

# Evaluación espacio-temporal de la cobertura terrestre frente a eventos de sequía meteorológica en la cuenca La Lejía (Durania, Norte de Santander)

*Spatio-temporal evaluation of land cover in the face of meteorological drought events in the La Lejía basin (Durania, Norte de Santander)*

Michel Dayana Granados Hernández<sup>1</sup> , PhD. María Esther Rivera<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup> Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y arquitectura, Programa de ingeniería ambiental, Grupo de Investigación (GIAAS), Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

**Correspondencia:** Michel Dayana Granados Hernández  
Correo electrónico:  
michel.granados@unipamplona.edu.co

**Recibido:** 03/10/2025

**Revisado:** 06/11/2025

**Aceptado:** 29/12/2025

**Citar así:** Granados Hernández, M.D., Rivera, M.E. (2025), Evaluación espacio-temporal de la cobertura terrestre frente a eventos de sequía meteorológica en la cuenca La Lejía (Durania, Norte de Santander), SEI, vol. 8, nº 1, pp. 11-21, Abrev. Diciembre, 2025  
Recuperado de  
<https://doi.org/10.24054/xqagwy72>

**Copyright:** © 2025. Universidad de Pamplona, Colombia. La *Revista Semilleros de Investigación* proporciona acceso abierto a todo su contenido bajo los términos de la licencia *Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)*.

## Resumen

En los últimos años, la sequía se ha convertido en uno de los fenómenos que más afecta la disponibilidad de agua y el equilibrio de los ecosistemas, generando cambios en la cobertura terrestre y la productividad vegetal. En la cuenca La Lejía, ubicada en Durania, Norte de Santander, la variabilidad climática, principalmente asociada al fenómeno El Niño, ha intensificado los períodos secos y reducido la disponibilidad hídrica.

Este estudio evaluó la variación espacio-temporal de la cobertura terrestre frente a eventos de sequía meteorológica mediante el cálculo del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el análisis de los índices NDVI, NDMI y LST a partir de imágenes Landsat-8. Los resultados evidenciaron un evento de sequía extrema en el periodo 2001-2002 ( $SPI < -2.0$ ) y condiciones de sequía severa en 2013-2014 ( $SPI < -1.5$ ). En 2014, las áreas con vegetación escasa ( $NDVI < 0.25$ ) ocuparon el 4.03% de la cuenca, mientras que en 2023 este valor se redujo a 1.26%, evidenciando una recuperación de la vegetación al disminuir la intensidad de la sequía. Además, se identificaron temperaturas superficiales superiores a  $28^{\circ}\text{C}$  en los tres años analizados, con variaciones en su distribución espacial y extensión.

**Palabras clave:** Sequía, Variabilidad climática, Precipitación, Aridez, Cobertura Terrestre

## Abstract

In recent years, drought has become one of the phenomena that most affects water availability and the balance of ecosystems, generating changes in land cover and plant productivity. In the La Lejía basin, located in Durania, Norte de Santander, climate variability, mainly associated with the El Niño phenomenon, has intensified dry periods and reduced water availability.

This study evaluated the spatiotemporal variation of land cover in response to meteorological drought events by calculating the Standardized Precipitation Index (SPI) and analyzing the NDVI, NDMI, and LSY indices from Landsat-8 images. The results showed an extreme drought event in the 2001-2002 period ( $SPI < -2.0$ ) and severe drought conditions in 2013-2014 ( $SPI < -1.5$ ). In 2014, areas with sparse vegetation ( $NDVI < 0.25$ ) covered 4.03% of the watershed, while in 2023 this figure decreased to 1.26%, indicating a recovery of vegetation as the intensity of the drought diminished. Furthermore, surface temperatures exceeding  $28^{\circ}\text{C}$  were identified in all three years analyzed, with variations in their spatial distribution and extent.

**Keywords:** Drought, Climate variability, Precipitation, Aridity, Land cover.

## 1. INTRODUCCIÓN

La sequía es uno de los fenómenos naturales más recurrentes y de mayor impacto ambiental a nivel mundial, ya que altera la disponibilidad hídrica, el equilibrio de los ecosistemas, la salud y los cultivos. La Organización Meteorológica Mundial [1] la define como un periodo seco prolongado con lluvias por debajo de lo normal, que puede ocurrir en cualquier parte del mundo. Además, es un fenómeno de aparición lenta que se ve agravado por factores como la variabilidad climática y el uso inadecuado de la tierra. En los últimos años, la intensificación de la variabilidad climática asociada al fenómeno El Niño ha provocado un déficit significativo de las precipitaciones, así como un aumento de la temperatura del aire, lo que hace que la disponibilidad del agua sea cada vez más limitada [2].

Comprender cómo las sequías alteran la dinámica natural del territorio es muy importante, ya que estas no solo reducen la disponibilidad del recurso hídrico, sino que también modifican la cobertura terrestre, la humedad del suelo y la productividad vegetal.

La combinación de índices de sequía y satelitales facilita el análisis de los cambios en la cobertura vegetal, la humedad y la temperatura del suelo asociados a las condiciones de sequía. Entre ellos se encuentra el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), que permite identificar las anomalías de precipitación de diferentes escalas temporales y de esta forma identificar años con sequías [3]. De forma complementaria, los índices NDVI y NDMI permiten caracterizar la densidad y humedad de la vegetación [4], mientras que la temperatura superficial del suelo (LST) permite evaluar condiciones de estrés térmico y la salud de los cultivos en la zona [5].

Aunque en Colombia existen estudios sobre sequías asociadas al fenómeno El Niño, son limitadas las investigaciones que integran índices satelitales con el SPI para analizar la respuesta espacio-

temporal de la cobertura terrestre ante estos eventos. En la cuenca La Lejía, ubicada en el municipio de Durania, Norte de Santander, no se han realizado estudios de este tipo, a pesar de su importancia para las actividades agrícolas y ganaderas de la zona. En los últimos años, la cuenca ha presentado una disminución en la precipitación y un aumento en la aridez, lo que ha generado afectaciones sobre la vegetación natural y las áreas agrícolas.

Debido a esto, resulta necesario evaluar cómo las sequías meteorológicas se reflejan en la vegetación, la humedad y la temperatura superficial del suelo de la zona, con el fin de comprender la magnitud de estos eventos y sus efectos sobre la cobertura terrestre. Por ello, el presente estudio analiza la variación espacio-temporal de la cobertura terrestre frente a eventos de sequía meteorológica en la cuenca La Lejía, mediante el uso integrado del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y los índices NDVI, NDMI y LST para los años 2014, 2018 y 2023.

## 2. METODOLOGÍA

Esta investigación es de tipo descriptivo, con un enfoque cuantitativo y espacial, ya que se analizan variables climáticas y satelitales para evaluar los efectos de la sequía sobre la cobertura terrestre en la cuenca La Lejía. La metodología para llevar a cabo la investigación consistió de tres fases principales:

### 2.1. Identificación de los eventos de sequía meteorológica

Se recopilaron datos históricos de precipitación mensual correspondientes al periodo 1979–2023, obtenidos a partir de la plataforma Google Earth Engine. Con esta información se calculó el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) en el programa gratuito DrinC, utilizando una escala temporal de 12 meses, para analizar las sequías a largo plazo asociadas a la disponibilidad hídrica.

El SPI se calcula a partir del ajuste de datos de precipitación a una función de distribución de probabilidad acumulada, la cual es posteriormente normalizada a una distribución normal estándar, permitiendo comparar condiciones húmedas y secas en diferentes escalas temporales [6]. Este procedimiento permite identificar los períodos con déficit de precipitación, así como su intensidad y duración, clasificando los eventos de sequía en las categorías de la Tabla 1, las cuales tienen en cuenta el valor del índice.

**Tabla 1:** Clasificación de los índices estandarizados de sequía

Rango del índice	Clasificación
$\geq 2.00$	Extremadamente húmedo
1.50 a 1.99	Severamente húmedo
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo
0.00 a 0.99	Casi normal (ligeramente húmedo)
0.00 a -0.99	Casi normal (sequía leve)
-1.00 a -1.49	Sequía moderada
-1.50 a -1.99	Sequía severa
$\leq -2.00$	Sequía extrema

**Fuente:** Tsakiris et al. (2007) [7]

### 2.2. Cálculo de Índices Satelitales.

Se utilizaron imágenes satelitales Landsat-8 OLI/TIRS correspondientes a los años 2014, 2018 y 2023, seleccionados por representar condiciones de sequía severa, moderada y moderada de menor intensidad, respectivamente, de acuerdo con los resultados del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI). Estos años se seleccionaron considerando la disponibilidad de imágenes del satélite Landsat-8, el cual cuenta con registros a partir del año 2013. Además, se procuró que las

imágenes correspondieran a un periodo similar del año y presentaran baja cobertura nubosa, con el fin de garantizar una buena comparabilidad temporal entre los análisis.

Las imágenes Landsat-8 cuentan con una resolución espacial de 30m para las bandas ópticas OLI (B4, B5, B6) y una resolución de 100 m para la banda térmica TIRS (B10), reescalada a 30 m, además de una resolución temporal de 16 días [8]. El procesamiento de las imágenes se realizó en el software QGIS, siguiendo la metodología propuesta por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), que incluye la conversión de los valores digitales a reflectancia y la aplicación de correcciones radiométricas y atmosféricas.

A partir de las imágenes procesadas se calcularon los siguientes índices:

NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), para identificar la densidad y salud de la vegetación, cuanto mayor es el valor de NDVI, mayor es la densidad de vegetación en la zona [9].

NDMI (Índice de Humedad de Diferencia Normalizada), que se utiliza para estimar el contenido de humedad en la vegetación a partir de bandas NIR y SWIR, siendo un complemento del NDVI para evaluar el grado de estrés hídrico [10].

LST (Temperatura Superficial del Suelo), calculada a partir de la banda térmica 10, mediante la conversión de los valores digitales a radiancia, el cálculo de la temperatura de brillo BT y la corrección por emisividad superficial derivada del NDVI [5].

### **2.3. Mapas de Cobertura y Uso del Suelo**

Se utilizó el mapa de uso y cobertura del suelo correspondiente al año 2018, obtenido de la plataforma Colombia en Mapas, como referencia espacial para la cuenca La Lejía. Este mapa fue integrado con los índices NDVI, NDMI y LST con el fin de analizar la respuesta de las diferentes coberturas presentes en la cuenca, como cultivos, pastizales y bosques, frente a los períodos secos identificados mediante el SPI

## **3. RESULTADOS.**

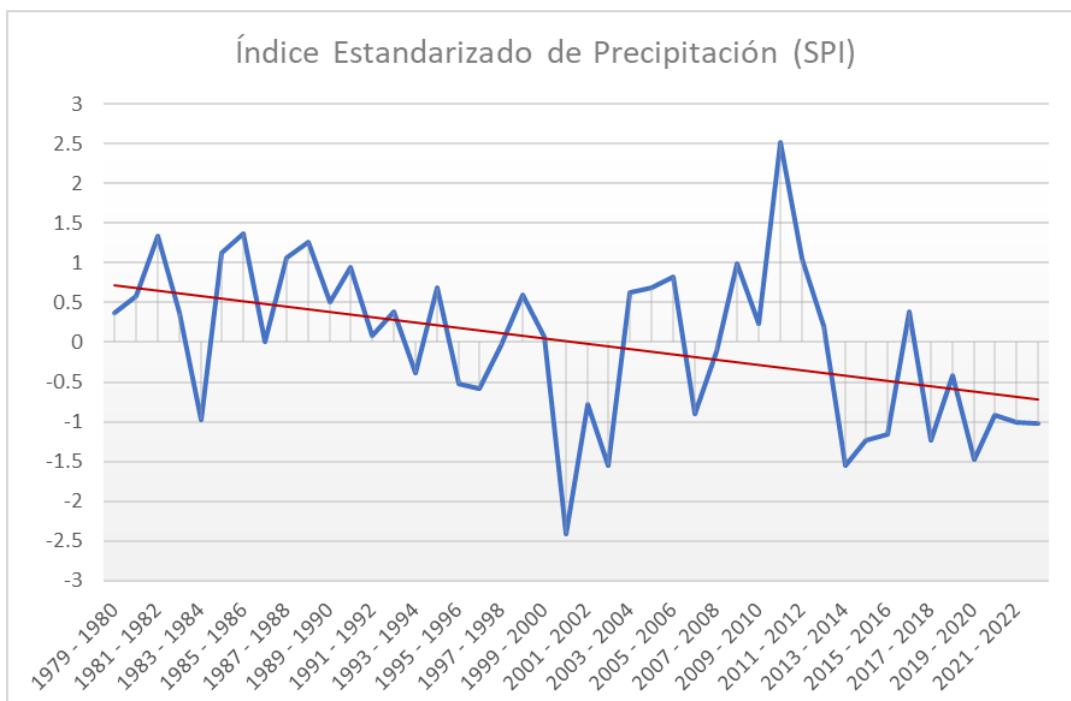
### **3.1. Identificación de eventos de sequía meteorológica.**

A partir del cálculo del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) a 12 meses para el periodo 1979–2023 se analizó una tendencia hacia la disminución de la precipitación y el aumento de los períodos secos en la cuenca La Lejía (Figura 1). Durante el periodo de 1979 a 1999 se observó una variación entre los años húmedos y secos, siendo más predominantes los valores positivos del SPI, mientras que a partir del año 2000 se presentan valores negativos más frecuentes y prolongados, indicando condiciones de sequía más severas.

El análisis permitió identificar un evento de sequía extrema durante el periodo 2001-2002, con un valor del SPI inferior a -2.0. Además, los períodos 2002-2003 y 2013-2014 presentaron condiciones de sequía severa, con valores del SPI inferiores a -1.5. De igual manera, se identificaron episodios recurrentes de sequía moderada durante los períodos 2015-2018, 2019-2020, 2021-2023.

A pesar de que algunos de los períodos de sequía identificados coinciden temporalmente con eventos del fenómeno El Niño reportados por el Climate Prediction Center (CPC, NOAA) [11], como los ocurridos en 2002-2003, 2015-2016, y 2018-2019, los demás eventos no muestran una relación directa con fases cálidas del ENSO. Esto sugiere que la ocurrencia de sequías en la cuenca

La Lejía podría estar influenciada, además de la variabilidad climática, por condiciones meteorológicas locales y características propias de la zona.



**Figura 1:** Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) a 12 meses para la cuenca La Lejía durante el periodo 1979–2023.  
**Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.2. Mapas de Índices Satelitales.

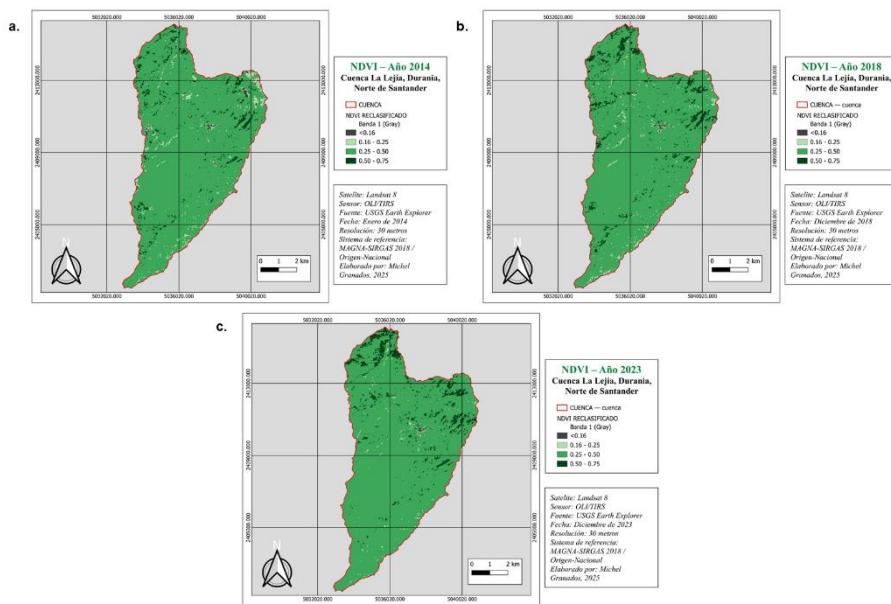
#### 3.2.1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Los resultados del NDVI para los años estudiados se presentan en la Figura 2 y en la Tabla 2, los cuales muestran variaciones en la cobertura vegetal de la cuenca La Lejía en respuesta a eventos de sequía meteorológica de distinta intensidad.

En 2014 se registraron las condiciones más críticas de vegetación, lo que coincide con el evento de sequía severa identificado mediante el SPI. Durante este año, las áreas de vegetación escasa y muy escasa, con valores de NDVI inferiores a 0.25, representaron el 4.03 % del área total de la cuenca, lo que indica mayor estrés vegetal asociado a la intensidad del déficit hídrico.

Para 2018, aunque se presentaron condiciones de sequía moderada, se observa una mejora en la cobertura vegetal, evidenciada por la reducción de las áreas de vegetación escasa y muy escasa al 2.58 % y el predominio de coberturas medias (0.25-0.50), que ocupan cerca del 92 % de la cuenca. Este comportamiento sugiere que el impacto de esta sequía moderada fue menor en comparación con la sequía severa registrada en 2014, permitiendo una recuperación de la vegetación.

En 2023 la recuperación de la cobertura vegetal es más notoria, aun cuando la cuenca continúa presentando condiciones de sequía moderada, de menor intensidad que las registradas en 2018. Para este año, las clases de NDVI inferiores a 0.25 representan únicamente el 1.26 % del área total, y se observa un aumento de las áreas de vegetación aceptable, que alcanzan un 5.93 %, lo que sugiere una mayor capacidad de recuperación de la cobertura vegetal frente a eventos de sequía de menor intensidad.



**Figura 2:** Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). a) 2014, b) 2018, c) 2023.

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Tabla 2:** Áreas del NDVI en ha.

Clases	2014	2018	2023
<b>&lt;0.16</b>	55.08	25.47	16.56
<b>0.16 - 0.25</b>	202.14	138.96	63.63
<b>0.25 - 0.50</b>	5876.37	5875.92	5927.13
<b>0.50 - 0.75</b>	252.36	345.6	378.63

**Fuente:** Elaboración Propia

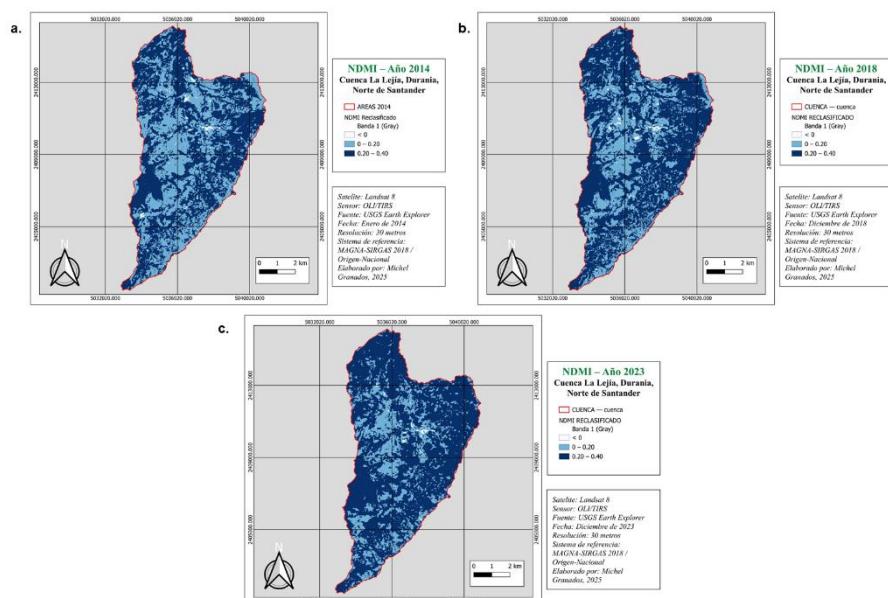
### 3.2.2. Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI)

El NDMI permitió identificar los cambios en el contenido de humedad de la vegetación y del suelo superficial durante el periodo de estudio, cuyos resultados se muestran en la Figura 3.

En 2014 predominan los valores bajos del índice, inferiores a 0.20, lo que indica condiciones secas en gran parte de la cuenca, especialmente en las zonas central y sur. Este patrón refleja un marcado déficit de humedad en la vegetación, que coincide con las condiciones secas registradas durante el evento de sequía severa en 2014.

Para 2018, aunque se presentaron condiciones de sequía moderada, se observa un aumento de las áreas con valores de NDMI entre 0.20 y 0.40, lo que indica una mejora en el contenido de humedad de la vegetación en comparación con 2014. Esto sugiere que la intensidad del evento de sequía influye de manera significativa en la respuesta de la humedad vegetal, siendo el impacto menor frente a sequías de intensidad moderada.

En 2023 la tendencia de mejora en la humedad se mantiene, observándose una distribución más homogénea de los valores del NDMI y una mayor cantidad de áreas con valores de 0.20 y 0.40. Aunque persisten las condiciones de sequía moderada, los valores más altos del SPI en este año indican un déficit hídrico menos intenso, lo que favorece una mejor recuperación de la humedad vegetal.



**Figura 3:** Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI). a) 2014, b) 2018, c) 2023.

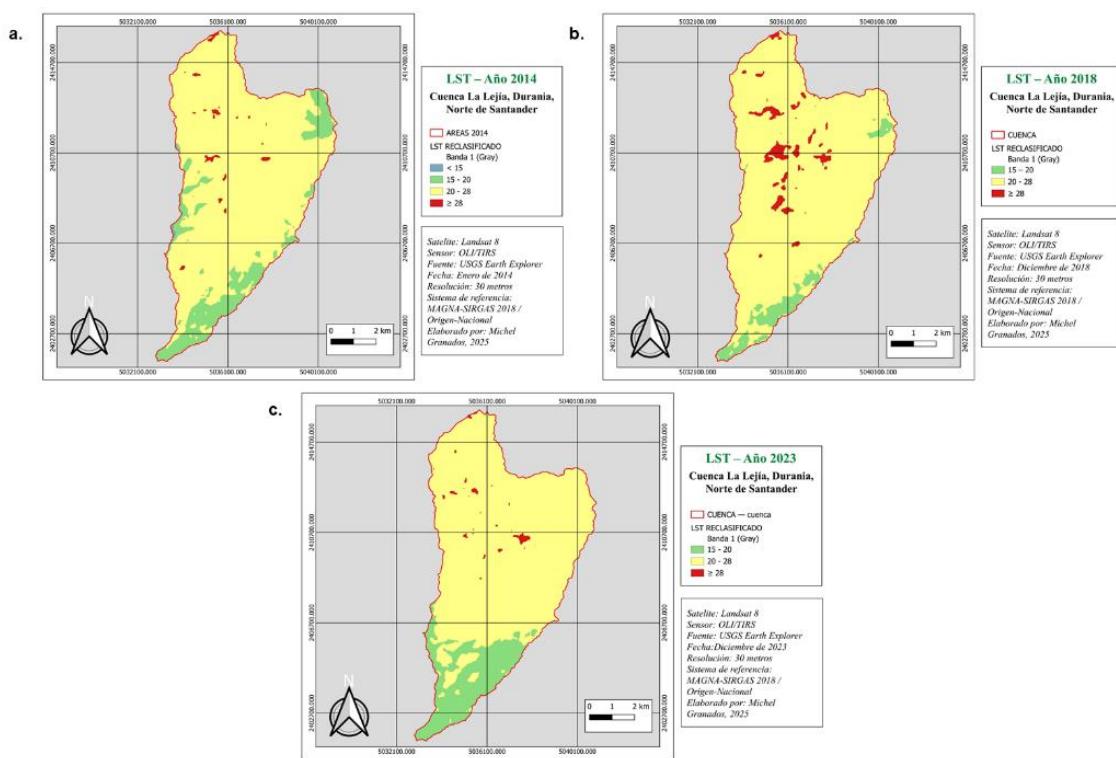
**Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.2.3. Temperatura Superficial del Suelo (LST)

La temperatura superficial del suelo (LST) para los tres años analizados se muestra en la Figura 4. En los tres años analizados, las temperaturas más bajas, entre 15 y 20°C, se concentran principalmente en la zona sur de la cuenca, mientras que los valores intermedios, entre 20 y 28°C, dominan la mayor parte del territorio. Además, las temperaturas más altas, superiores a 28°C, se presentan de forma puntual, principalmente en la zona media de la cuenca.

En 2014, los focos con temperaturas superiores a 28°C son escasos y se distribuyen de manera dispersa, lo que indica un calentamiento superficial muy localizado durante el evento de sequía severa. Para 2018 se observa un aumento en la extensión de estos focos de alta temperatura, lo que sugiere que, a pesar de que la sequía para este año fue moderada, el calentamiento superficial fue mayor en comparación con 2014.

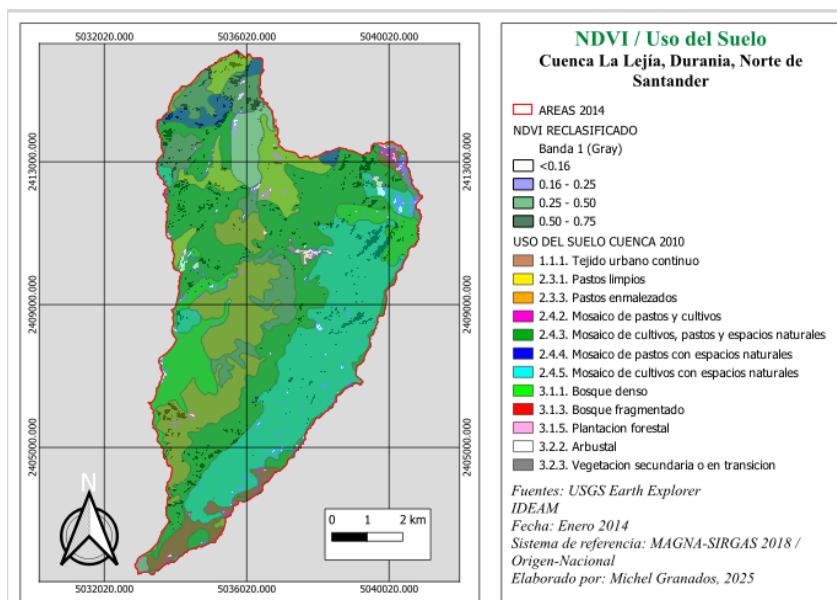
En 2023, al presentarse condiciones de sequía moderada de menor intensidad, reflejadas en valores más altos de SPI, los focos con temperaturas superiores a 28°C disminuyen considerablemente, mientras que se incrementan las áreas con temperaturas bajas en la zona sur de la cuenca. Este comportamiento sugiere una mejor condición térmica superficial, coherente con la menor intensidad del evento de sequía registrado en este año.



**Figura 4:** Temperatura Superficial del Suelo (LST). a) 2014, b) 2018, c) 2023.  
**Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.3. Relación entre Índices Satelitales y Uso del Suelo

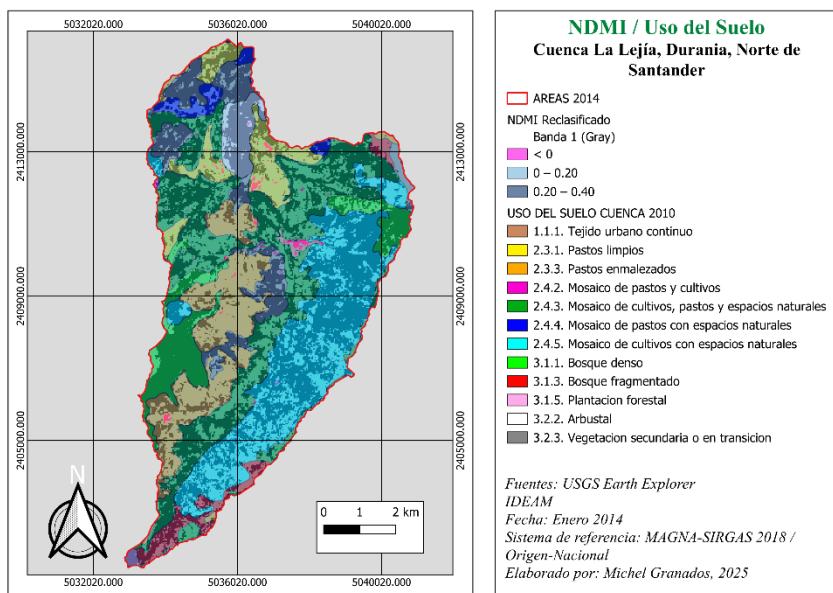
En la Figura 5 se muestra la superposición del Índice de Vegetación (NDVI) con el mapa de uso del suelo correspondiente al año 2014. Se observa que los valores más altos del NDVI se concentran en zonas boscosas y de vegetación natural, así como en sectores de vegetación secundaria y en transición, lo que indica una cobertura densa y en buen estado. Por otro lado, las zonas con valores menores a 0.25 coinciden con zonas de pastos, mosaicos de cultivos, área urbana o áreas intervenidas, lo que refleja una menor densidad de vegetación y posible estrés asociado al déficit hídrico. Esta distribución espacial sugiere que las zonas con coberturas naturales conservadas presentan una mayor capacidad de resistencia frente a períodos secos, mientras que aquellas destinadas a las actividades agropecuarias muestran una mayor vulnerabilidad ante la pérdida de la cobertura vegetal.



**Figura 5:** Superposición del índice NDVI con el mapa de uso del suelo en la cuenca La Lejía, Durania, Norte de Santander.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de USGS Earth Explorer e IDEAM (2018).

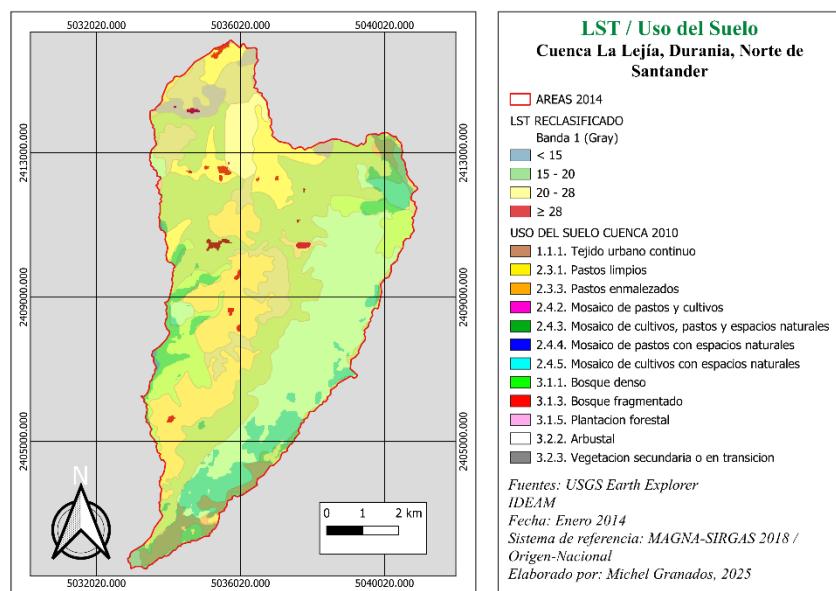
El Índice de humedad de la vegetación (NDMI), observado en la figura 6, permitió identificar las zonas con menor contenido de humedad en la cuenca. Los valores más bajos, inferiores a 0.20, se concentran principalmente en áreas de pastos, mosaicos de cultivos y zonas intervenidas, lo que refleja un menor contenido de agua en la vegetación y una posible afectación por déficit hídrico. Por otro lado, los valores más altos, entre 0.20 y 0.40 se localizan en zonas boscosas y sectores de vegetación secundaria y en transición, donde la humedad vegetal es mayor debido al tipo de cobertura y a su densidad. Con esto queda en evidencia que las coberturas vegetales naturales actúan como zonas de retención de humedad, mientras que las superficies agrícolas presentan mayor tendencia a la pérdida de agua durante períodos secos.



**Figura 6:** Superposición del índice NDMI con el mapa de uso del suelo en la cuenca La Lejía, Durania, Norte de Santander.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de USGS Earth Explorer e IDEAM (2018).

Por último, la temperatura superficial del suelo (LST), mostrada en la figura 7, muestra un patrón térmico inverso al NDMI. Las temperaturas más altas, mayores a 28°C, se registran en la zona urbana y en las zonas con pastos y mosaicos de cultivos, principalmente en el centro y sur de la cuenca, mientras que las áreas con vegetación densa, como bosques y vegetación secundaria, presentan temperaturas menores a 20°C. Este comportamiento afirma que la cobertura natural contribuye a regular la temperatura superficial mediante procesos de evapotranspiración, reduciendo el calentamiento del suelo, mientras que las coberturas agrícolas y áreas descubiertas favorecen la acumulación del calor, lo que incrementa el riesgo de estrés térmico y pérdida de la humedad superficial durante los períodos de sequía.



**Figura 7:** Superposición del índice LST con el mapa de uso del suelo en la cuenca La Lejía, Durania, Norte de Santander.  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de USGS Earth Explorer e IDEAM (2018).

#### 4. CONCLUSIONES

El análisis conjunto del SPI y de los índices satelitales permitió evidenciar que la variación espacio-temporal de la cobertura terrestre en la cuenca La Lejía está directamente relacionada con la intensidad de los eventos de sequía meteorológica, reflejándose en las variaciones en la vegetación, la humedad superficial y la temperatura del suelo.

La respuesta de la vegetación y el contenido de humedad mostró una dependencia clara de la intensidad de los eventos de sequía, con mayores afectaciones durante períodos más severos y una recuperación progresiva bajo condiciones de menor intensidad, lo que indica que la cobertura de la cuenca tiene capacidad de recuperación frente a sequías moderadas.

El análisis de la temperatura superficial del suelo evidenció que las condiciones de sequía se asocian con incrementos del estrés térmico, especialmente en las zonas más intervenidas de la cuenca, mientras que las áreas con mayor cobertura vegetal mantienen comportamientos térmicos más estables.

La integración de los índices satelitales con el mapa de uso del suelo permitió identificar diferencias en la respuesta de las coberturas frente a la sequía, destacando que las coberturas naturales

presentan mejores condiciones de humedad y regulación térmica en comparación con las áreas agrícolas y de pastos.

## REFERENCIAS

- [1] Organización Meteorológica Mundial (OMM), “Drought,” World Meteorological Organization. [En línea]. Disponible en: <https://wmo.int/about-us/world-meteorological-day/wmd-2020/drought>. Accedido: 29 de octubre de 2025.
- [2] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), “Seguimiento al ciclo ENOS: El Niño–Oscilación del Sur,” IDEAM, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.ideam.gov.co/>. Accedido: 29 de octubre de 2025.
- [3] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), “Indicadores e índices de sequía,” IDEAM, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ideam.gov.co/file-download/download/public/963>. Accedido: 29 de octubre de 2025.
- [4] S. Antognelli, “NDVI and NDMI vegetation indices: Instructions for use,” Agricolus, 29 de mayo de 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.agricolus.com/en/vegetation-indices-ndvi-ndmi/>. Accedido: 29 de octubre de 2025.
- [5] Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), “Temperatura superficial de la colección Landsat 2.” [En línea]. Disponible en: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-surface-temperature>. Accedido: 29 de octubre de 2025.
- [6] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Estudio Nacional del Agua 2022. IDEAM, 2022. [En línea]. Disponible en: [https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-27/estudio\\_nacional\\_del\\_agua\\_2022.pdf](https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-27/estudio_nacional_del_agua_2022.pdf). Accedido: 29 de octubre de 2025.
- [7] G. Tsakiris, D. Pangalou y H. Vangelis, “Drought characterization,” en Drought Management Guidelines Technical Annex, CIHEAM, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://om.ciheam.org/web/controleurFrontal.php?action=afficherArticle&IDPDF=800535>. Accedido: 12 de diciembre de 2025.
- [8] EOS Data Analytics, “Bandas de Landsat 8: combinaciones para imágenes satelitales.” [En línea]. Disponible en: <https://eos.com/pt/blog/bandas-de-landsat-8/>. Accedido: 22 de diciembre de 2025.
- [9] Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), “Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) Landsat.” [En línea]. Disponible en: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index>. Accedido: 29 de octubre de 2025.
- [10] Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), “Índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI).” [En línea]. Disponible en: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/normalized-difference-moisture-index>. Accedido: 29 de octubre de 2025.
- [11] Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), Climate Prediction Center (CPC), “Episodios históricos de El Niño/La Niña (1950–presente).” [En línea]. Disponible en: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Accedido: 30 de octubre de 2025.