



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v10i4.4158>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Evaluación de las áreas con suelo desnudo en el páramo de la microcuenca del río cebadas mediante la aplicación del índice espectral BSI a través de imágenes satelitales

Evaluation of areas with bare soil in the moorland of the Cebadas River micro-basin by applying the BSI spectral index through satellite images

Avaliação de áreas com solo descoberto no paramo da micro-bacia do rio Cebadas através da aplicação do índice espectral BSI através de imagens de satélite

María Belén Abarca-Coronado ^I

mabelenabarca@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3107-5174>

Maritza Lucia Vaca-Cárdenas ^{II}

maritza.vaca@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-4474-4354>

Diego Francisco Cushquicullma-Colcha ^{III}

diego.cushquiculma@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6265-8164>

Martha Marisol Vasco-Lucio ^{IV}

martha.vasco@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-1377-7305>

Correspondencia: mabelenabarca@gmail.com

***Recibido:** 03 de octubre de 2024 ***Aceptado:** 08 de noviembre de 2024 * **Publicado:** 17 de diciembre de 2024

- I. Universidad Nacional de Chimborazo, Ingeniera Ambiental, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Decanato de Investigaciones, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Decanato de Investigaciones, Ecuador.

Resumen

La expansión agrícola y el crecimiento desordenado de las ciudades han reducido tierras agrícolas y forzado a mover cultivos y ganaderías a áreas menos fértiles. Esto ha resultado en la pérdida de funciones ambientales del suelo, disminución de la biodiversidad y problemas en la gestión ecológica y territorial. En el presente estudio se generó un script en Google Earth Engine (GEE) para la obtención de imágenes satelitales de la microcuenca del río Cebadas y el posterior cálculo del Índice de Suelo Desnudo (BSI) para evaluar los cambios en las coberturas naturales y la presencia de suelo desnudo en el páramo de Cebadas. Por lo tanto, se observó que en los meses de enero, marzo, mayo, septiembre, octubre y noviembre predominaba la vegetación con índices BSI negativos, mientras que en febrero, abril, junio, julio, agosto y diciembre predominaba el suelo desnudo con índices BSI positivos. Por lo que se estima que la variabilidad en la cobertura del suelo puede atribuirse a la estacionalidad y la rotación de cultivos, con una mayor presencia de suelo desnudo durante la estación seca y una recuperación en la época lluviosa. La variabilidad climática, como el fenómeno ENOS, también afecta esta dinámica.

Palabras clave: Índice BSI; suelo; GEE; vegetación.

Abstract

Agricultural expansion and the disorderly growth of cities have reduced agricultural land and forced the transfer of crops and livestock to less fertile areas. This has resulted in the loss of environmental functions of the soil, a decrease in biodiversity and problems in ecological and territorial management. In the present study, a script was generated in Google Earth Engine (GEE) to obtain satellite images of the Cebadas River micro-basin and the subsequent calculation of the Bare Soil Index (BSI) to evaluate the changes in natural cover and the presence of bare soil in the Cebadas moorland. Therefore, it was observed that in the months of January, March, May, September, October and November vegetation with negative BSI indices predominated, while in February, April, June, July, August and December bare soil with positive BSI indices predominated. It is therefore estimated that variability in soil cover can be attributed to seasonality and crop rotation, with a greater presence of bare soil during the dry season and a recovery in the rainy season. Climate variability, such as the ENSO phenomenon, also affects this dynamic.

Keywords: BSI index; soil; GEE; vegetation.

Resumo

A expansão agrícola e o crescimento desordenado das cidades reduziram as terras agrícolas e obrigaram as culturas e o gado a serem transferidos para zonas menos férteis. Isto resultou na perda das funções ambientais do solo, na diminuição da biodiversidade e em problemas de gestão ecológica e territorial. No presente estudo foi gerado um script no Google Earth Engine (GEE) para a obtenção de imagens de satélite da microbacia do rio Cebadas e posterior cálculo do Índice de Solo Desnudo (ICS) para avaliar as alterações na cobertura natural e a presença de áreas nuas. na charneca de Cebadas. Assim sendo, observou-se que nos meses de janeiro, março, maio, setembro, outubro e novembro predominaram a vegetação com índices de ICS negativos, enquanto nos meses de fevereiro, abril, junho, julho, agosto e dezembro predominaram os solos descobertos com índices de ICS. Assim sendo, estima-se que a variabilidade na cobertura do solo pode ser atribuída à sazonalidade e à rotação de culturas, com maior presença de solo descoberto durante a estação seca e recuperação na estação das chuvas. A variabilidade climática, como o fenômeno ENSO, também afecta esta dinâmica.

Palavras-chave: Índice BSI; chão; GEE; vegetação.

Introducción

La cobertura vegetal llamada cuerpo natural o artificial cubre la superficie del suelo, puede originarse en ambientes naturales como resultado de la evolución ecológica (bosques, sabanas, lagunas, etc.), a partir de ambientes artificiales creados y mantenidos por el hombre (cultivos, represas, ciudades, etc.) (Marcillo, J. L. M. et al., 2016). La progresiva degradación de los suelos en las cuencas andinas por causa de distintos factores ya sea antrópicos o naturales, y son un aspecto importante a tener en cuenta, debido a que este proceso genera la pérdida gradual de las características ecosistémicas de los suelos. (Álvarez del Castillo, J., & Agredo Cardona, G. A., 2013).

Ecuador, en las últimas décadas ha experimentado cambios drásticos en su cobertura vegetal natural y del uso de suelo. El avance de la frontera agrícola, un acelerado y desordenado crecimiento de las áreas urbanas y la presión que éstas ejercen sobre el territorio han provocado la pérdida de tierras con potencial agrícola, convirtiendo suelo rural en urbano así como el desplazamiento de las áreas de cultivos y ganaderas a las laderas de las montañas o zonas menos fértiles, perdiendo la función social

Evaluación de las áreas con suelo desnudo en el páramo de la microcuenca del río cebadas mediante la aplicación del índice espectral BSI a través de imágenes satelitales

y ambiental del suelo, teniendo como consecuencia el agotamiento de la biodiversidad, el manejo de los sistemas ecológicos y la apropiada aplicación de políticas en la gestión del territorio (Pinos Arévalo, N. J., 2016). La demanda para satisfacer las necesidades de la región, principalmente para la actividad agrícola y la creciente población, ha provocado la disminución acelerada de las superficies originales de las coberturas naturales (Loredo, E. G. L. et al., 2020).

La clasificación digital de imágenes satelitales se caracteriza por ser una de las herramientas indispensables en la caracterización y evaluación de la cobertura del suelo, permitiendo la identificación y clasificación automatizada de diferentes tipos de cobertura a una escala espacial significativa (Chávez et al., 2023). El BSI es un índice que se utiliza para identificar la diferencia en el comportamiento espectral entre áreas con suelo desnudo y áreas con escasa vegetación (Red de Información para el Desarrollo Productivo, 2021). En este sentido, la aplicación de tecnologías avanzadas, como la captura de datos de satélites Landsat 8, proporciona una oportunidad única para analizar la similitud entre las categorías de cobertura del suelo (Chávez et al., 2023).

El uso de imágenes de satélite para analizar la cobertura del suelo mediante el Índice de Suelo Desnudo (BSI, por sus siglas en inglés) ha suscitado una gran atención en los últimos años debido a su potencial para el seguimiento y la gestión medioambiental a gran escala. El BSI es especialmente valioso para evaluar las propiedades del suelo, ya que permite identificar y cuantificar las zonas de suelo desnudo, que son fundamentales para comprender la salud del suelo y la dinámica del uso de la tierra.

La tecnología de teledetección por satélite ha revolucionado la cartografía de predicción de elementos del suelo al abordar las limitaciones de los métodos tradicionales, que a menudo luchan con una amplia cobertura y eficiencia temporal (Ma, 2024). El Índice de Suelo Desnudo, derivado de imágenes de satélite, es fundamental en este contexto, ya que permite a los investigadores controlar la materia orgánica del suelo (SOM) y otras características del suelo en grandes áreas durante los períodos en que el suelo está desnudo (Ma, 2024). La integración de varias fuentes de datos satelitales, como Landsat y Sentinel, mejora la precisión y fiabilidad de los cálculos de los BSI, lo que permite una comprensión más completa de las condiciones del suelo en diferentes paisajes (Gasmi et al., 2022; Salazar et al., 2023).

Además, se ha demostrado que la aplicación de índices espectrales, incluido el BSI, se correlaciona bien con la humedad del suelo y otras propiedades del suelo. Por ejemplo, los estudios han indicado

Evaluación de las áreas con suelo desnudo en el páramo de la microcuenca del río cebadas mediante la aplicación del índice espectral BSI a través de imágenes satelitales

que índices como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Suelo de Diferencia Normalizada (NDSI) son eficaces para analizar las condiciones del suelo desnudo y los niveles de humedad (Casamitjana et al., 2020; Xu et al., 2019). Esta correlación es especialmente pronunciada en entornos áridos, donde las características de reflectancia del suelo desnudo pueden captarse claramente mediante imágenes de satélite (Casamitjana et al., 2020; Rasul et al., 2018). La capacidad de utilizar datos satelitales de alta resolución, como los de los satélites Sentinel-2, mejora aún más la precisión de los esfuerzos de mapeo y monitoreo del suelo (Salazar et al., 2023).

La metodología para extraer las ICB de las imágenes de satélite suele implicar enfoques estadísticos o basados en la física, que pueden recuperar eficazmente la información biofísica necesaria para los estudios ecológicos y la gestión del suelo (Peddle et al., 2011). La fusión de datos de satélite multisensor también desempeña un papel crucial en la mejora de la resolución espacial y espectral de las evaluaciones del suelo, facilitando así predicciones más precisas de las propiedades del suelo, como el contenido de arcilla y la distribución de la materia orgánica (Gasmi et al., 2022; Ibrahim et al., 2019). Este enfoque multifacético es esencial para abordar las complejidades del análisis de la cobertura del suelo, especialmente en paisajes heterogéneos.

En este contexto el objetivo del presente trabajo fue evaluar los cambios en las coberturas naturales y la presencia de suelo desnudo en el páramo de Cebadas mediante el uso de la teledetección como herramienta para el estudio aplicando técnicas espectrales tales como la del Índice de Suelo Desnudo (BSI) para discriminar los suelos con vegetación.

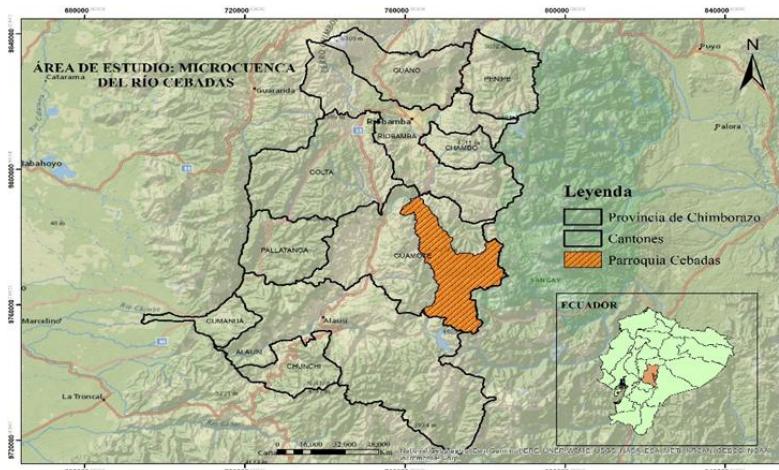
Metodología

Área de estudio

La microcuenca del río Cebadas posee un área alrededor de 410 km² y se encuentra ubicado en la parroquia rural de Cebadas y Achupallas del cantón Guamote y Alausí respectivamente de la provincia de Chimborazo (Figura 1) a una distancia de 31.9 km de la ciudad de Riobamba (Tovar Guarochico, D. E., 2022). Los afluentes de la microcuenca forman los ríos: Cebadas, Atillo, Yasepán, Ozogoche y Tingo.

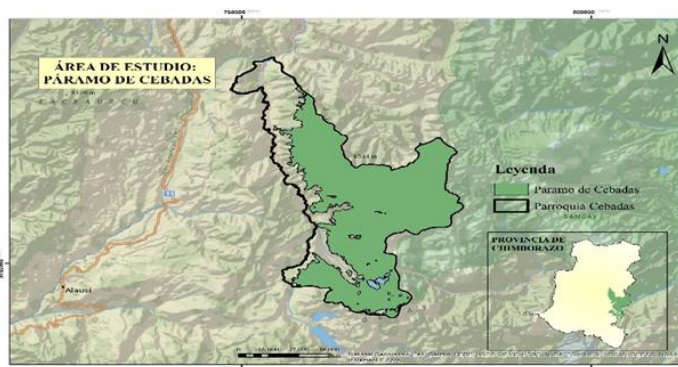
Evaluación de las áreas con suelo desnudo en el páramo de la microcuenca del río cebadas mediante la aplicación del índice espectral BSI a través de imágenes satelitales

Figura 1: Área de estudio. Microcuenca del Río Cebadas



Los ecosistemas que presentan la microcuenca del río Cebadas en su mayoría son herbazales de paramos, así como también ecosistemas arbustales (Figura 2). En su totalidad el suelo para actividades agrícolas principalmente se da para el cultivo de papas, maíz y cebada. Las actividades pecuarias se dedican a la ganadería básicamente a la producción lechera (GAD Cebadas, 2015).

Figura 2: Páramo de la microcuenca del río Cebadas



Métodos

La investigación tuvo como finalidad calcular el índice de suelo desnudo (BSI) del año 2022 realizando un análisis mensual, para ello se realizó el procesamiento de las imágenes satelitales obtenidas de Landsat 8 con el corte de la microcuenca del río Cebadas. Las imágenes de la zona de interés se descargaron de la plataforma Google Earth Engine (GEE), con la generación de un script en el cual se realizó el cálculo del índice BSI.

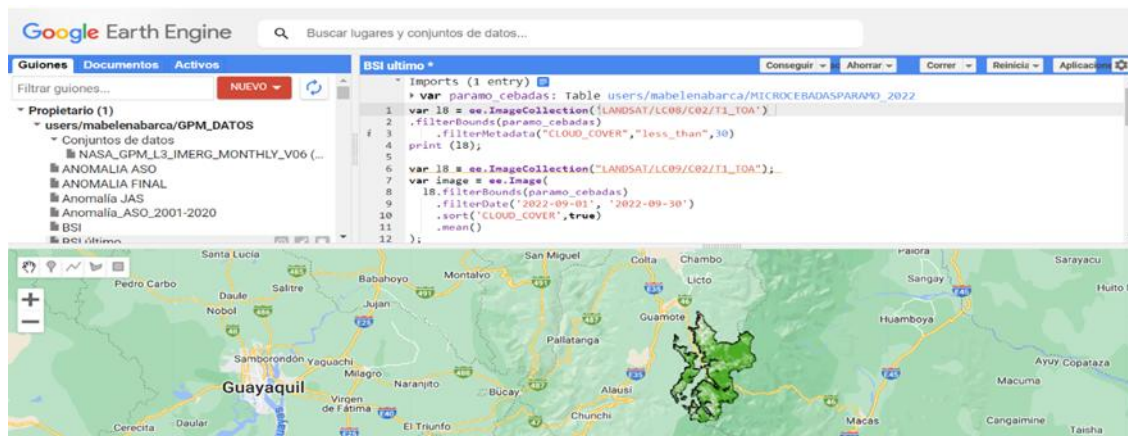
Evaluación de las áreas con suelo desnudo en el páramo de la microcuenca del río cebadas mediante la aplicación del índice espectral BSI a través de imágenes satelitales

Para el cálculo del índice BSI, entre las bandas de Landsat 8, se debe realizar el siguiente proceso:

$$\text{BSI (Landsat 8)} = \frac{(B6 + B4) - (B5 + B2)}{(B6 + B4) + (B5 + B2)}$$

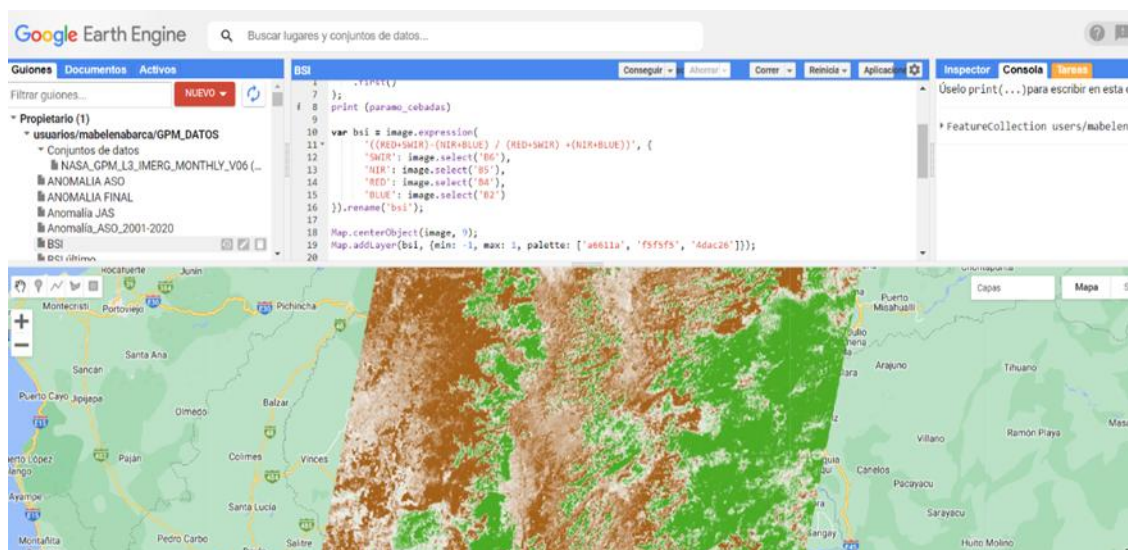
(Gis&Beers, 2018)

Figura 3: Script definición de fecha y lugar área de estudio



Como paso inicial se llamó a la colección de Landsat 8 T1_TOA, y se generó un filtro con el área de estudio “microcuenca del río Cebadas”, se realizó un filtro del año 2022 por meses, y finalmente un filtro de nubosidad de menos del 30% (Figura 3).

Figura 4: Cálculo del índice de suelo desnudo (BSI)



Evaluación de las áreas con suelo desnudo en el páramo de la microcuenca del río cebadas mediante la aplicación del índice espectral BSI a través de imágenes satelitales

Para el cálculo del índice BSI, se aplicó la fórmula plateada anteriormente, sin embargo, se denominó a las bandas de la siguiente manera (Figura 4):

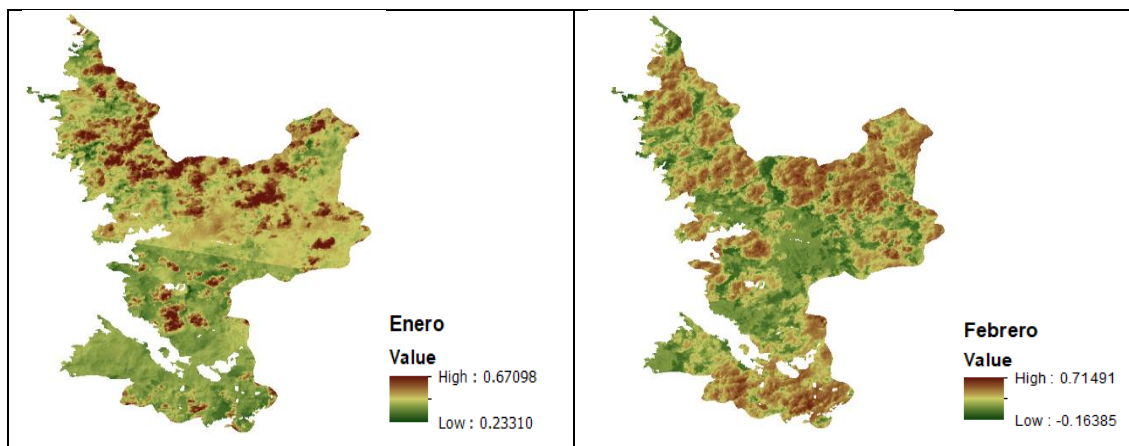
- SWIR: Banda 6
- NIR: Banda 5
- RED: Banda 4
- BLUE: Banda 2

Resultados

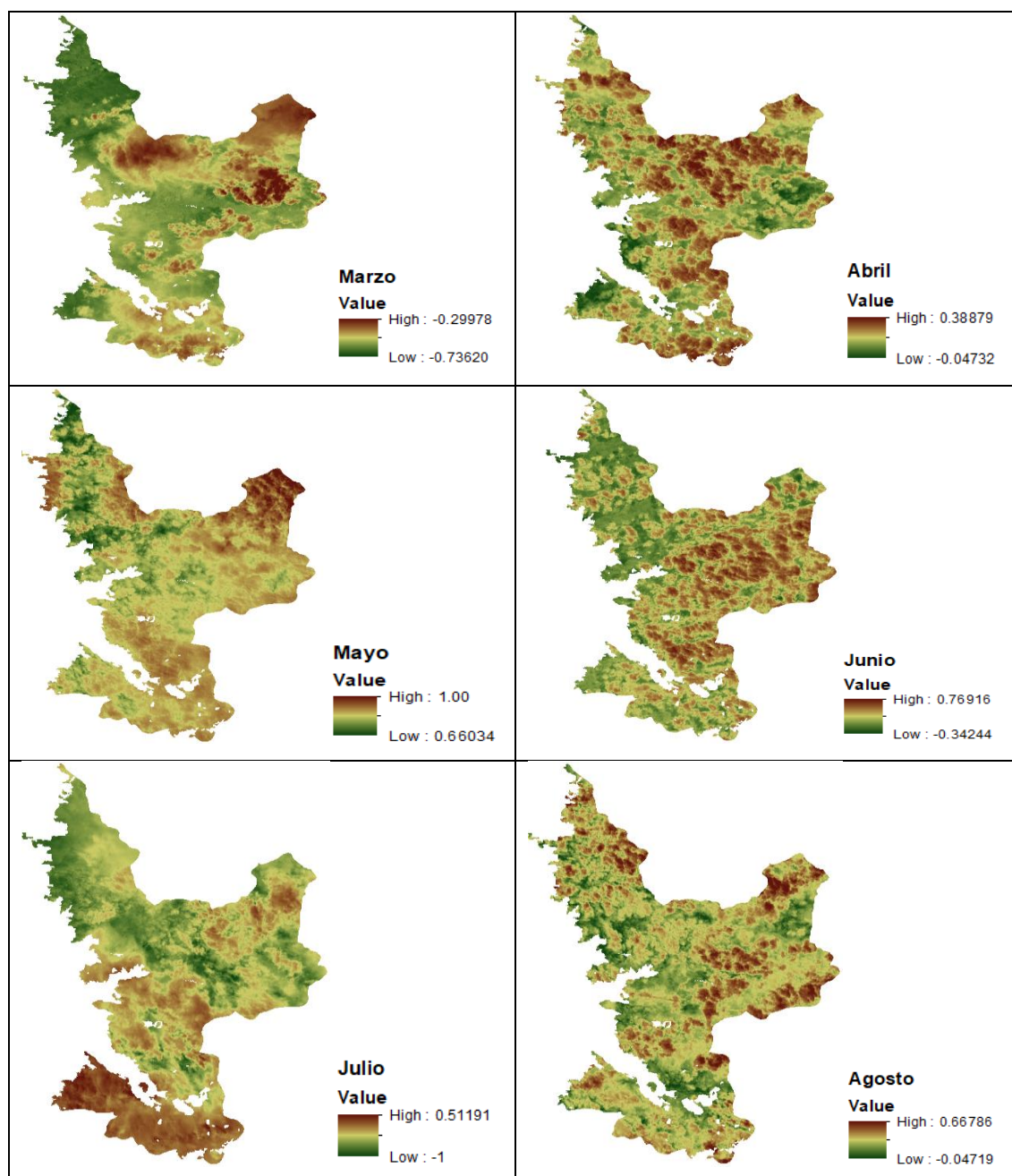
En el cálculo del índice BSI, los valores suelen ir de -1 a 1, los valores negativos representan áreas con cobertura de vegetación natural y cultivo, mientras que los positivos indican áreas con suelo desnudo (Red de Información para el Desarrollo Productivo, 2021).

A partir del script generado en GEE, se obtuvieron los siguientes resultados en las imágenes satelitales de la microcuenca del río Cebadas, sin embargo, es importante mencionar que, pese a la corrección de nubosidad aplicada, hay presencia de nubosidad.

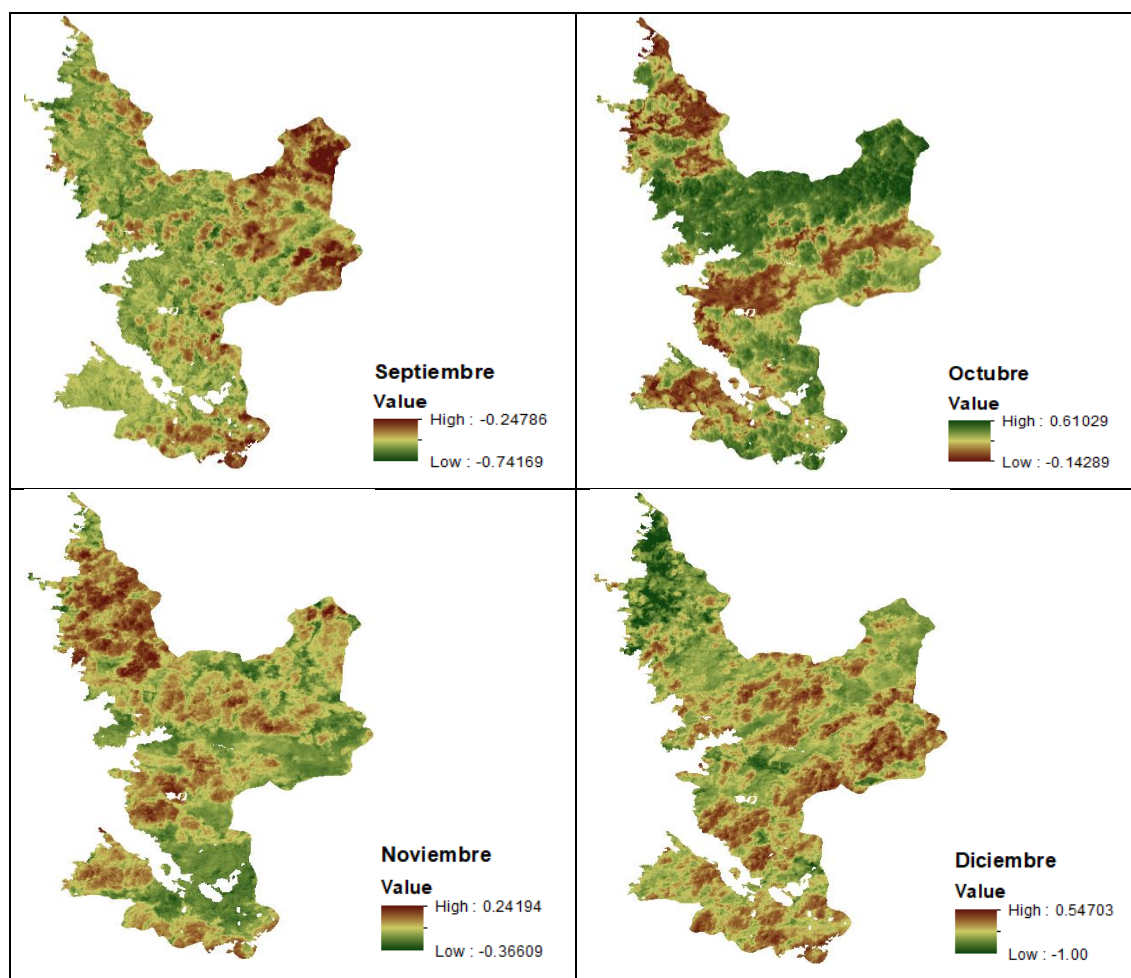
Figura 5: Cálculo índice de suelo desnudo (BSI)



Evaluación de las áreas con suelo desnudo en el páramo de la microcuenca del río cebadas mediante la aplicación del índice espectral BSI a través de imágenes satelitales



Evaluación de las áreas con suelo desnudo en el páramo de la microcuenca del río cebadas mediante la aplicación del índice espectral BSI a través de imágenes satelitales



Las imágenes satelitales de la Figura 5 que corresponden al período 2022 según el análisis del índice de suelo desnudo (BSI), se observa que en los meses de febrero, marzo, agosto, septiembre, octubre y diciembre existe una predominancia de cobertura vegetal con un índice BSI de -0.16385; -0.73620; -0.04719; -0.74169; -0.14289; -1.00, respectivamente, mientras que en los meses de enero, abril, mayo, junio, julio y noviembre existe un mayor porcentaje de suelo desnudo a comparación de los meses mencionados anteriormente con valores de 0.67098; 0.38879; 1.00; 0.76916; 0.51191 y 0.24194.

Por lo que se puede apreciar que existe una variabilidad de suelo desnudo en los meses analizados, esto puede deberse principalmente a la estacionalidad en el país y a la rotación de los cultivos en base a las épocas. Además, según (Zambrano, J. C. et al., 2021) durante el periodo seco se aprecia entre las plantas suelos desnudos y caída de hojas (caducifolia), en cambio en la época lluviosa recobra densidad y vitalidad. Este ecosistema presenta mayor susceptibilidad a la sequía, donde se

Evaluación de las áreas con suelo desnudo en el páramo de la microcuenca del río cebadas mediante la aplicación del índice espectral BSI a través de imágenes satelitales

experimenta un cambio temporal en la cobertura vegetal, sin perder su condición originaria, esto como producto de la variabilidad climática contemporánea ENOS.

Además, según (Hosseini Panahi, et al., 2024) el índice BSI también se encuentra ligado al área forestal, ya que la información sobre suelos expuestos bajo el dosel forestal resulta valiosa para identificar áreas susceptibles a la erosión. Diversos estudios se han llevado a cabo para desarrollar algoritmos que permitan separar los suelos desnudos en áreas forestales mediante técnicas de teledetección. Por lo que una clasificación correcta y exacta de las tierras estériles favorece un crecimiento y manejo óptimos de la agricultura.

Por ende, un análisis del suelo empleando técnicas de teledetección como la aplicación del índice BSI, contribuye a un monitoreo detallado de los fenómenos y las tierras que son factores fundamentales para las políticas relacionadas con el desarrollo y crecimiento agrícola.

Conclusiones

El índice de suelo desnudo analizado en el año 2022 en el páramo de la microcuenca del río Cebadas, mediante el uso de imágenes Landsat 8 y la generación del script en GEE, ha demostrado que el suelo desnudo suele tener una mayor preponderancia durante los meses más secos, sin embargo también en algunos meses de la época invernal, por lo que se estima que no solo se debe a la temporalidad sino también a las características de las plantas y su comportamiento según la época o en este caso la rotación de los cultivos presentes en estas áreas.

Los meses con un índice superior es decir con mayor suelo desnudo fueron febrero, abril, junio, julio, agosto y diciembre mientras que los meses con mayor cobertura vegetal fueron enero, marzo, mayo, septiembre, octubre y noviembre.

Referencias

1. Álvarez del Castillo, J., & Agredo Cardona, G. A. (2013). Pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino, caso cuenca urbana San Luis (Manizales). *Luna Azul*, (37), 30-48.
2. Casamitjana, M., Torres-Madronero, M., R., J., & Varga, D. (2020). Soil moisture analysis by means of multispectral images according to land use and spatial resolution on andosols in the colombian andes. *Applied Sciences*, 10(16), 5540. <https://doi.org/10.3390/app10165540>

Evaluación de las áreas con suelo desnudo en el páramo de la microcuenca del río cebadas mediante la aplicación del índice espectral BSI a través de imágenes satelitales

3. Chávez et al. (2023). Similitud de cobertura de suelo, mediante clasificación digital de imágenes satelitales, y su verificación en campo en la ciudad de Celendín, Cajamarca, 2022. *Revista Caxamarca*, 22(1-2), 13-20.
4. GAD Cebadas. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Cebadas-Ecuador: GAD Cebadas.
5. Gasmi, A., Gomez, C., Chehbouni, A., Dhiba, D., & Elfil, H. (2022). Satellite multi-sensor data fusion for soil clay mapping based on the spectral index and spectral bands approaches. *Remote Sensing*, 14(5), 1103. <https://doi.org/10.3390/rs14051103>
6. Gis&Beers. (2018). Listado de índices espectrales para Sentinel y Landsat. Obtenido de <https://www.gisandbeers.com/listado-indices-espectrales-sentinel-landsat/>
7. Hossein Panahi, et al. (2024). Bare soil detecting algorithms in western iran woodlands using remote sensing. *Smart Agricultural Technology*, 2772-3755.
8. Ibrahim, M., Ghanem, F., Al-Salameen, A., & Al-Fawwaz, A. (2019). The estimation of soil organic matter variation in arid and semi-arid lands using remote sensing data. *International Journal of Geosciences*, 10(05), 576-588. <https://doi.org/10.4236/ijg.2019.105033>
9. Loredó, E. G. L. et al. (2020). Análisis de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo en la región centro-norte de México. El caso de la cuenca baja del río Nazas. *Ecosistemas*, 29(1), 1826-1826.
10. Ma, Q. (2024). High spatiotemporal remote sensing images reveal spatial heterogeneity details of soil organic matter. *Sustainability*, 16(4), 1497. <https://doi.org/10.3390/su16041497>
11. Marcillo, J. L. M. et al. (2016). Cambio multitemporal de la cobertura vegetal y fragmentación en la reserva ecológica “Mache-Chindul” Ecuador. *European Scientific Journal*.
12. Peddle, D., Huemmrich, K., Hall, F., Masek, J., Soenen, S., & Jackson, C. (2011). Applications of the biophys algorithm for physically-based retrieval of biophysical, structural and forest disturbance information. *Ieee Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4(4), 971-982. <https://doi.org/10.1109/jstars.2011.2164899>
13. Pinos Arévalo, N. J. (2016). Prospectiva del uso de suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial-Caso cantón Cuenca. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 5(9), 1-21.

Evaluación de las áreas con suelo desnudo en el páramo de la microcuenca del río cebadas mediante la aplicación del índice espectral BSI a través de imágenes satelitales

14. Rasul, A., Balzter, H., Ibrahim, G., Hameed, H., Wheeler, J., Adamu, B., ... & Najmaddin, P. (2018). Applying built-up and bare-soil indices from landsat 8 to cities in dry climates. *Land*, 7(3), 81. <https://doi.org/10.3390/land7030081>
15. Red de Información para el Desarrollo Productivo. (2021). ÍNDICE DE SUELO DESNUDO - BSI COMPARACIÓN PERIODO INVERNAL AÑO 2014 Y 2019 COMPARACIÓN PERIODO INVERNAL AÑO 2014 Y 2019. Tucumán: Ministerio de Desarrollo Productivo Gobierno de Tucumán.
16. Salazar, D., Vaudour, E., Richer-de-Forges, A., Chen, S., Martelet, G., Baghdadi, N., ... & Arrouays, D. (2023). Sentinel-2 and sentinel-1 bare soil temporal mosaics of 6-year periods for soil organic carbon content mapping in central france. *Remote Sensing*, 15(9), 2410. <https://doi.org/10.3390/rs15092410>
17. Tovar Guarochico, D. E. (2022). Reservas de carbono en sistemas ribereños de amortiguación en el sistema fluvial de la microcuenca del río Cebadas. Riobamba: Thesis Bacherlor's-Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
18. Xu, H., Xiu-juan, H., Guan, H., Zhang, B., Wang, M., Shanmu, C., ... & Chen, M. (2019). A remote sensing based method to detect soil erosion in forests. *Remote Sensing*, 11(5), 513. <https://doi.org/10.3390/rs11050513>
19. Zambrano, J. C. et al. (2021). Dinámica espacial y temporal del Bosque Protector del cerro Montecristi, Provincia de Manabí, Ecuador. . *Tiempo y Espacio*, 39(75), 303-318.