializado en manejo de imágenes Landsat y Sentinel.

Existe un visor muy básico llamado Land Viewer (Eosda, 2017), que no cubre la totalidad de la región del país ni tampoco cuenta con un inventario numeroso de imágenes de satélite pero que tiene una particularidad, no solo permite observar la imagen en diferentes composiciones de color, sino que permite observar directamente en el visor alguno de los tres índices que tiene programado: *Normalized Difference Vegetation Index* - (NDVI), *Normalized Difference Snow index* - (NDSI) y *Normalized Difference Water Index* - (NDWI). Teniendo en cuenta que es un visor que no requiere ningún tipo de instalación es de gran utilidad, sin embargo la escasez de imágenes y que no cubre la totalidad del territorio le restan valor a la herramienta.

En cuanto a software comercial algunos programas como ERDAS, ENVI, ArcGIS, por nombrar solo algunos cuentan con herramientas (toolbox, modulos, etc) que tienen programada la función de algunos índices espectrales de los cuales la mayoría son los más comunes en estudios de vegetación.

Sin embargo, existen programas como el caso de QGIS que dentro de su repositorio cuenta con cientos de plugins en versión de pruebas y funcionales que tienen como objetivo diversas temáticas que involucran información geográfica de diferentes fuentes. La mayoría de estos plugin son enfocados al desarrollo vector, una pequeña parte al uso ráster y dentro de este conjunto solo se documenta uno que tenga la capacidad de generar índices espectrales.

Este plugin denominado Semi-Automatic Classification Plugin (Luca, 2012) realizado por Congedo Luca en el año 2013 incorpora una increíble cantidad de herramientas ráster enfocadas al proceso de clasificación de imágenes.

El desarrollo de este plugin es bastante intuitivo, funcional y robusto que permite al usuario desde seleccionar una zona de interés, realizar la descarga y apilamiento de la imagen de interés, generar las correcciones necesarias para el procesamiento adecuado y dentro de estos pasos la generación de unos índices de vegetación muy básicos como el *Enhanced Vegetation Index* - (EVI) y el NDVI tal y como se puede consultar en la documentación respectiva (Luca, Congedo, 2012).

b. Marco teórico

Los índices espectrales son herramientas muy utilizadas en la generación de cartografía temática, tanto para el análisis unitemporal como para el multitemporal. Cuando se examina la firma espectral de la superficie, la pendiente observada entre las diferentes bandas espectrales constituye una variable sensible al estado de la misma. Los índices tienen en cuenta el contraste espectral entre estas dos o más bandas para mejorar la señal de la superficie o fenómeno de estudio mientras se minimizan los efectos atmosféricos, de irradiancia solar y del suelo de tal

manera que permiten abstraer elementos de la superficie terrestre sin estar en contacto con ella (Chuvienco, 2002).

Son muchos los índices que a la fecha existen, cada uno de ellos con propósitos y formulaciones matemáticas muy diferentes que los hace idóneos para múltiples tipos de estudios, sin embargo, en el desarrollo de una herramienta aplicada a estudios de suelos y sus diversos campos de aplicación se encuentran algunos que resaltan por sobre los demás. Uno de los índices más conocidos académicamente es el *Soil Adjusted Vegetation Index* – (SAVI) desarrollado en 1988. El cociente de adaptación conocida como constante L o factor de ajuste de suelo fue hallado por experimentación de resultados iguales del índice de vegetación para suelos ligeros. Las líneas de isovegetación aplicadas a la región del infrarrojo cercano (NIR) se correlacionan con las generadas por el espectro de la región del rojo lo que genera el cociente RED/NIR: el factor de corrección o ajuste (L) se asume como 0 para vegetación muy alta (NDVI), 1 para cubiertas de vegetación bajas y 0.5 para experimentos intermedios (Huete, A. R, 1988).

A partir de este índice el desarrollo en esta área se incrementó generando índices que ajustaron y modificaron al SAVI. De esta manera años después fue desarrollado el índice *Transformed Soil Adjusted Vegetation Index* – (TSAVI) el cual se basa en el cociente entre las bandas RED y NIR. El índice resultante se encuentra en un rango que comprende desde -1 hasta 1 (Sebem, 2005).

Un desarrollo novedoso en la generación de índices se da al momento de aplicar los resultados por separado de dos índices en uno solo con el fin de modificar la base teórica y matemática del índice existente, de esta manera nace el índice *Modified Soil Adjusted Vegetation Index* – (MSAVI), un índice basado en la relación de isolíneas generadas del estudio de vegetación del NDVI y el *Weighted Difference Vegetation Index* – (WDVI) bajo el supuesto que la constante L del SAVI es afectada en términos del brillo reflejado por los suelos captados por el NDVI y

valores bajos emitidos por el WDVI. El índice minimiza el efecto del brillo en el suelo haciendo uso de ambos índices (Qi, 1994).

A partir de la generación de nuevos índices y modificaciones de índices existentes se realizaron estudios en los cuales índices existentes eran ajustados con el fin de optimizar la información y enfocar los resultados a detectar cosas de la superficie en específico. El índice *Adjusted Transformed Soil Adjusted VI* – (ATSAVI) es un índice desarrollado para considerar los valores reales de ganancia (a) e intercepción (b) de la línea del suelo y un factor de ajuste X, que se establece para minimizar los efectos de fondo (He, 2006).

Con el desarrollo tecnológico de la teledetección y las características con las que han sido lanzados al espacio nuevos programas satelitales se han calibrado para detectar a nuevas longitudes de onda, mucho más específicas y con funciones mucho más concretas. Existen algunas bandas espectrales con énfasis en vegetación aplicada a estudio de suelos, sin embargo existen otras bandas y condiciones que permiten estudios atmosféricos, el índice *Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index* – (SARVI) cuyas variantes SAVI y ARVI del NDVI se pueden combinar para obtener el índice de vegetación ajustado al suelo y resistente a la atmósfera - SARVI, que minimizaría tanto el suelo como el ruido atmosférico y resultaría en un NDVI más estable (Huete, 1994).

No obstante, el desarrollo de índices de suelos está limitado a la funcionalidad de las bandas. Se han generado nuevos índices que buscan identificar ciertas conductas del suelo ya sea por principios naturales o por resultado de un fenómeno ambiental. Un claro ejemplo de ello es un índice óptimo para estudios de química de suelos como el *Normalized Difference Salinity Index* – (NDSI) tiene el potencial de detectar la composición química del suelo, tal como nitrógeno u

óxidos de hierro. Detecta con exactitud la salinidad general en el suelo de la agricultura desnuda. Esto puede aplicarse cuando la tierra está en barbecho (Al-Khaier, 2003).

Por último, el estudio de áreas afectadas por quemas o la abstracción de la composición de los suelos han sido tarea de múltiples profesiones. El índice *Normalized Burn Ratio* – (NBR) es uno de los índices más utilizado tanto para cartografiar el área afectada por quemas asociadas a incendios forestales, como para identificar los distintos niveles de daño que ha sufrido la vegetación a causa del incendio (Key, 2005). De igual manera el mapeo e interpretación de la composición del suelo es objeto de estudio de los índices que componen el *Mineral composite Index*, índice que estudia la composición de los suelos en busca de identificación e zonas con interacción de diversos materiales. A su vez este índice se descompone en *Ferrous minerals*, *Iron oxide* y *Clay minerals* cuyos resultados son independientes pero complementarios (Dogan, 2009).

7. Metodología

En el desarrollo de una herramienta automatizada en el cálculo de índices espectrales es pertinente que sea generada en un entorno muy sencillo adaptable a la experticia del usuario más básico, por esta razón es conveniente aplicar una metodología XP ya que debido al nivel de baja complejidad de la herramienta y el corto tiempo para su desarrollo se requieren fases ágiles, pero con entregas de productos funcionales. Al planificar un desarrollo enfocado a las necesidades del usuario es pertinente contemplarlo como pieza fundamental dentro de las etapas del desarrollo de la herramienta, generar pequeños productos que se asignen a una prueba de calidad y que posteriormente entren a ser pieza de un proceso incremental.

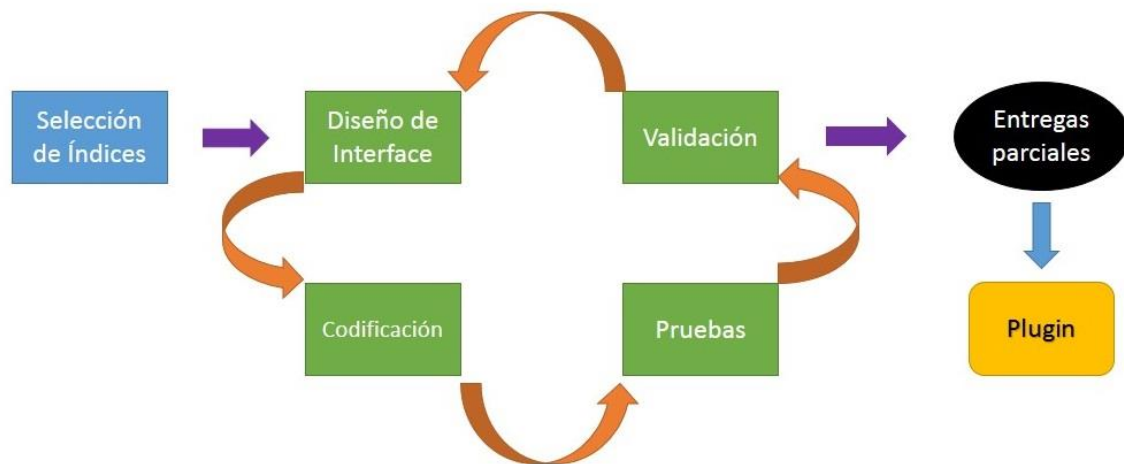


Figura 1: Diagrama metodológico.
Fuente: Elaboración propia.

La metodología se divide en tres fases principalmente como se observa en la Figura 1: Diagrama metodológico.

Fuente: Elaboración propia. La primera fase corresponde a la selección de los índices propósito del desarrollo de la herramienta. Segundo se genera una serie de subfases ligadas al desarrollo de la funcionalidad visual y de código en la herramienta y continua a la última fase cuando supere las pruebas de validación. Por último, la fase tres es la presentación del producto final.

La **primera fase** consiste en la identificación de requerimientos enfocados a la selección de los índices más representativos y útiles en múltiples campos y que serán soportados por la herramienta.

La **segunda fase** es un ciclo que tiene por propósito generar en tiempos cortos pequeños avances o productos intermedios. Se inicia con el diseño de la interfaz que es realmente con lo que el usuario va a interactuar, de manera que sea sencilla de manejar y entender. Acto seguido se efectúa la codificación respectiva de manera que cada parte de la interfaz sea funcional. Una vez este pasó sea funcional se realizan las pruebas de validación, si las aprueba continua a la fase tres, de lo contrario retorna el ciclo.

La **tercera fase** consiste en la unión de los productos intermedios funcionales para la creación del producto final que cumpla los requerimientos del usuario.

8. Resultados

El Soil Plugin muestra un desarrollo muy sencillo pero muy útil. Hace uso de una interface y una lógica que es la encargada de la funcionalidad del mismo. Parte desde el momento que el usuario carga a QGIS la o las imágenes de satélite de interés, las cuales se pueden visualizar desde la interface del programa que soporta el plugin. Acto seguido se despliega la interface del Soil Plugin la cual consta de tres pasos muy fáciles. Primero se selecciona la imagen de interés. Acto seguido el plugin le solicita al usuario seleccionar el índice espectral deseado. De acuerdo al índice seleccionado el plugin muestra un aviso de que bandas son necesarias seleccionar. Por último, se guarda en un directorio de salida y el índice es calculado.

A continuación, se muestran los diagramas pertinentes a la lógica y desarrollo de los requerimientos base para el diseño y codificación del plugin.

Diagrama de casos de uso

El diagrama de casos de uso para la herramienta de cálculo de índices espectrales asociados a suelos es bastante simple, consta de un único caso de uso con una secuencia previamente explicada en la cual entra una imagen satelital a la cual se aplica un índice específico y da como resultado un índice espectral. Como se observa en la figura 2 solo existe un actor que es el usuario y este hace uso del plugin de manera continua hasta la generación del resultado final.

Este caso de uso es una secuencia de procesos que comprende las tres fases teniendo en cuenta la figura 1.

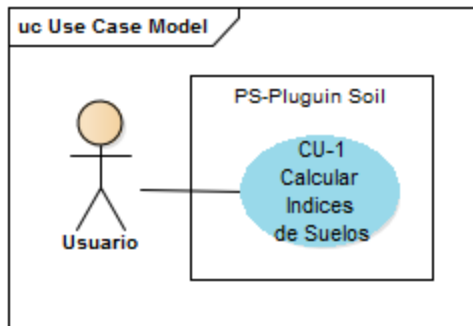


Figura 2: Diagrama de casos de uso.
Fuente: Elaboración Propia.

Diagrama de clases

El diagrama de clases muestra los objetos que interactúan en el desarrollo del producto generado por la herramienta que sería un índice espectral en específico. Como se observa en la figura 3 se requiere la lógica de la herramienta como soporte del proceso sobre la cual se realiza todo el proceso de cálculo y selección del o los índices deseados. De igual manera una segunda clase, la cual está encargada de la parte visual y la interacción con el usuario (Interface del plugin).

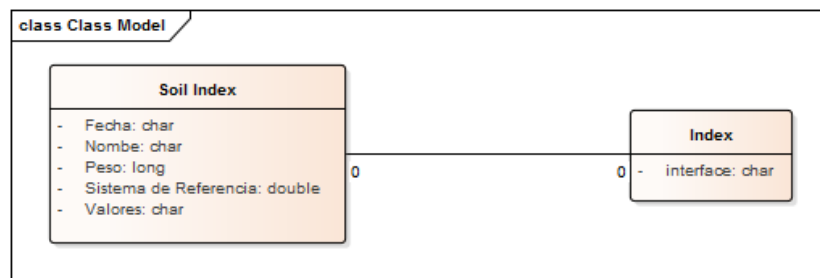


Figura 3: Diagrama de clases.
Fuente: Elaboración Propia

Diagrama de secuencia.

El diagrama de secuencia es el encargado de mostrar el orden lógico para generar el producto deseado. Teniendo en cuenta la existencia de un único caso de uso (Figura 2), solo existe un

único diagrama de secuencia. En él se observa la interacción del usuario con la herramienta partiendo desde el ingreso del insumo y como la herramienta calcula el índice solicitado.

Cada una de las secuencias representa de manera detallada las fases del proceso, partiendo del ingreso de la imagen a procesar, la selección del índice espectral y el resultado final.

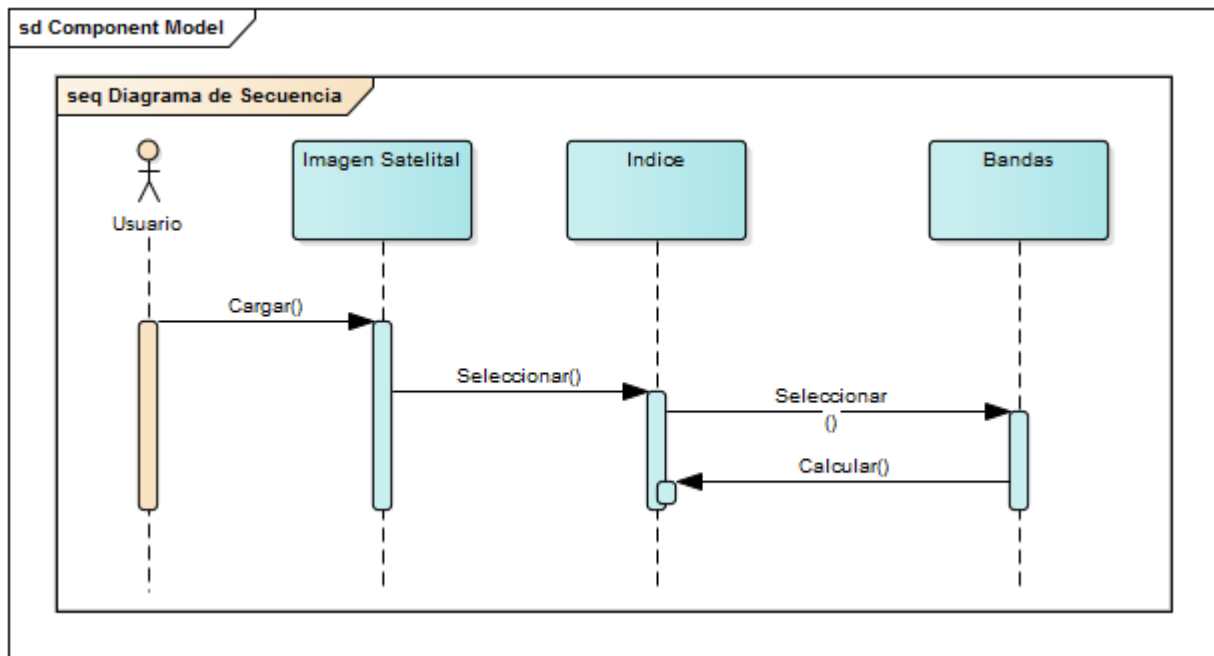


Figura 4: Diagrama de secuencia.
Fuente: Elaboración Propia

Diagrama de componentes

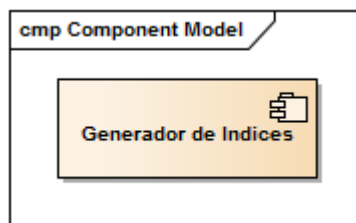


Figura 5: Diagrama de componentes.
Fuente: Elaboración Propia

Para el caso de esta herramienta y como se observa en la figura 4 el único componente requerido para su desarrollo es como tal el generador del índice, en el cual los procesos de carga, procesamiento y visualización de resultados se realizan dentro del mismo componente, es decir, el plugin.

Diagrama de despliegue

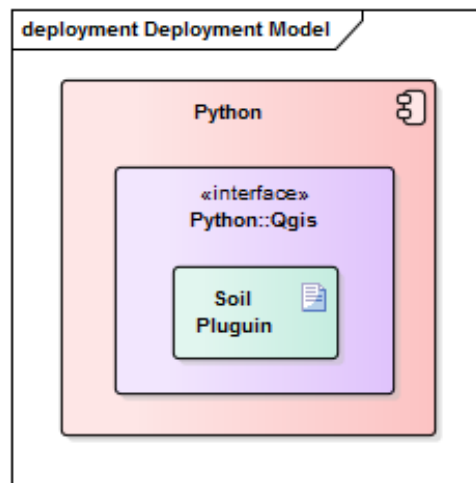


Figura 6: Diagrama de despliegue.
Fuente: Elaboración Propia

El diagrama de despliegue (figura 5) muestra cómo se ejecuta la aplicación, partiendo de un entorno de desarrollo lógico como es el caso de python. El segundo nivel de implementación es la interface o recurso de soporte visual sobre la cual se podrán cargar insumos y resultados, para este propósito se hace uso de QGIS. Por último, el artefacto que es la herramienta que se va a emplear y que podrá ser cargada desde la interfaz a través de sus complementos.

En la figura 7 se observa la interface del Soil Plugin al igual que una demostración de su ejecución. Para este caso se hace el cálculo del índice SAVI a partir de una imagen multiespectral Landsat OLI.

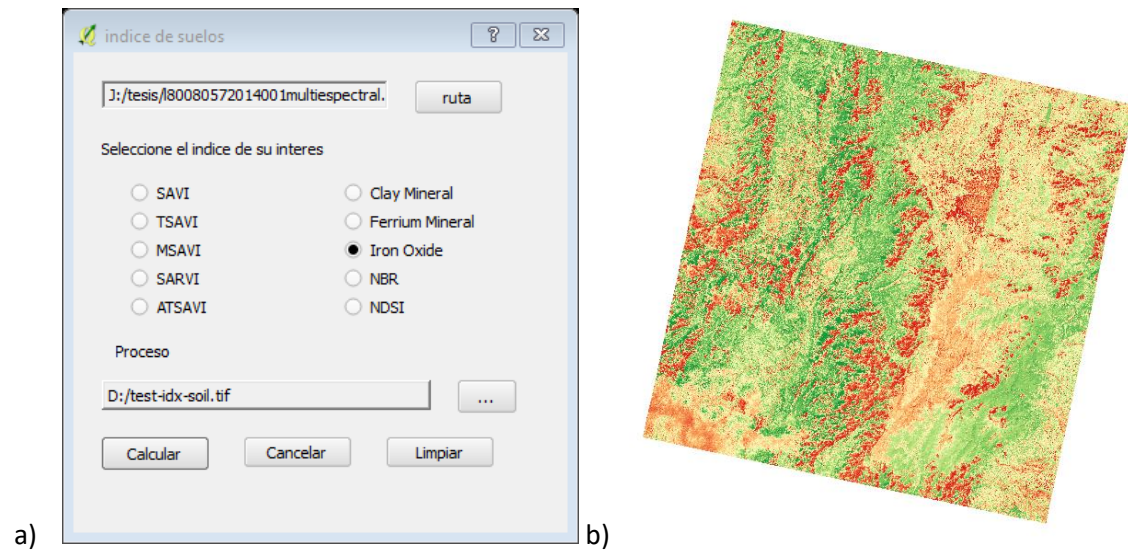


Figura 7: Soil Plugin, ejemplo de ejecución. a) Interface b) Iron Oxide index.
Fuente: Elaboración Propia

9. Conclusiones

El Soil Plugin es una herramienta que cumple una función particular, la generación de índices espectrales asociados al estudio de suelos cuyos resultados son muy empleados para diferentes tipos de trabajos académicos y que a su vez no son comunes de encontrar en software privado ni libre.

Como se muestra en los diferentes diagramas presentados en la sección de resultados es una herramienta muy sencilla, con pocas clases lo que hace que sus diagramas sean de fácil entendimiento y minimice tiempos de implementación, sin embargo, aunque sea sencilla en su arquitectura suple una necesidad de una manera muy funcional minimizando tiempos y niveles de programación para su obtención.

El diseño de la interface permite a cualquier tipo de usuario acceder a la herramienta de manera muy fácil, hacer uso de ella y obtener resultados de buena calidad en corto tiempo. La herramienta fue diseñada de manera tal que sea muy intuitiva en su uso, por lo cual se espera que sea una herramienta usada para múltiples estudios y que en un futuro permita la articulación de todo tipo de índices espectrales al igual que el ingreso de cualquier tipo de imagen satelital como insumo.

10. Referencias

- Al-Khaier, F. (2003). Soil salinity detection using satellite remote sensing. *Geo-information Science and Earth Observation, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation*, 70.
- Chuvieco, E. (2002). *Fundamentos de Teledeteccion*. Ediciones Rialp S.A. Segunda Edicion. España.
- Dogan, H. M. (2009). Mineral composite assessment of Kelkit River Basin in Turkey by means of remote sensing. *Journal of Earth System Science*, 118(6), 701-710.
- Eosda. (2017). Land Viewer. Recuperado de <https://lv.eosda.com/>
- He, Y., & Xulin, G. (2006). Leaf Area Index estimation using remotely sensed data in a mixed grassland ecosystem.
- Huete, A., Justice, C., & Liu, H. (1994). Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment*, 49(3), 224-234.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, 25(3), 295-309.
- INRES. (2017). Database for Remote Sensing Indices. (I. o. Conservation, Editor) Recuperado de http://www.indexdatabase.de/db/ia.php?application_id=2
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2005). Landscape assessment: remote sensing of severity, the normalized burn ratio and ground measure of severity, the composite burn index. FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system Ogden, Utah: USDA Forest Service, Rocky Mountain Res. Station.
- Luca, C. (2012). Semi-Automatic Classification Plugin. Recuperado de <https://fromgistors.blogspot.com/p/user-manual.html>

- Luca, Congedo. (2012). Obtenido de semi-automatic classification manual: <https://media.readthedocs.org/pdf/semiautomaticclassificationmanual-v5-es/latest/semiautomaticclassificationmanual-v5-es.pdf>
- Pereira, J. M., Sá, A. C., Sousa, A. M., Silva, J. M., Santos, T. N., & Carreiras, J. M. (1999). Spectral characterisation and discrimination of burnt areas. In *Remote sensing of large wildfires* (pp. 123-138). Springer Berlin Heidelberg.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote sensing of environment*, 48(2), 119-126.
- Sebem, E. (2005). Aportaciones de la teledetección en el desarrollo de un sistema metodológico para la evaluación de los efectos de cambio climático sobre la producción de las explotaciones agrarias (Doctoral dissertation, Agronomos).
- Sripada, R. P., Heiniger, R. W., White, J. G., & Meijer, A. D. (2006). Aerial color infrared photography for determining early in-season nitrogen requirements in corn. *Agronomy Journal*, 98(4), 968-977.
- Zhang, Q., Schaaf, C., & Seto, K. C. (2013). The vegetation adjusted NTL urban index: A new approach to reduce saturation and increase variation in nighttime luminosity. *Remote Sensing of Environment*, 129, 32-41.