

# VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL NDVI EN 30 AÑOS EN LA CUENCA DEL RÍO REYES (JUJUY, ARGENTINA)

## TEMPORAL AND SPATIAL VARIATION OF THE NDVI IN 30 YEARS IN THE REYES RIVER BASIN (JUJUY, ARGENTINA)

Matías Joel Castellón\* y Marcela Alejandra De Paul<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CEICAAL. Centro de Estudios Interdisciplinarios de Calidad de Agua de Ambientes de Altura. Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu. Alberdi 47. San Salvador de Jujuy. Jujuy. (C.P. 4600)

\*Autor para correspondencia:  
mirtybmx@gmail.com

Licencia:  
[Licencia Creative Commons](#)  
[Atribución-NoComercial-](#)  
[CompartirIgual 4.0 Internacional](#)

Período de Publicación:  
Diciembre 2021

Historial:  
Recibido: 02/07/2021  
Aceptado: 22/11/2021

### RESUMEN

El NDVI es ampliamente utilizado para monitorear cambios temporales en la cobertura vegetal. El objetivo de este trabajo fue evaluar la ganancia, pérdida o estabilidad del NDVI en la cuenca del río Reyes mediante el análisis de tendencia de Mann-Kendall, y su relación con las variables precipitación promedio y acumulada (PP y PA), temperatura promedio (TP), amplitud térmica (AT) y temperatura de la superficie terrestre (LST), para la época seca otoño-invernal (mayo-septiembre), entre los años 1989-2018. La serie temporal se caracterizó en tres décadas, D1: 1989-1998, D2: 1999-2008 y D3: 2009-2018. Se establecieron 5 categorías de tendencia de NDVI: pérdida elevada (PE), pérdida leve (PL), estable (E), ganancia leve (GL) y ganancia elevada (GE). La categoría E disminuyó progresivamente su área, cuyos valores para D1, D2 y D3 fueron de 300,04, 219,37 y 97,51 km<sup>2</sup>, respectivamente. Contrariamente, el área de PE aumentó a lo largo del periodo de tiempo estudiado: D1: 0,3 km<sup>2</sup>, D2: 5,98 km<sup>2</sup> y D3: 12,89 km<sup>2</sup>. Los años 1995 y 2003 presentaron los valores promedios de NDVI más bajos (0,19 y 0,16, respectivamente), coincidiendo con un gran periodo de sequía mundial. En los años siguientes, 1996 y 2004, se registró un aumento considerable de la PA (14,7mm – 24,13mm y 11mm – 25,13mm) y PP (2,94mm – 4,83mm y 2,22mm – 5,03mm, respectivamente). El coeficiente de Pearson explicó en bajos porcentajes la relación entre el NDVI y las variables ambientales: LST: 0,4, PP: 0,32, PA: 0,32, AT: -0,29 y TP: 0,14. En D2, la disminución del NDVI coincidió con las zonas urbanas y de cultivo de la cuenca. Los valores de la LST disminuyeron cuando aumentó la actividad fotosintética. Se recomienda complementar los datos derivados por sensores remotos con datos obtenidos de estaciones meteorológicas y corroboraciones de terreno, como así también estudiar otras fuentes de variación y series temporales más extensas.

**Palabras clave:** Río Reyes, Río Guerreño, Yungas, Mann-Kendall, LST, precipitación, temperatura, Landsat

## SUMMARY

NDVI is widely used to monitor temporal changes in vegetation cover. The objective of this work was to evaluate NDVI gain, loss or stability in the Reyes river basin by the Mann-Kendall trend analysis, and its relationship with the variables average and mass precipitation (AP & MP), average temperature (AT), thermal amplitude (TA) and Land Surface Temperature (LST), for the autumn-winter dry season (May-September), from 1989 to 2018. The time series was characterized in three decades, D1: 1989-1998, D2: 1999-2008 and D3: 2009-2018. 5 categories of NDVI trend were established: high loss (HL), slight loss (SL), stable (S), slight gain (SG) and high gain (HG). Category S progressively decreased its area, whose values for D1, D2 and D3 were 300,04, 219,37 and 97,51 km<sup>2</sup>, respectively. On the contrary, the area of HL increased throughout the period of time studied.: D1: 0,3 km<sup>2</sup>, D2: 5,98 km<sup>2</sup> and D3: 12,89 km<sup>2</sup>. The years 1995 and 2003 had the lowest average NDVI values (0,19 and 0,16, respectively), coinciding with a great period of world drought. In the following years, 1996 and 2004, there was a considerable increase in MP (14.7mm - 24.13mm and 11mm - 25.13mm) and AP (2.94mm - 4.83mm and 2.22m - 5.03mm, respectively). The Pearson coefficient described in low percentages the relationship between the NDVI and the environmental variables: LST: 0,4, AP: 0,32, MP: 0,32, TA: -0,29 and AT: 0,14. In D2, the decrease in NDVI coincided with the urban and cropland areas of the basin. LST values decreased when photosynthetic activity increased. It is recommended to complement the data derived by remote sensors with data obtained from meteorological stations and field corroborations, as well as to study other sources of variation and more extensive time series.

**Keywords:** Guerrero river, Landsat, LST, Mann-Kendall, precipitation, Reyes river, temperature, Yungas.

## INTRODUCCIÓN

La actividad vegetal representa un importante proceso ambiental que influye en el ciclo hidrológico, en el transporte de sedimentos, en la estructura y diversidad paisajística, como así también en el riesgo de incendio. La cantidad y producción de biomasa vegetal guardan una estrecha relación con factores ambientales, siendo dos de los más importantes la temperatura y las precipitaciones (Serrano, Lasanta & Lomo, 2003; Maggi, Ponienman, Castro & Di Fernando, 2020).

La restauración de bosques es una prioridad ambiental global y fue incluida como parte de

los objetivos de desarrollo sustentable (ODS) en la Agenda de las Naciones Unidas para el año 2013 (ONU, 2015). En Argentina, los bosques pedemontanos y de ribera se encuentran entre los ecosistemas más modificados y amenazados debido a los cambios de uso del suelo que tuvieron lugar en las últimas décadas (Gasparri, 2016). Los bosques de ribera influyen en la incidencia de luz y desarrollo de comunidades algales y macrófitos (Elosegi, Diez & Pozo, 2007), determinan la morfometría de los cauces de ríos; controlan la erosión de los márgenes y el aporte de material alóctono al cuerpo de agua; incrementan los nutrientes y energía disponible para las redes tróficas como también la heterogeneidad de

hábitats acuáticos favoreciendo el establecimiento de especies de macroinvertebrados bentónicos (Miserendino, Casaux, Archangelsky, Di Prinzio, Brand & Kutschker, 2011).

La cuenca del río Reyes se encuentra en el Departamento Manuel Belgrano, provincia de Jujuy, Argentina. En ella se distinguen los ríos Guerrero y Reyes, los cuales abastecen a las plantas potabilizadoras Reyes I y II para proveer agua potable a los principales núcleos urbanísticos de la ciudad de San Salvador de Jujuy. La cuenca presenta un importante desnivel de 4.167m originando un cauce de características torrenciales y variados microclimas en función de la altitud, la exposición solar y la pendiente, influyendo todo lo anterior, en la composición, fisonomía y cobertura de la vegetación (De Paul, Neder de Román & Weigert, 2014).

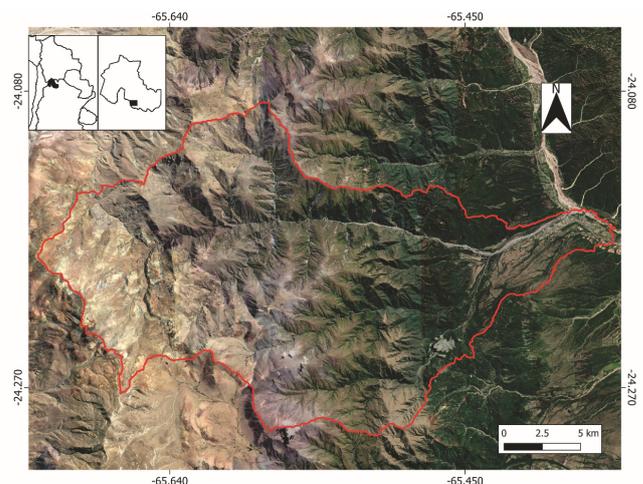
Durante las últimas décadas, el uso de la información derivada de sensores satelitales ha brindado una gran oportunidad para monitorear cambios en la vegetación a distintas escalas espaciales. La dinámica de la productividad primaria neta aérea (PPNA), asociada al desarrollo de diversas técnicas que buscan la medición temporal y espacial de la vegetación, suponen un desafío constante en la investigación a partir de técnicas de teledetección. De esta manera, los índices de vegetación se han convertido en una las principales fuentes de información para el monitoreo y la distribución espacial de la vegetación y sus variaciones. Uno de los índices que ha sido ampliamente utilizado para monitorear la cobertura vegetal, el estado de salud y la fenología de las plantas es el NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada), el cual se define como la relación de reflectancia rojo/infrarrojo cercano:  $NDVI = (qNIR - RED) / (qNIR + RED)$ . Donde qRED y qNIR representan reflectancias de superficie promediadas sobre rangos de longitudes de onda en las regiones visibles (~0,6  $\mu$ m, RED) e infrarrojo cercano (~0,8  $\mu$ m, NIR), del espectro (Carlson & Ripley, 1997).

A pesar de que la cuenca de Reyes provee servicios ecosistémicos a gran parte de la provincia de Jujuy, carece de estudios de monitoreo, tanto temporales como espaciales, de la cobertura vegetal. Por esta razón, se plantea como objetivo del presente trabajo evaluar la ganancia, pérdida o estabilidad del NDVI en la cuenca del río Reyes mediante el análisis de tendencia de Mann-Kendall, y su relación con las variables precipitación

promedio y acumulada (PP y PA), temperatura promedio (TP), amplitud térmica (AT) y temperatura de la superficie de la tierra (LST), para la época seca otoño-invernal (mayo-septiembre) entre los años 1989-2018. La serie temporal analizada se corresponde con las fechas de las imágenes satelitales disponibles con menor cobertura de nubes (.tiff), brindadas por los satélites Landsat. Las variables ambientales fueron seleccionadas de acuerdo a su disponibilidad en formato .tiff y en coincidencia con el periodo de tiempo en estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La cuenca del río Reyes, pertenece a la Cordillera Oriental y se encuentra en el departamento General Belgrano (S 24°05'21"; 24°18'02" y W 65°43'22"; 65°22'47"), posee una superficie aproximada de 450 km<sup>2</sup>, siendo su máxima elevación en el Cerro Purma a los 5.517msnm y la mínima en la desembocadura en el Río Grande, a 1.350msnm (Fig. 1). El régimen hidrológico de los ríos que la componen es predominantemente pluvial (noviembre a abril), experimentando amplias variaciones de caudal a lo largo del año. La zona en estudio se caracteriza por veranos cálidos, moderados y húmedos y por inviernos secos, oscilando las temperaturas máximas y mínimas entre los 30°C y 0°C (Braun Wilke, Santos, Picchetti, Larrán, Guzmán, Colarich & Casoli 2001). Fitogeográficamente, las nacientes de los ríos corresponden a la provincia Altoandina de la Puna norteña, mientras que la parte baja y media de la cuenca corresponde a la provincia de las Yungas (Cabrera, 1976).



**Figura 1.** Área de estudio. Cuenca del río Reyes. Departamento General Belgrano

**Datos.** La serie temporal analizada corresponde a los años 1989-2018 (30 años), para los meses mayo a septiembre (época seca otoño-invernal). Se decidió utilizar las fechas mencionadas debido a que las imágenes satelitales disponibles para el cálculo del NDVI poseen información mejorada de la radiancia del cielo despejado y cobertura de nubes (Tabla 1). De esta manera, se trabajó con 93 imágenes satelitales para el cálculo del NDVI y LST (temperatura de la superficie de la tierra) y 150 imágenes por cada variable ambiental (precipitación promedio y acumulada, amplitud térmica y temperatura promedio). Para determinar las áreas de ganancia o pérdida de NDVI en el área de estudio, se dividió la serie temporal analizada en tres periodos de 10 años cada uno: D1: 1989-1998; D2: 1999-2008; D3: 2009-2018.

**Tabla 1.** Imágenes satelitales disponibles para la obtención del NDVI. Las celdas color negro representan las fechas utilizadas para el análisis.

Año	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Misión/Sensor
1989	■		■	■	■	Landsat 4 y 5 TM
1990	■	■		■	■	
1991		■	■	■	■	
1992	■		■	■	■	
1993		■	■		■	
1994			■	■	■	
1995					■	
1996	■	■	■	■	■	
1997		■	■	■	■	
1998	■		■	■	■	
1999		■	■	■	■	Landsat 7 ETM+
2000		■	■	■	■	
2001	■		■	■	■	
2002		■	■	■	■	
2003	■		■	■	■	
2004		■	■	■	■	
2005	■		■	■	■	
2006		■	■	■	■	
2007	■		■	■	■	
2008		■	■	■	■	
2009	■		■	■	■	Landsat 8 OLI/TIRS
2010		■	■	■	■	
2011	■		■	■	■	
2012		■	■	■	■	
2013	■		■	■	■	
2014		■	■	■	■	
2015	■		■	■	■	
2016		■	■	■	■	
2017	■		■	■	■	
2018		■	■	■	■	
Total	15	17	19	25	17	93

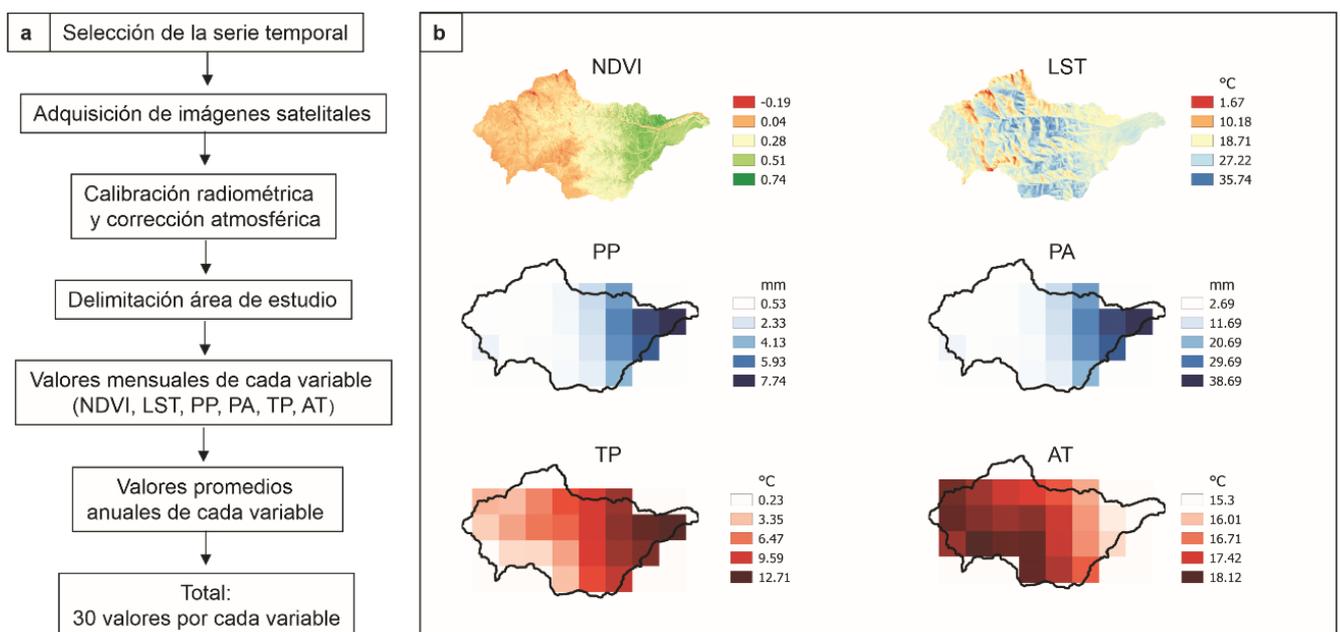
**METODOLOGÍA**

Para calcular el NDVI y LST se utilizó la metodología de Sobrino, Jiménez-Muñoz & Paolini, (2004), a partir de imágenes satelitales proporcionadas por los satélites Landsat 4 y 5 Thematic Mapper (TM), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) y Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) / Thermal Infrared Sensors (TIRS), descargadas gratuitamente del sitio web de USGS earth explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Las imágenes Landsat, poseen una resolución espacial de 30 m, a la vez que el tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur y 183 km de este a oeste. Los datos de precipitación promedio y acumulada (PP y PA), temperatura promedio (TP) y amplitud térmica (AT) fueron obtenidos en formato GeoTiff (.tiff) desde <https://worldclim.org/>, los cuales presentan una resolución espacial de 2,5 minutos (~ 21 km<sup>2</sup>) (Harris, Jones, Osbron & Lister, 2014). Todos los datos utilizados estuvieron georreferenciados en el sistema de coordenadas WGS 84 – EPSG: 4326.

Para cada año de la serie temporal, se obtuvo el promedio de las variables (NDVI, LST, PP, PA, TP y AT) de la siguiente manera: 1) selección de la serie temporal; 2) adquisición de las imágenes satelitales; 3) calibración radiométrica y corrección atmosférica, para trabajar con los valores de reflectividad de la superficie; 4) delimitación del

área de estudio con el fin de trabajar solamente con los valores correspondientes dentro de la misma; 5) se calculó el valor de cada una de las variables para cada mes; 6) por último, se obtuvo el promedio anual de cada variable (Fig. 2a).

Se utilizó el software QGIS para el análisis espacial y temporal, a partir de herramientas creadas para realizar cálculos estadísticos dentro del polígono correspondiente al área en estudio. Además, mediante el mismo software, se procesaron y corrigieron las imágenes satelitales (NDVI y LST) proporcionadas por los diferentes satélites para poder combinarlas y compararlas entre sí: corrección geográfica y geométrica; estandarización de la extensión (norte, sur, este y oeste) y del número de filas y columnas. Debido a que las variables ambientales PP, PA, TP y AT presentan una resolución espacial distinta a la del NDVI y LST, y por lo tanto no comparables entre sí en número y tamaño de píxeles, se procedió a obtener un único valor promedio anual para cada una de ellas (30 valores promedios anuales del NDVI y 30 valores promedios anuales para cada una de las variables ambientales) (Fig. 2b). De esta manera, se analiza la influencia que ejerce cada variable ambiental sobre el NDVI en 30 años de estudio.



**Figura 2.** a) Diagrama que describe los pasos para la obtención de valores promedios anuales de las variables; b) Valores promedios anuales para el año 2018.

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La determinación de ganancia o pérdida del NDVI se realizó mediante la prueba de tendencia no paramétrica de Mann-Kendall. El coeficiente de correlación de Mann-Kendall, es una hipótesis no paramétrica utilizada para probar la dependencia estadística de las observaciones de dos variables aleatorias X y Y. Con un rango de -1 a 1,  $\tau = 1$  significa una tendencia en aumento constante, mientras que  $\tau = -1$  significa una tendencia en disminución constante (Hirsch y Slack 1984). De acuerdo al valor de  $\tau$  obtenido, se establecieron 5 categorías de tendencia de NDVI: pérdida elevada (PE), pérdida leve (PL), estable (E), ganancia leve (GL) y ganancia elevada (GE). Luego, se calculó el área de tendencia en función de las categorías establecidas. Se realizó un análisis de correlación lineal para determinar el grado de dependencia o relación entre el NDVI y las variables en cuestión. Dicho análisis proporciona un coeficiente de correlación (coeficiente de Pearson), el cual representa una medida de dependencia lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. Los análisis de tendencia de Mann-Kendall y de correlación lineal fueron llevados a cabo mediante la elaboración de modelos con el programa Rstudio (R Development Core Team, 2019).

### RESULTADOS

Las regiones de con tendencia de ganancia, pérdida o estabilidad del NDVI para la serie temporal comprendida entre los años 1989-2018 en la cuenca del río Reyes, se presentan en la figura 3. Durante la primera década de estudio (D1: 1989-1998), se observa que las regiones en las cuales el NDVI manifestó una tendencia a permanecer estable (E) ocuparon un área de 300,04 km<sup>2</sup>, la cual disminuyó progresivamente en las siguientes dos décadas (D2: 219,37 km<sup>2</sup> y D3: 97,51 km<sup>2</sup>). Contrariamente, las regiones que presentaron pérdida elevada (PE) de NDVI mostraron un aumento de área a lo largo de la serie temporal (D1: 0,3 km<sup>2</sup>; D2: 5,98 km<sup>2</sup>; D3: 12,89 km<sup>2</sup>). La categoría PL demostró un aumento desde D1 a D2 (57,97 y 219,37 km<sup>2</sup>, respectivamente) y una disminución hacia D3 (108,59 km<sup>2</sup>). Tanto GL como GE disminuyeron de D1 a D2 (GL: de 96,59 a 42,22 km<sup>2</sup>; GE: de 1,53 a 0,75 km<sup>2</sup>) y aumentaron hacia D3 (GL: 200,21 km<sup>2</sup>; GE: 37,21 km<sup>2</sup>).

En la figura 4 se observan los gráficos correspondientes al análisis de correlación lineal del NDVI en función de las variables ambientales (LST, PP, PPA, AT y TP). Los bajos valores del coeficiente de correlación Pearson (R) indicarían

que la variabilidad total del NDVI está explicada en porcentajes muy bajos por su interacción con las variables ambientales. Sin embargo, un coeficiente de 0,7 puede ser importante o no dependiendo de las circunstancias. En cualquier caso, una correlación significativa jamás es prueba de causalidad (Dagnino, 2014). El LST disminuye casi linealmente en función del NDVI durante el periodo de estación seca considerada, presentando un  $R = -0,4$  (Fig. 4a). Las variables PP y PPA fueron las que mayor influencia ejercieron sobre el NDVI, manifestando en ambos casos una relación positiva, con un  $R = 0,32$  (Fig. 4b y 4c). Por otro lado, la AT ejerció un efecto negativo sobre el NDVI con un  $R = -0,29$  (Fig. 4d), mientras que, en función de la TP, dicho índice, respondió de manera contraria con un  $R = 0,14$  (Fig. 4e).

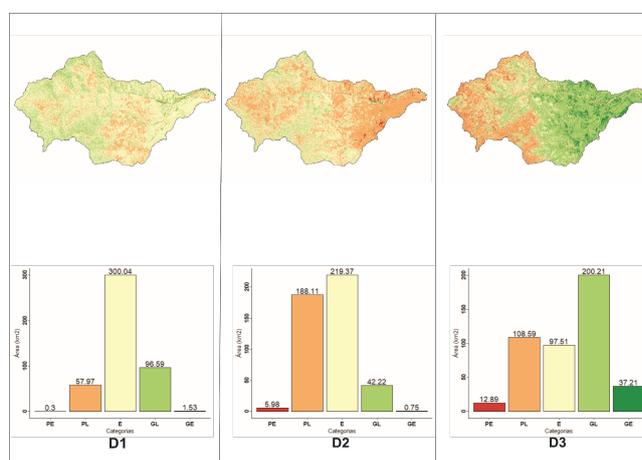


Figura 3. Tendencia de Mann-Kendall - NDVI Cuenca del río Reyes, D1:1989-1998, D2:1999-2008, D3: 2009-2018 y Gráfico de barras: Área (km<sup>2</sup>) de tendencia en función de la categoría (PE, PL, E, GL, GE).

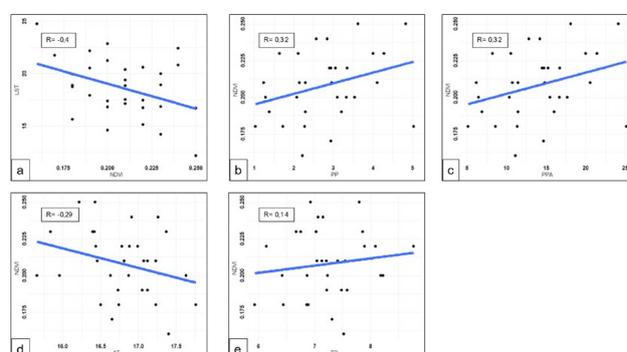
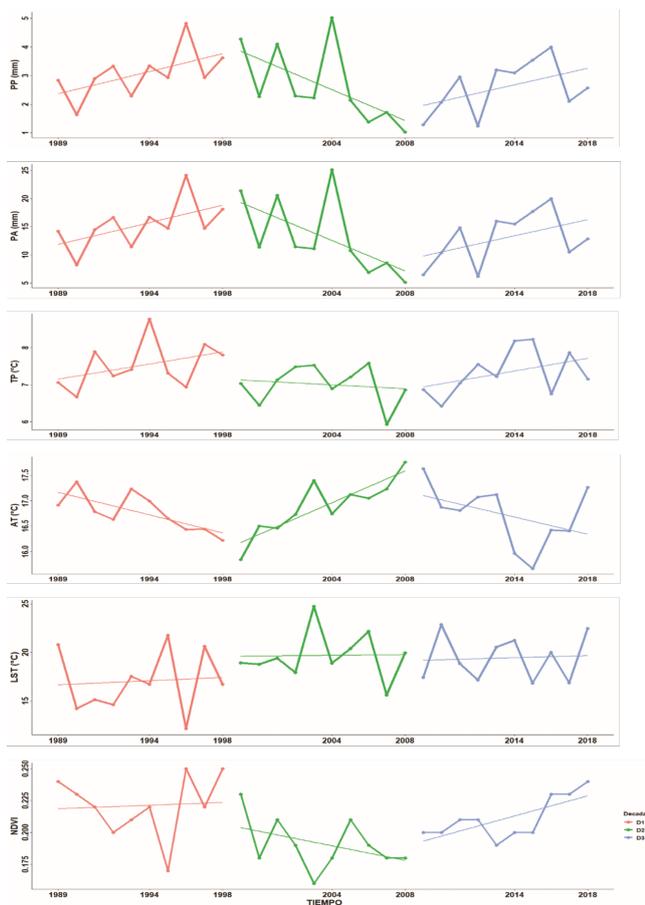


Figura 4. Análisis de correlación lineal. a) temperatura de la superficie de la tierra en función del NDVI; NDVI en función de: b) precipitación promedio, c) precipitación acumulada, d) amplitud térmica y e) temperatura promedio.



**Figura 5.** a) Valores del promedio anual del NDVI y de las variables ambientales en función de la serie temporal. Cada recta representa la regresión lineal de cada variable en función de la década en estudio.

Los valores promedios anuales del NDVI y las demás variables, considerando la serie temporal completa, se observan en la figura 5. Los años 1995 y 2003 presentaron los menores valores promedios de NDVI de toda la serie (0,19 y 0,16, respectivamente), seguidos en ambos casos por un aumento considerable de la PA (14,7mm – 24,13mm y 11mm – 25,13mm, respectivamente) y PP (2,94mm – 4,83mm y 2,22mm – 5,03mm, respectivamente) al año siguiente. Además, en el año 2003 se registró el mayor valor promedio de la LST (24,64 °C). En la D2 se presentan los menores registros promedios anuales de NDVI, demostrando una tendencia de disminución a lo largo de la década. La PP y la PA mostraron un patrón de disminución similar al del NDVI. Contrariamente, el valor promedio de la AT manifestó una tendencia de aumento desde el inicio de la década hasta el final de misma. La D3 presentó una tendencia de ganancia en aumento del promedio anual del NDVI, de la misma manera que la PP y la PA, mientras que el valor promedio de la AT siguió una tendencia de disminución.

## DISCUSIÓN

En este estudio se analizó la tendencia de ganancia, pérdida o estabilidad del NDVI en la cuenca del río Reyes para la época seca (mayo-septiembre) entre los años 1989 – 2018 (30 años), caracterizando la escala temporal en 3 décadas. Entre 1999 y 2008 (D2), la categoría Pérdida Leve de vegetación (PL) incrementó notablemente su área con respecto a la década anterior (1989-1998). La mayor parte de esta pérdida de vegetación se localizó en las partes bajas de la cuenca, donde se encuentran la ciudad de Reyes y zonas de cultivo. Jurado S. (2010), quien evaluó la gestión hídrica de la sub - cuenca Guerrero (ubicada dentro de la cuenca del río Reyes), registró un crecimiento poblacional y un aumento de la demanda del agua entre los años 2006 y 2010. Por otro lado, Gaitán, Brand y Azcona (2015) calcularon, mediante imágenes satelitales, la tendencia del NDVI para los años 2000-2014 del territorio argentino y observaron un aumento de 31,4% en la Puna jujeña y una disminución del 39,7% en el norte de la Patagonia, en el Chaco Seco y en la selva de las Yungas, coincidiendo esto último con las áreas de la cuenca de Reyes donde la vegetación natural ha sido reemplazada por urbanización y cultivos anuales. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el presente trabajo para la década 1999-2008 (D2), en la cual se observó una disminución del NDVI en la parte baja (ecorregión de las Yungas) y un aumento del mismo en las partes más elevadas (ecorregión de la Puna) de la cuenca.

En los años 1995-1996 y 2003-2004 se registraron dos grandes periodos de sequías que afectaron gran parte de la Argentina, principalmente el Centro oeste de la provincia de la Pampa y en menor medida al NOA (Alessandro A., 2008; Scarpati & Capriolo, 2013; Real Ortellado, 2020). Este periodo coincide con los bajos valores de promedios anuales de NDVI obtenidos en este trabajo para los años 1995 y 2003. Para comprender la relación entre el NDVI y las variables climáticas, en especial con las precipitaciones, Zerda y Tiedermann (2010) argumentan que debe tomarse en cuenta la estacionalidad de la vegetación, debido a que el impacto de la disponibilidad de agua sobre la vegetación cambia considerablemente entre periodos fenológicos. En este sentido, De la Casa y Ovando (2006), plantean que la disponibilidad de agua en el suelo podría resultar más apropiado para evaluar los cambios estacionales de la vegetación, ya que, al comenzar la época de sequía, las plantas que poseen un sistema radical profundo pueden

continuar realizando una elevada fotosíntesis extrayendo el agua subterránea, mientras que en las plantas con raíces más superficiales la actividad fotosintética disminuye notablemente (Iglesias, Barchuk & Grilli, 2010).

La correlación negativa entre las variables LST-NDVI se debe a una disminución de la evapotranspiración de la vegetación, causada por valores bajos de la LST (Capaldo, Aguilera et al., 2021). Resultados similares registraron Gioia, Paolini, Malizia, Oltra-Carrió & Sorbino (2014) en San Salvador de Jujuy, Salta capital y San Miguel de Tucumán y Ferrelli, Cisneros, Delgado & Piccolo (2018) en el sur de Argentina. La relación entre el NDVI y la vegetación puede estar sesgada en zonas urbanas, áridas o semi áridas, donde dicho índice está influenciado principalmente por la reflectancia del suelo, y en áreas con vegetación densa, en donde la relación NDVI – NIR (infrarrojo cercano) puede saturarse (Petorelli, Mysterud, Gaillard, Tucker & Stenseth, 2006). El LST presenta una relación directa con el patrón espacial de la cubierta terrestre. En zonas urbanas del noroeste argentino (incluida la provincia de Jujuy), Gioia et al (2014) observaron que los parches de vegetación urbana más grandes son más fríos que alrededor, y que la proporción de césped, así como la estructura de la vegetación de los espacios verdes, son parámetros valiosos para reducir el LST de las áreas más densamente urbanizadas.

La precipitación y temperatura son dos de los factores ambientales que mayor influencia ejercen sobre cobertura vegetal (Serrano y otros, 2003; Maggi y otros, 2020). En este trabajo, los coeficientes de correlación de las variables ambientes precipitación (RPP= 0,32 y RPA=0,32) y temperatura (RTP=0,14 y RAT= -0,29) presentaron bajos valores con respecto al NDVI. Posiblemente, complementar los datos derivados por sensores remotos con datos obtenidos de distintas estaciones meteorológicas ubicadas en cercanías del área de estudio, podría aportar mayor información acerca de la influencia que ejercen los eventos precipitaciones y los cambios de la temperatura sobre la dinámica, estructura y actividad fotosintética de la vegetación. Además, es recomendable estudiar otras fuentes de variación, como el cambio en el uso de suelo, tipos de suelos, especies vegetales y grado de cobertura, actividades antrópicas (pastoreo, aprovechamiento forestal), como así también, series temporales más extensas y corroboraciones en terreno.

## CONCLUSIONES

En este estudio, el análisis de tendencia de Mann-Kendall permitió identificar la tendencia temporal y espacial de ganancia, pérdida y estabilidad del NDVI, como así también la interacción de este índice con las variables ambientales, en la cuenca del río Reyes. La década comprendida por los años 1999-2008 presentó un promedio muy bajo de NDVI en comparación con la década anterior (1989-1998) y posterior (2009-2018). En las partes más bajas de la cuenca, que se corresponde principalmente con zonas urbanas y de cultivo, se observan las mayores superficies con tendencia de pérdida constante de NDVI durante esta época. En los años 2003 y 1995, se registraron los menores valores promedios anuales de NDVI para toda la serie temporal. Estos valores bajos coincidieron con los grandes periodos de sequías ocurridos en los mismos años. Mientras que en los años siguientes (2004-1996), la precipitación promedio y acumulada presentaron sus máximos valores promedios. La LST fue la variable ambiental que mayor grado de correlación presentó con el NDVI. La temperatura de la superficie terrestre manifestó un comportamiento de disminución cuando aumentó la actividad fotosintética. Además, en el año 2003 se registró el mayor valor promedio anual de la LST, en coincidencia con el menor valor de NDVI promedio obtenido.

## AGRADECIMIENTOS

Centro de Estudios Interdisciplinarios de Calidad de Agua de Ambientes de Altura (CEICAAL) y Facultad de Ciencias Agrarias (FCA-UNJu).

## BIBLIOGRAFÍA

- Alessandro, A. P. (2008). Anomalías de circulación atmosférica en 500 y 1000 hpa asociada a la sequía producida en la argentina durante enero de 2003 a marzo de 2004. *Revista Brasileira de Meteorologia* (23): 12-29.
- Braun Wilke, R.H., Santos, E.E., Picchetti, L.P., Larrán, M.T., Guzmán, G.F., Colarich C.R. & Casoli, C.A. (2001). Carta de aptitud ambiental de la provincia de Jujuy. Colección Ciencia y Arte, Serie Jujuy en el presente. UNJu-REUN. Jujuy. Argentina.

- Cabrera, A. L. (1976) Regiones Fitogeográficas Argentinas, 2nd ed. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. ACME S.A.C.I., Buenos Aires.
- Capaldo Aguilera, Y. E., González Angarita, G. P. & Suárez Daza, P. A. (2021). Análisis de la cobertura vegetal en incendios forestales mediante índices espectrales: caso de estudio Cerros Orientales (Bogotá, Colombia): Español. *Avances: Investigación En Ingeniería*, 18 (1).
- Carlson, T. N. & Ripley, D. A. (1997). On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index. *Remote Sensing of Environment*, (62): 241-252.
- Dagnino, J. (2014). Correlación. *Rev Chil Anest*, 43: 150-153.
- De La Casa, A. & Ovando, G. (2006). Relación entre la precipitación e índices de vegetación durante el comienzo del ciclo anual de lluvias en la provincia de Córdoba, Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias RIA - INTA Argentina*, 35(1): 67-85.
- De Paul, M., A., Neder de Román, L., E., & Weigert, R., G. (2013). Diversidad específica y abundancia de Ephemeroptera (insecta) en la cuenca del río reyes (Jujuy-Argentina). *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 7(14): 86-91.
- Elosegi, A., Díez, J. & Pozo, J. (2007). Contribution of dead wood to the carbon flux in forested streams. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32: 1219-1228.
- Ferrelli, F., Huamantínco Cisneros, M., Delgado, A. & Piccolo, C. (2018). Spatial and temporal analysis of the LST-NDVI relationship for the study of land cover changes and their contribution to urban planning in Monte Hermoso, Argentina. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 64(1): 25-47.
- Gaitán, J., J., Donaldo Bran, D., E. & Azcona, C. (2015). Tendencia del NDVI en el período 2000-2014 como indicador de la degradación de tierras en Argentina: ventajas y limitaciones. *Agriscientia*, 32(2): 83-93.
- Gasparri, N. I. (2016). The transformation of Land-Use Competition in the Argentinean Dry Chaco Between 1975 and 2015. En J. Niewöhner, A. Bruns, P. Hostert, T. Krueger, J. Ø. Nielsen, H. Haberl, C. Lauk, J. Lutz and D. Müller (eds.). *Land Use Competition: Ecological, Economics and Social Perspectives*. pp 59-73. Springer, Berlin, Germany.
- Gioia, A., Paolini, L., Malizia, A., Oltra-Carrió, R. & Sobrino, J., A. (2014). Size matters: vegetation patch size and surface temperature relationship in foothills cities of northwestern Argentina. *Urban Ecosyst*, 17(1).
- Harris, I., Jones, P. D., Osborn, T. J. & Lister, D. H. (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34: 623-642.
- Hirsch, R & Slack, J. (1984). Non-Parametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, 20: 727-732.
- Iglesias, M. R., Barchuk, A. & Grilli, M. P. (2010). Dinámica estacional e interanual del NDVI en bosques nativos de zonas áridas argentinas Seasonal and interannual dynamics of NDVI in arid forest of Argentina. *Revista de Teledetección*, (34): 44-54.
- Jurado, S. B. (2011). Gobernabilidad e Institucionalidad para la Gestión Adaptativa del Agua, Protección y Aprovechamiento de los Sistemas Hídricos en la Sub Cuenca del Río Guerrero de la Provincia de Jujuy - ARGENTINA. (Tesis de Maestría). Universidad Internacional de Andalucía Sede Iberoamericana Santa María de La Rábida - España.
- Maggi, A. E., Ponieman, K. D., Castro, N. G. & Di Fernando, M. (2020). Dinámica del NDVI en distintas fases del fenómeno ENSO en la Reserva de Biósfera Laguna Blanca (Catamarca, Argentina). *Ecología Austral*, (30):151-164.
- Miserendino, M., Casaux, R., Archangelsky, M., Di Prinzi, C., Brand, C. & Kutschker, A. (2011). Assessing land-use effects on water quality, in-stream habitat, riparian ecosystems and biodiversity in Patagonian northwest

streams. *Science of the total environment*, 409: 612-624.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for sustainable development*. A/RES/70/1. Recuperado de: URL: [tinyurl.com/z4o6pk4](http://tinyurl.com/z4o6pk4).

Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, A. M., Tucker, C. O. & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *TRENDS in Ecology and Evolution* (20) 503-510.

R Development core Team. (2019). *The R Project for Statistical Computing* (Version 3.6.1). <http://www.r-project.org/>

Real Ortellado, M. (2020). Incendios, inundaciones y sequías en la pampa entre 1998 y 2018. una mirada desde la perspectiva del riesgo y desastre ambiental. *SEMIÁRIDA Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 30 (2): 1936.

Scarpatti, O. E. & Capriolo A. D. (2013). Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 82: 38-51.

Serrano, S. M. V., Lasanta, T. & Romo, A. (2003). Diferencias espaciales en la cuenca alta del Aragón: efectos de los cambios de uso del suelo. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 29: 51-66.

Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C. & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90: 434-440.

Zerda, H. R. y Tiedermann, J. L. (2010). Dinámica temporal del NDVI del bosque y pastizal natural en el Chaco Seco de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, 6(1): 13-24.

