

USO DE ÍNDICES ESPECTRALES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN: CASO DE ESTUDIO CAMPUS DE LA FACULTAD TÉCNICA DE MACHALA

USE OF SPECTRAL INDICES IN PRECISION AGRICULTURE: CASE STUDY CAMPUS OF THE TECHNICAL SCHOOL OF MACHALA

HARRY VITE CEVALLOS¹, LUIS VARGAS COLLAGUAZO², JOHANNA VARGAS COLLAGUAZO³

1 Universidad Técnica de Machala, Ecuador. h.vite@utmachala.edu.ec

2 Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Escuela de Graduados Alberto Soriano, Argentina. luis_angelec@hotmail.com

3 Ministerio del Interior del Ecuador. johannavargas81@hotmail.com

RESUMEN

El desarrollo de la agricultura a nivel mundial empieza a girar de rumbo en la manera de realizar sus actividades diarias, con el aporte de internet de las cosas, se logró involucrar otros dispositivos que tributan información, dando vida a la Agricultura de Precisión, de tal manera que la incidencia de la tecnología es muy significativo y le permite al agricultor hacer uso de sensores, GPS, imágenes satelitales, big data y dispositivos que emiten información de la superficie terrestre para evaluar correctamente las condiciones atmosféricas a fin de tomar decisiones asociadas al cultivo de la zona de estudio. Los sensores en las plataformas en órbita, permiten capturar el comportamiento de la superficie terrestre, por ende el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI, permitió obtener como resultado una imagen final cuyos patrones determinaron como en el área de estudio se requiere tomar decisiones que permitan mejorar la superficie terrestre a fin de distribuir adecuadamente los recursos asignados para los cultivos, minimizando gastos, logrando controlar y optimizar los ciclos de producción para desarrollar una agricultura sostenible. En este trabajo se pretende demostrar la importancia de la estimación del índice de vegetación normalizada como eje fundamental en la agricultura de precisión, y como esta información generada permitió identificar los niveles de productividad primaria en las zonas de estudio, para una correcta toma de decisiones por parte de los productores.

PALABRAS CLAVE: Agricultura de Precisión, NDVI, sensores, toma de decisiones, optimización.

ABSTRACT

The development of agriculture in the world begins to turn in the way of carrying out their daily activities, with the contribution of the internet of things, it was possible to involve other devices that tax information, giving life to Precision Agriculture, such so that the incidence of the technology is very significant and allows the farmer to make use of sensors, GPS, satellite images, big data and devices that emit land surface information to correctly evaluate the atmospheric conditions in order to make decisions associated with the crop of the study area. The sensors in the platforms in orbit, allow to capture the behavior of the terrestrial surface, therefore the calculation of the Index of Vegetation of Normalized Difference NDVI, allowed to obtain like result a final image whose patterns determined as in the area of study it is necessary to make decisions that allow to improve the terrestrial surface in order to distribute properly the resources assigned to the crops, minimizing expenses, managing to control and optimize the production cycles to develop a sustainable agriculture. This paper aims to demonstrate the importance of the estimation of normalized vegetation index as a fundamental axis in precision agriculture, and since this information allowed to identify the levels of primary productivity in the study areas, for a correct decision making by part of the producers.

KEYWORDS: Precision Agriculture, NDVI, sensors, decision making, optimization.

DOI: <http://dx.doi.org/10.23878/alternativas.v19i1.195>

RECIBIDO: 17/10/2017

ACEPTADO: 26/2/2018

INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país que basa su economía en la agricultura, siendo una fuente de ingreso que ha permitido en la región costa apuntalar la economía nacional, especialmente en las provincias de Manabí, Guayas, Los Ríos y El Oro. La producción de banano genera trabajo a millones de personas de manera directa e indirecta inyectando nuevas fuentes de trabajo (Martínez, Lapo Calderón, Pérez Rodríguez, Zambrano Cabrera, & Maza Valle, 2015).

El comercio del banano representa dentro del grupo de productos no petroleros el segundo rubro de ingreso a la economía del país (Vásquez, 2010).

Desde 1948, se tiene estimado el inicio de la actividad bananera en el país, convirtiéndose poco a poco en la fuerte de economía que sustenta al desarrollo del Ecuador, desde sus inicios la producción de banano fue desarrollándose de manera empírica, y poco a poco las universidades aportaron con profesionales que implementaban mejoras a este sector.

Con el impacto de internet de las cosas en las diferentes áreas del conocimiento, se empezaron a desarrollar nuevas formas y maneras de comunicarse, logrando innovar los procedimientos tradicionales a fin de mejorar las actividades que se realizan, siendo su aplicabilidad en diferentes sectores productivos, empezando a tomar mucha inclinación hacia la agricultura.

La agricultura se ha convertido en un arte que acompaña al hombre desde sus inicios, evolucionando en el transcurso de los años. Actualmente el 30% del PIB en el mundo se sustenta en actividades basadas en la agricultura (FAO, 2013).

Los datos estadísticos permiten establecer que en 30 años la producción agrícola en el mundo debe triplicarse, con la finalidad de abastecer a la población que se proyecta para esos años, sin embargo, se considera importante el desarrollarlo de nuevas técnicas o innovaciones tecnológicas que permitan mejorar la producción y optimizar recursos, buscando la sostenibilidad productiva.

El internet de las cosas en la actualidad busca integrar una variedad de dispositivos que permitan controlarlos de manera remota con la finalidad de optimizar recursos (Figuerola, 2014).

El uso de tecnología en la agricultura permite en los actuales momentos comunicar a los diferentes involucrados en el área productiva a fin de lograr monitorear los diferentes comportamientos del entorno para ingresar esos datos a una big data y tomar decisiones en base a patrones establecidos previamente.

Uno de los cambios, producto del uso de la tecnología es la agricultura de precisión, la misma que busca con el uso de la tecnología desarrollar innovaciones que permitan mejorar la producción y calidad del producto además de la optimización de los recursos a los productores.

Las ventajas que ofrece la agricultura de precisión permite maximizar rendimientos en los sitios productivos generando sustentabilidad del medio ambiente (Marote, 2010).

La agricultura de precisión aporta a soluciones de tecnificación de los procesos agrícolas mediante la articulación de tecnologías de información y comunicación generando procesos eficientes confiables y seguros siendo su objetivo integrar sistemas de posicionamiento global, sistemas de información geográfica y sensores para el estudio del entorno asociado a la producción agrícola (Orozco & Llano Ramírez, 2016).

La incorporación de tecnología a los procesos productivos en la que se utilice la referencia geográfica articulada a sistemas de información gerencial permite definir a la agricultura de precisión como una técnica que aporta al rendimiento agrícola (Lago González et al., 2011).

Los elementos que mide la agricultura de precisión permiten a través de sensores remotos cumplir las actividades de recolección de información primaria, para luego ser procesada y presentada en interfaces software para la toma de decisiones.

La percepción remota y teledetección permiten establecer los argumentos teórico y técnico de los objetos en la tierra, observados mediante el uso de tecnologías de sensores aéreos (Camacho-Velasco, Vargas-García, Rojas-Morales, Castillo-Castellblanco, & Arguello-Fuentes, 2015).

La aplicación de nuevas tecnologías requiere el análisis de variables asociadas a la ubicación geográfica, clima, humedad, tipo de suelo entre otras, permitiendo identificar patrones asociados al comportamiento de cada cultivo (Orozco & Llano Ramírez, 2016)

Esta nueva tendencia de la mano de la tecnología permite unificar diferentes medios e integrarlos a través del internet con la finalidad de brindar una toma de decisiones apegado a la situación real en la producción, por ende, toma un reto fundamental la tecnología en la toma de decisiones de la agricultura de precisión, siendo estratégico su estudio y potenciación a fin de lograr ser el medio que ayude a optimizar y mejorar la producción agrícola.

El presente trabajo plantea como objetivo demostrar la importancia de la estimación del

índice de vegetación normalizada como eje fundamental en la agricultura de precisión en la toma de decisiones en los cultivos de banano mediante el uso de sensores remotos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para establecer el aporte de la tecnología a la Agricultura de precisión se hace uso de los siguientes elementos:

ACCESO A PLATAFORMA SATELITAL

El acceso a una plataforma satelital permite obtener imágenes que facilitan el estudio de los patrones de comportamiento del suelo, brindando facilidad al momento de obtener la data, por ende, en el presente trabajo se utilizó la imagen satelital provista por la plataforma SENTINEL-2.

La medición de energía radiante proveniente de elementos naturales obtenidos a través de sensores remotos facilita el estudio de alteraciones presentadas en la cobertura vegetal (Sá, Antonio, & Almorox, 1999).

La valoración de la cantidad de energía a través de temperatura obtenida por los sensores remotos permite establecer el coeficiente único del cultivo (Reyes González, Martínez Rodríguez, Palomo Rodríguez, Salgado, & Rivera González, 2013).

El satélite logra a través de sus sensores medir o establecer la energía calórica reflejada o emitida por el objetivo, luego esa energía registrada es analizada y convertida en señales eléctricas que posteriormente son enviadas a estaciones terrestres en formatos como imágenes para ser analizadas mediante las diferentes plataformas.

La obtención de datos a través de la plataforma satelital SENTINEL- 2 combina 13 bandas para obtener información hiperespectral del área de estudio (Werff & Meer, 2015).

SENTINEL- 2 permite identificar con una resolución de 10 a 20 metros el comportamiento de la vegetación medido espectralmente (Radoux et al., 2016).

Sus datos se procesan y se convierten en archivos que pueden ser analizados por el ser humano a través de aplicaciones informáticas existentes, teniendo la base de información suficiente a través de un compendio de datos, para luego tomar decisiones.

Para establecer los retos de la tecnología como aporte a la Agricultura de Precisión es importante mencionar que la tecnología aporta mediante el uso de internet de las cosas, lo siguientes dispositivos:

GPS

Los dispositivos GPS son sistemas de posicionamiento global que permiten ubicar las coordenadas de un punto a través de la triangulación satelital, con la finalidad de obtener sus coordenadas en longitud y latitud.

TECNOLOGÍA DE TASA VARIABLE (VRT)

Los VRT permiten realizar la toma de decisiones tomando como referencia mapas del área de estudio para la aplicación de fertilizantes, pesticidas, herbicidas, agua y suplementos necesarios para el cultivo de manera autónoma y dependiente del lugar, por ende, su utilización es muy importante para el desarrollo de Agricultura de Precisión.

SENSORES REMOTOS

El sensor remoto en la Agricultura de Precisión toma importancia, por convertirse en la primera entrada al sistema de información, estos sensores logran medir el comportamiento del entorno donde se desarrolla la AP.

AERONAVES PILOTADAS REMOTAMENTE (DRON)

Los drones permiten la obtención de imágenes con la finalidad de controlar las variables agroclimáticas que se observan desde el aire, luego estas tomas pueden ser ingresadas a sistemas informáticos para en base a los patrones de colores, lograr establecer el comportamiento del cultivo.

SISTEMAS DE TOMA DE DECISIONES

Los sistemas de información reciben información de sistemas de posicionamiento, de sensores remotos, de elementos que utilizan VRT y de drones, esto permite en base a las alertas establecidas tomar decisiones para el riego, cultivo, aplicación de pesticidas o desplegar personal para el cultivo.

OGIS

Es una herramienta que permite analizar el comportamiento de la DATA obtenido para escoger el área de estudio, y proceder con el cálculo del NVDI.

MÉTODO

CALCULO DE NDVI CON LA AYUDA DE LA TECNOLOGÍA

El índice de vegetación normalizada NDVI permite medir la relación existente entre la energía absorbida y emitida por los objetos en la tierra (Meneses-Tovar, 2011). La obtención del NDVI permite identificar la vegetación fraccionada a diferentes escalas dentro de un modelo espectral (Jiang et al., 2006).

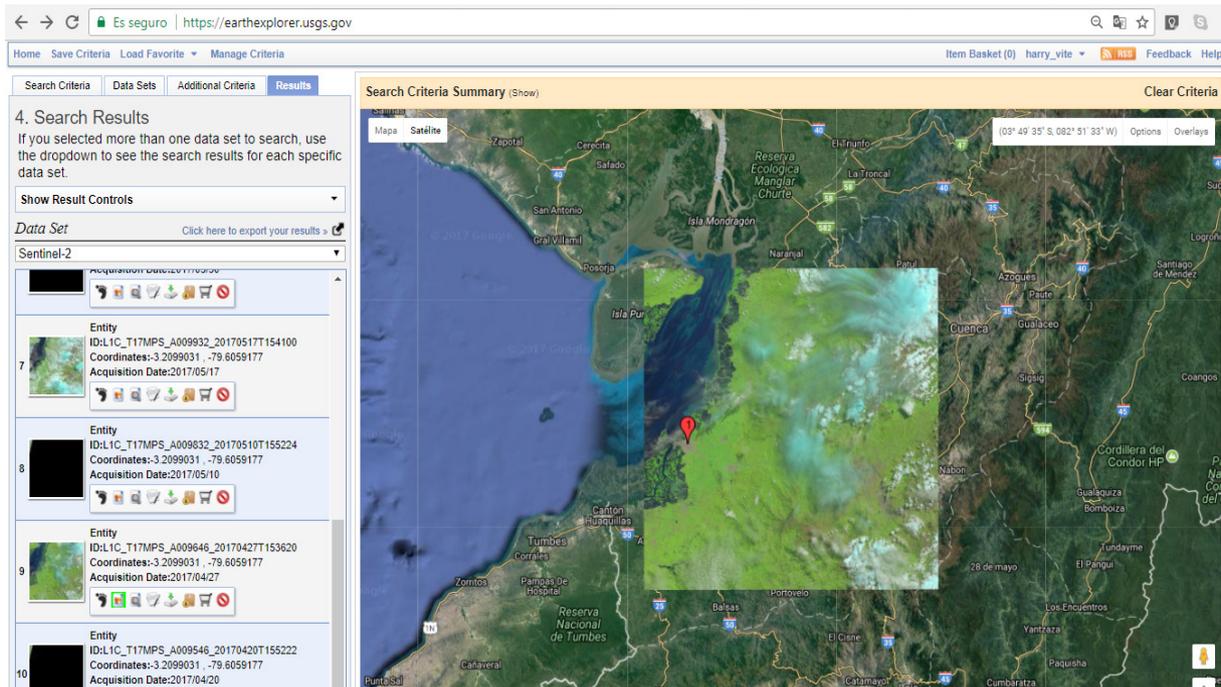


Figura 1. Imagen con mejor enfoque de estudio
Fuente: Los autores

Para obtener información satelital, se deben tener en cuenta algunas consideraciones para la obtención del conjunto de datos que describen de mejor forma el comportamiento de la superficie terrestre a estudiar, de tal manera que se logre identificar imágenes reales con la finalidad de lograr identificar nuestra área de trabajo.

La obtención de información para el cálculo del NDVI, es fundamental para realizar esta actividad, cabe destacar que la metodología para el análisis de imágenes satelitales consta de dos pilares fundamentales, el procesamiento de la data provista por los sensores remotos y la respectiva confirmación de esta mediante tomas de muestras del terreno, para esto podemos hacer uso de diferentes medios que encontramos en la web, en la cual se realizan las siguientes actividades:

2. **SELECCIONAR EL SATÉLITE.** Existen diferentes tipos de satélites para el procesamiento de imágenes, razón por la cual se deben identificar sus características a fin de realizar la mejor toma, de tal manera que su data permita procesar la información adecuada para el estudio del suelo.

Para el uso de este tipo de estudios debemos escoger el SENTINEL-2 el mismo que por sus características facilita la toma de datos del área de estudio.

La plataforma satelital Sentinel-2 fue lanzado el 23 de junio de 2015 cuyo ob-

jetivo es obtener imágenes que ayudan a observar los cambios terrestres de la Tierra posee un escáner multi-espectral que permite monitorear los cambios en la tierra y en la vegetación (GeoCento, 2015).

En la Figura 1 se establece el área de estudio, dentro de la plataforma satelital, para lo cual, de las imágenes obtenidas se debe identificar la que mejores condiciones presente, tomando en cuenta la nubosidad y la fecha reciente de la toma realizada por el satélite. La fecha de toma realizada por el satélite es del 27 de abril del 2017.

Es importante poner énfasis en las correcciones atmosféricas y radiométricas, ya que las imágenes satelitales deben ser procesadas con el fin de que puedan ser usadas como datos fiables para el estudio de un área de la superficie terrestre.

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATÉLITALES

Las imágenes satelitales permiten a través de los pixel reconocer de manera visual un área de estudio considerando variables geográficas de su ubicación (Roman-gonzalez, Vargas-cuentas, Roman-gonzalez, & An, 2013).

Para realizar el procesamiento de las imágenes satelitales obtenidas, hacemos uso de varias aplicaciones, para esto se utilizará la aplicación gratuita QGIS la misma que luego de

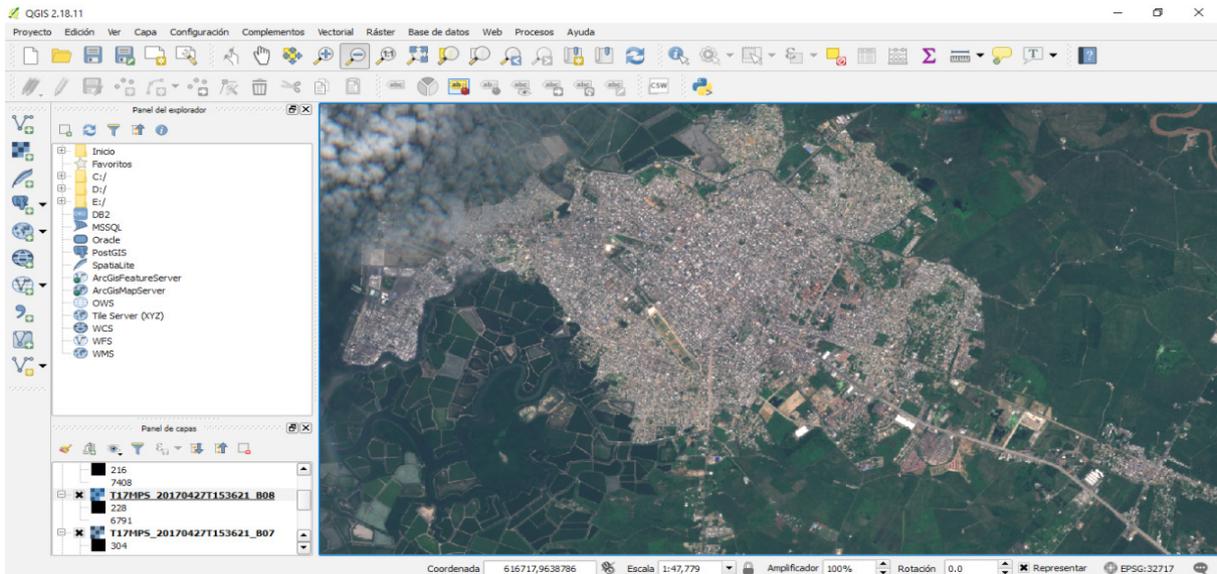


Figura 2. Procesamiento de imagen satelital
Fuente: Los autores

instalarse en su computador permitirá procesar la información.

QGIS es un sistema de información geográfica de acceso libre, que permite el análisis de las imágenes obtenidas por diferentes medios, siendo una herramienta de código abierto, permite su uso y aplicación para la actividad a realizar.

El sistema de información geográfica mediante el uso de cualquiera de sus aplicaciones permite obtener un nivel de detalle amplio de las tomas realizadas de tal manera que con un equipo multidisciplinario se puede analizar de mejor manera la captura realizada. Es por esta razón que la información debe estar provista en

capas, para poder trabajar con cada una de ellas, dependiendo de la información que se requiere para estudiar la superficie deseada.

En la Figura 2 se aprecia claramente como la imagen satelital se pudo procesar a un mejor nivel de detalle, permitiendo georeferenciar la imagen a fin de poder tener las coordenadas de trabajo para realizar estudios técnicos que la Agricultura de Precisión requiere.

Luego se procede a identificar el área de estudio, para esto se debe cargar los complementos necesarios con la finalidad de ayudar al desarrollo del estudio, para eso en la Figura 3 se aprecia el polígono de estudio para este ejemplo.

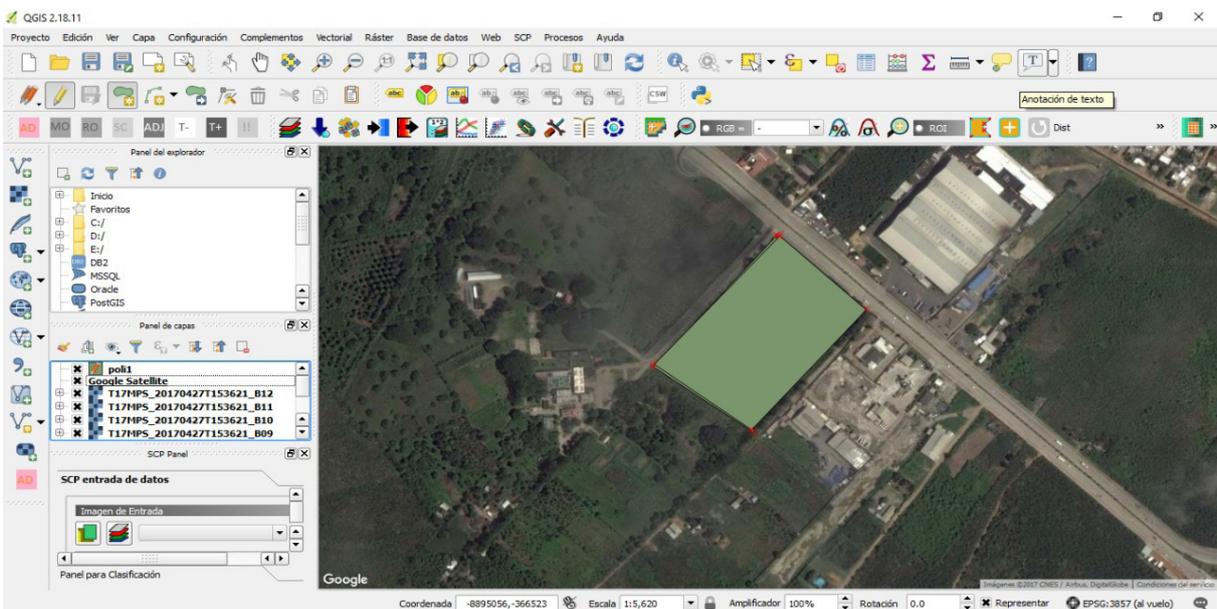


Figura 3: Polígono de estudio
Fuente: Los autores

Al momento de identificar el polígono de estudio, se debe considerar su georreferenciación, a tal punto que permita establecer claramente el área de estudio, logrando mantenerla.

Luego de tener identificado el polígono que en este caso es el ingreso de la Unidad Académica de Ciencias Agrícolas de la Universidad Técnica de Machala, se procede a realizar los cálculos para la obtención del NVDI cuya fórmula se detalla a continuación:

$$NDVI = \frac{(IRC - R)}{(IRC + R)}$$

El índice de vegetación normalizada se estimó sobre la base de una imagen SENTINEL 2 del área de estudio. Una vez obtenido el NDVI para toda la imagen SENTINEL, se definieron dos zonas para desarrollar el modelo pareado de análisis comparativo, el área del bosque de la facultad técnica en la vía principal, y la granja experimental. Para obtener una visión macro del comportamiento espectral de las superficies a estudiar, se crean dos archivos vectoriales (polígonos) y se ejecuta la función generación de estadísticas de zona. Con esta opción se extraen los valores de los píxeles que contienen las dos zonas de estudio, se realiza un promedio de todos los píxeles, se establece el valor máximo, valor mínimo y desviación estándar.

En la Tabla 1 se establecen los valores obtenidos de toda el área de estudio.

TABLA 1. CÁLCULO DE NDVI EN ZONAS DE ESTUDIO

NDVI PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	NDVI MÍNIMO	NDVI MÁXIMO
0.598	0.065	0.2152	0.799

Fuente: Los autores

En la Tabla 2 se establecen los valores obtenidos del bosque que se encuentra dentro del área de estudio.

TABLA 2. CÁLCULO DE NDVI DEL BOSQUE

NDVI PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	NDVI MÍNIMO	NDVI MÁXIMO
0.718	0.667	0.346	0.799

Fuente: Los autores

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una vez realizado el cálculo del NDVI con el apoyo de QGIS, se procesan las imágenes multi bandas obtenidas, a fin de obtener la imagen resultado, la misma que se convertirá en el mapa resultado para la toma de decisiones técnicas.

En la Figura 4 se aprecia el resultado del comportamiento de la superficie de estudio, de tal manera, se convierte en objeto de estudio para

los agrónomos, logrando tomar las decisiones que permitan optimizar recursos, maximizar ganancias y obtener ventaja competitiva.

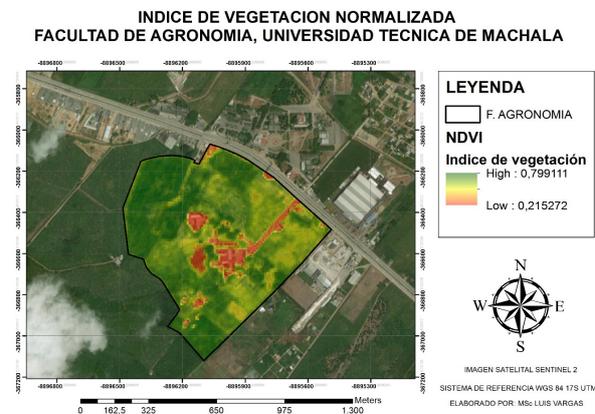


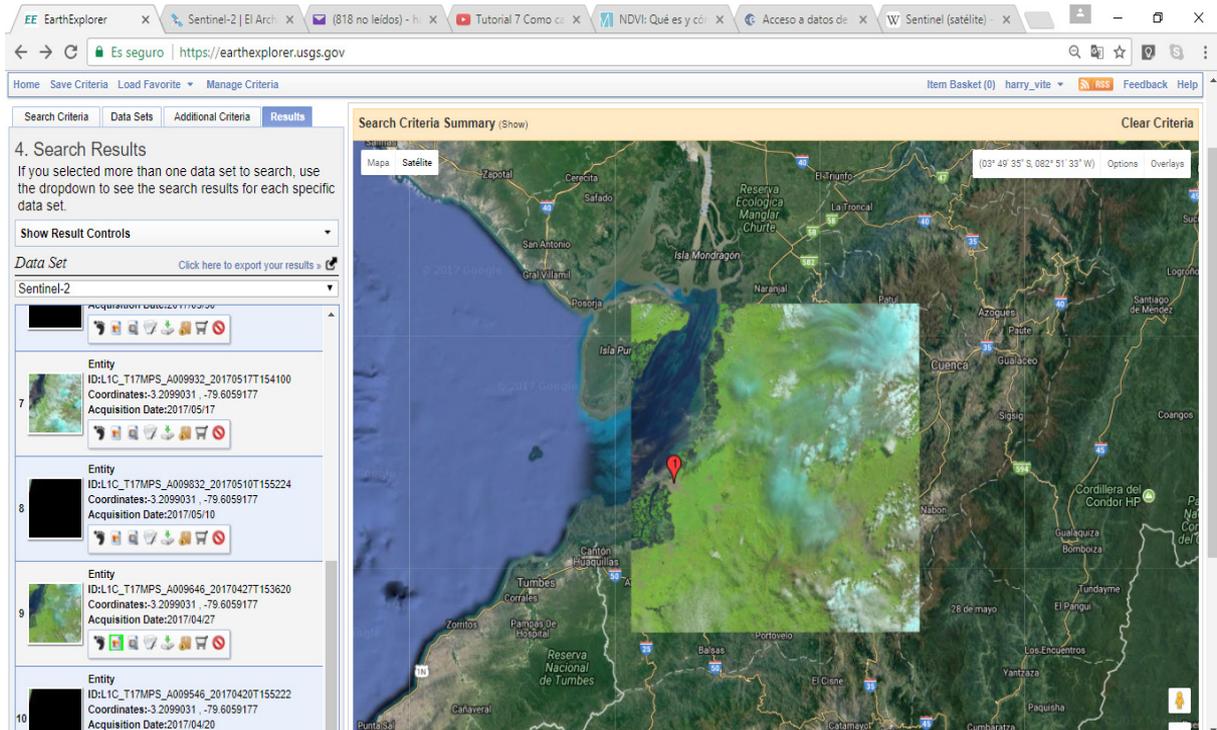
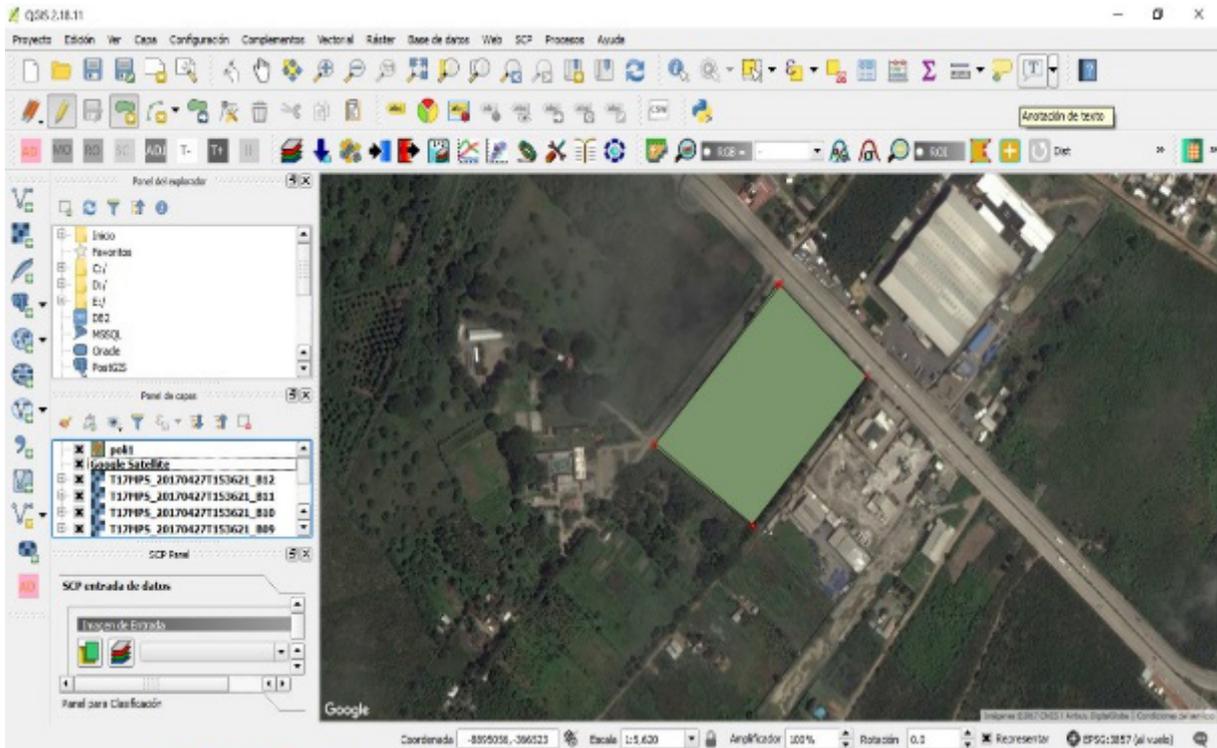
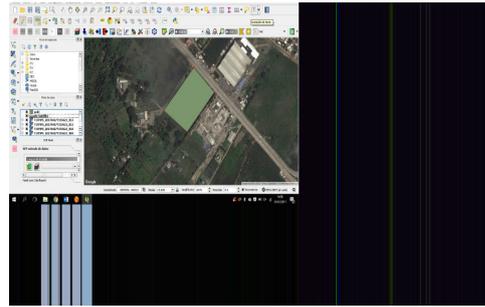
Figura 4. Imagen de análisis final
Fuente: Los autores

Luego de la obtención del cálculo del NVDI se procede a establecer la metodología de trabajo en el lugar, que permita tomar las mejores decisiones desde el punto de vista agrícola, para lo cual se analizan los colores que proyectan el comportamiento de la vegetación, la misma que debe ser estudiada por los profesionales correspondientes, y que para este caso se indica como el NDVI tiene un máximo de 0.741 y un mínimo de 0.210, en una escala donde el uno (1) equivale al valor más alto; en las áreas donde se aprecia el verde oscuro poseen una productividad alta asociada a la vegetación mientras que en las partes donde el color es diferente al verde su NDVI es bajo por ende la productividad de su vegetación es baja; estos resultados permiten inferir que en las zonas de NDVI menor a 0.44 se deben tomar medidas relacionadas a variables asociadas al mejoramiento del cultivo (tipo de suelo, calidad de pesticidas, ph del suelo, entre otras), a fin de preparar adecuadamente la zona para obtener una mayor productividad en los cultivos.

En el análisis pareado se identifica claramente como el promedio de NDVI del bosque 0.718 es superior al NDVI promedio de la zona de estudio 0.598, estableciendo claramente como existe mayor productividad en las zonas que se encuentran cercana al bosque que se encuentra en la zona de estudio.

Finalmente, a manera de resumen, en la Figura 5, se pueden apreciar los cuatro momentos que se desarrollaron para obtener el cálculo del NVDI, que permite ser el punto de partida para proceder a tomar decisiones que tributen a la producción agrícola, para esto los productores

deben considerar este tipo de herramientas, que les permite establecer e identificar el comportamiento de la superficie de estudio, sin embargo, son fundamentales las decisiones que se tomen de acuerdo a la experticia de los profesionales para mejorar las debilidades encontradas en el estudio.



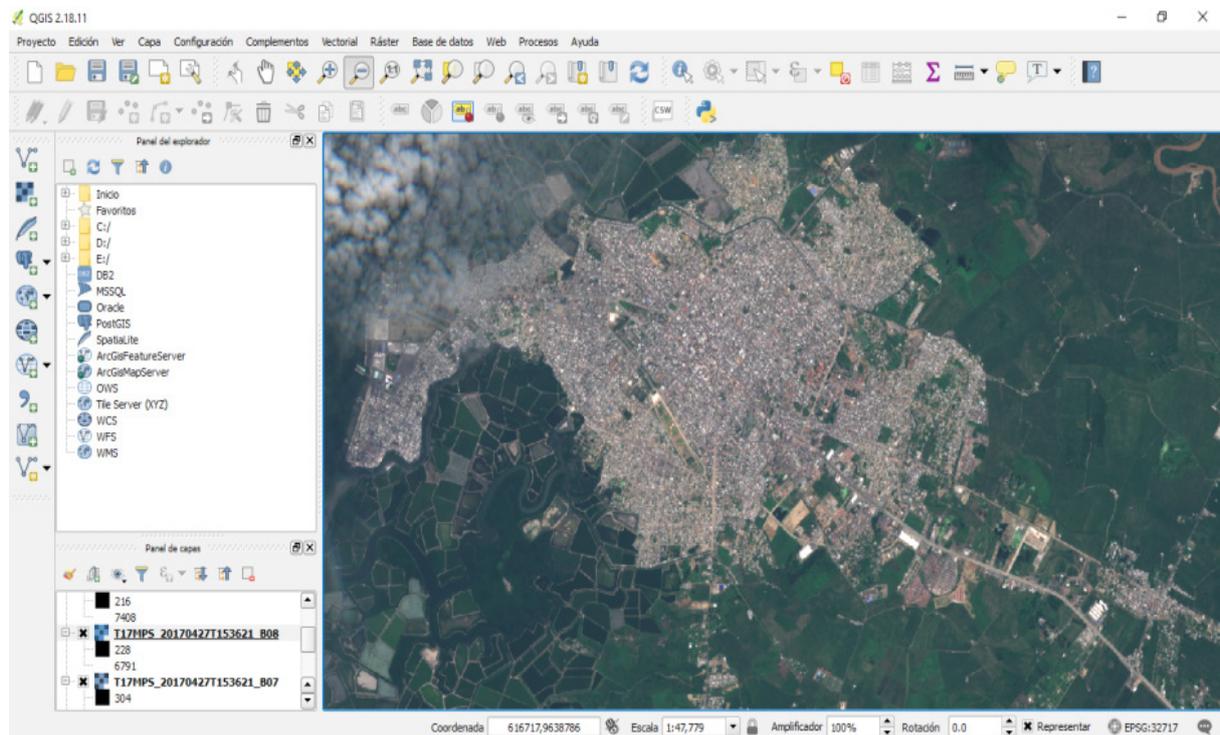


Figura 5. Actividades realizadas para el cálculo del NVDI

Fuente: Los autores

La imagen anterior resume los momentos realizados para la obtención del NVDI, empezando con la obtención del archivo satelital, para luego ser tratada en QGIS, donde se identifica el área de estudio para luego calcular el NVDI y con esa imagen final proceder a la toma de decisiones desde el punto de vista agrario, por ende el reto de la tecnología en la agricultura de precisión es muy significativo, por cuanto su precisión permite entender el comportamiento de la superficie terrestre del lugar donde se va a producir, convirtiéndose en un puntal que ayuda al agricultor a mejorar la sostenibilidad de producción de la mano de la tecnología.

CONCLUSIONES

El procesamiento de imágenes satelitales provistas por sensores remotos puestos en órbita por agencias espaciales de todo el mundo permite estudiar la respuesta espectral de la superficie terrestre de forma regional, esta respuesta está relacionada con el tipo de cobertura de dicha superficie y su interacción con factores como el clima o el ciclo del agua.

Conocer el comportamiento asociado a la vegetación de una superficie que se encuentra cultivada, mediante la obtención de imágenes satelitales, permitirá el desarrollo de la agricultura de precisión y una planificación adecuada para la toma de decisiones en las zonas de

cultivo, por cuanto presentará información cuantificable que establece el comportamiento de la vegetación en una zona de estudio.

La incidencia de la tecnología en el desarrollo de la Agricultura de Precisión es directamente proporcional, por cuanto su contribución permite al profesional del área productiva tomar las decisiones necesarias para optimizar los recursos.

El uso de la tecnología permitió obtener imágenes de sensores remotos para establecer las zonas que requieren mayor o menor atención por parte de los productores a través del mapa de vegetación, en la cual los valores de NDVI menor a 0.44 requieren atención oportuna, a fin de tomar decisiones que permitan mejorar el valor obtenido, para obtener una mayor productividad, incidiendo directamente en la toma de decisiones de los productores, por ende es fundamental el aporte de la tecnología como apoyo al desarrollo de la Agricultura de Precisión.

El uso de la tecnología en la Agricultura de Precisión se convierte en la piedra angular, sobre el cual se sustenta su procedimiento, por ende, se debe establecer con exactitud el uso de los diferentes medios, para realizar el cálculo de diferentes indicadores para una correcta toma de decisiones, dejando en evidencia la incidencia directa de la tecnología en el desarrollo de la agricultura de precisión para la generación de una producción sostenible en beneficio de todos los involucrados.

Establecer los NDVI promedio de la zona de estudio y de las áreas cercanas al bosque permite medir como incide en la productividad de la vegetación, de tal manera que se deben concretar estrategias que permitan mantener los bosques como fuente natural para el desarrollo sustentable de la agricultura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camacho-Velasco, A., Vargas-García, C. A., Rojas-Morales, F. A., Castillo-Castelblanco, S. F., & Arguello-Fuentes, H. (2015). Aplicaciones y retos del sensado remoto hiperespectral en la geología colombiana. *Revista Facultad de Ingeniería (Fac. Ing.)*, 24(40), 17-29.
- FAO. (2013). *FAO Statistical Yearbook 2013: World food and agriculture*. *FAO Statistical Yearbook 2013: World food and agriculture*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Figuerola, N. (2014). Internet de las cosas. *PMQuality*, 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.03.145>
- Jiang, Z., Huete, A. R., Chen, J., Chen, Y., Li, J., Yan, G., & Zhang, X. (2006). Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 101(3), 366-378. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.01.003>
- Lago González, C., Sepúlveda Peña, J. C., Barroso Abreu, R., Fernández Peña, F. Ó., Maciá Pérez, F., & Lorenzo, J. (2011). Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión. *Ide-sia (Arica)*, 29(1), 59-69. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292011000100009>
- Marote, M. L. (2010). Agricultura de Precisión. *Ciencia y Tecnología*, 10, 143-166.
- Martinez, O., Lapo Calderón, B., Pérez Rodríguez, J., Zambrano Cabrera, C., & Maza Valle, F. (2015). Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Revista Colombiana de Química*, 44(2), 16-21. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n2.55215>
- Meneses-Tovar, C. L. (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación. *Unasylva*, 62(238), 39-46.
- Orozco, Ó. A., & Llano Ramírez, G. (2016). Sistemas de Información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 15(28), 103-124. <https://doi.org/10.22395/rium.v15n28a6>
- Radoux, J., Chomé, G., Jacques, D., Waldner, F., Bellemans, N., Matton, N., ... Defourny, P. (2016). Sentinel-2's Potential for Sub-Pixel Landscape Feature Detection. *Remote Sensing*, 8(6), 488. <https://doi.org/10.3390/rs8060488>
- Reyes González, A., Martínez Rodríguez, J. G., Palomo Rodríguez, M., Salgado, A. A., & Rivera González, M. (2013). USO DE SENSORES REMOTOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVOS EN LA COMARCA LAGUNERA Use of Remote Sensing to Estimate Crop Evapotranspiration in the Region Lagunera. *Agrofaz*, 13(1), 23-31.
- Roman-gonzalez, A., Vargas-cuentas, N. I., Roman-gonzalez, A., & An, N. I. V. (2013). Analisis de imagenes hiperespectrales. *Revista Ingeniería e Desarrollo*, 35, 14-17.
- Sá, I. B., Antonio, R., & Almorox, J. a. (1999). Aplicación de sensores remotos en la detección y evaluación de plagas y enfermedades en la vegetación. *Teledetección. Avances y Aplicaciones.*, 64-67.
- Vásquez, R. (2010). El impacto del comercio del Banano en el desarrollo del Ecuador. *AFESE Temas Internacionales*, 53(53), 167-182. <https://doi.org/http://www.revistaafese.org/ojsAfese/index.php/afese/article/view/451>
- Werff, H., & Meer, F. (2015). Sentinel-2 for Mapping Iron Absorption Feature Parameters. *Remote Sensing*, 7(10), 12635-12653. <https://doi.org/10.3390/rs71012635>