

Series:
Comunicaciones Técnicas
ISSN 1667-4014

COMUNICACIÓN TÉCNICA N°140
Área Recursos Naturales
Pastizales Naturales

SIMPAT
Sistema de Monitoreo de Pastizales y Alerta
Temprana:
Dinámica y Prospectiva de la productividad de
los pastizales en los departamentos Añelo y
Confluencia, Neuquén
Informe I - JULIO 2020

Easdale, M.; Bruzzone, O.; Umaña, F.; Marciani, S.N.;
Aramayo, V.; Fariña, C.M.; Castillo, D.; Raffo, F.

2020

■ **Ediciones**

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Centro Regional Patagonia Norte
Estación Experimental Agropecuaria Bariloche. "Dr. Grenville Morris"
biblioteca@bariloche.inta.gov.ar





Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

SIMPAT

**Sistema de Monitoreo de Pastizales y Alerta Temprana:
Dinámica y Prospectiva de la productividad de los pastizales en los
departamentos Añelo y Confluencia, Neuquén**

Informe I - JULIO 2020

**Easdale M.H., Bruzzone O., Umaña F., Marciani S.,
Aramayo V., Fariña C., Castillo D., Raffo F.**

Convenio 27372-1460-INTA-HALKIS

Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (IFAB)

INTA Bariloche – CONICET

Av. Modesta Victoria 4450 (8400),

San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina



El presente es el primer informe de caracterización, estado de situación y prospectiva de la productividad de los pastizales del área de estudio de los departamentos Añelo y Confluencia, provincia de Neuquén. Se enmarca en el convenio de colaboración técnica entre INTA y la Consultora Halkis N°27372-1460.

Síntesis del estado de situación en el área de trabajo de los departamentos Añelo y Confluencia, Neuquén

- La productividad de pastizales muestra una tendencia cíclica dominante de recaída incipiente, con zonas de recaída avanzada, principalmente al Norte de la localidad de Añelo y al sur de San Patricio del Chañar. A su vez, en la ladera occidental de la meseta de Chihuidos, se observa una recaída avanzada y zonas con recuperación incipiente de la productividad (Fig. 1). El movimiento actual de la productividad está en niveles bajos, marcado por un ritmo de cambio dominado por un declive lento o crecimiento acelerado, desde valores mínimos recientes debajo del promedio histórico (Fig. 2). Las estimaciones de evolución futura registran que, para alcanzar nuevamente el valor promedio histórico, se necesitarán predominantemente tres años, y en algunos casos hasta cinco años, como en el departamento Confluencia (Fig. 3).
- La excepción se observa en la ladera oriental de la meseta de Chihuidos, también con un declive lento, pero con valores de productividad por encima del promedio histórico (Fig. 2). En este caso se requerirían tres años para alcanzar el valor promedio (Fig. 3), y entre tres y cinco años para alcanzar valores mínimos (Fig. 4).
- Se determinaron cuatro arquetipos funcionales de la vegetación (ver Anexo I). Uno de ellos estuvo vinculado con la dinámica de los valles irrigados (arquetipo 1; Fig. 5), mientras que otros tres referenciaron distintas zonas de la dinámica temporal de la productividad de pastizales, en el área de estudio.
- El arquetipo 2 estuvo referenciado espacialmente en las laderas orientales de la meseta de Chihuidos y de Auca Mahuida. La media móvil anual registró máximos entre los años 2000 y 2006 (fase positiva), mínimos entre 2007 y 2013 (fase negativa), recuperando posteriormente hacia valores intermedios entre ambas fases (Fig. 6.1). La evolución a largo plazo marca una transición negativa desde valores máximos alcanzados en 2017 (Fig. 6.3), con valores de mediano plazo neutros a levemente negativos (Fig. 6.2).
- El arquetipo 3 estuvo referenciado espacialmente en las laderas occidentales de la meseta de Chihuidos, en la cumbre de Auca Mahuida y en la depresión central del área. La media móvil anual registró un comportamiento levemente oscilatorio en torno a un valor promedio general (Fig. 7.1). La evolución a largo plazo marca una transición negativa desde valores máximos alcanzados a fines de 2016 (Fig. 7.3), con valores de mediano plazo negativos (Fig. 7.2), ambos confirmando el ingreso a una fase negativa actual.
- El arquetipo 4 estuvo referenciado espacialmente en el monte de baja altitud (en torno o menor a 400 m.s.n.m). La media móvil anual registró un comportamiento oscilatorio, con valores mínimos en 2012, pulsos muy positivos en 2013 y 2014 (Fig. 8.1), decayendo nuevamente en los últimos años. La evolución a largo plazo marca una transición negativa con una pendiente muy pronunciada, desde valores máximos alcanzados a fines de 2016, encontrándose actualmente en valores mínimos de toda la serie (Fig. 8.3). Los valores de movimiento de mediano plazo son preponderantemente negativos (Fig. 8.2), y confirman la ubicación en una fase negativa actual.
- En Anexo I se presenta la ubicación espacial de un total de 14 arquetipoides obtenidos en el análisis, que podrían ser sitios candidatos para instalar estaciones de evaluación de pastizales a campo.

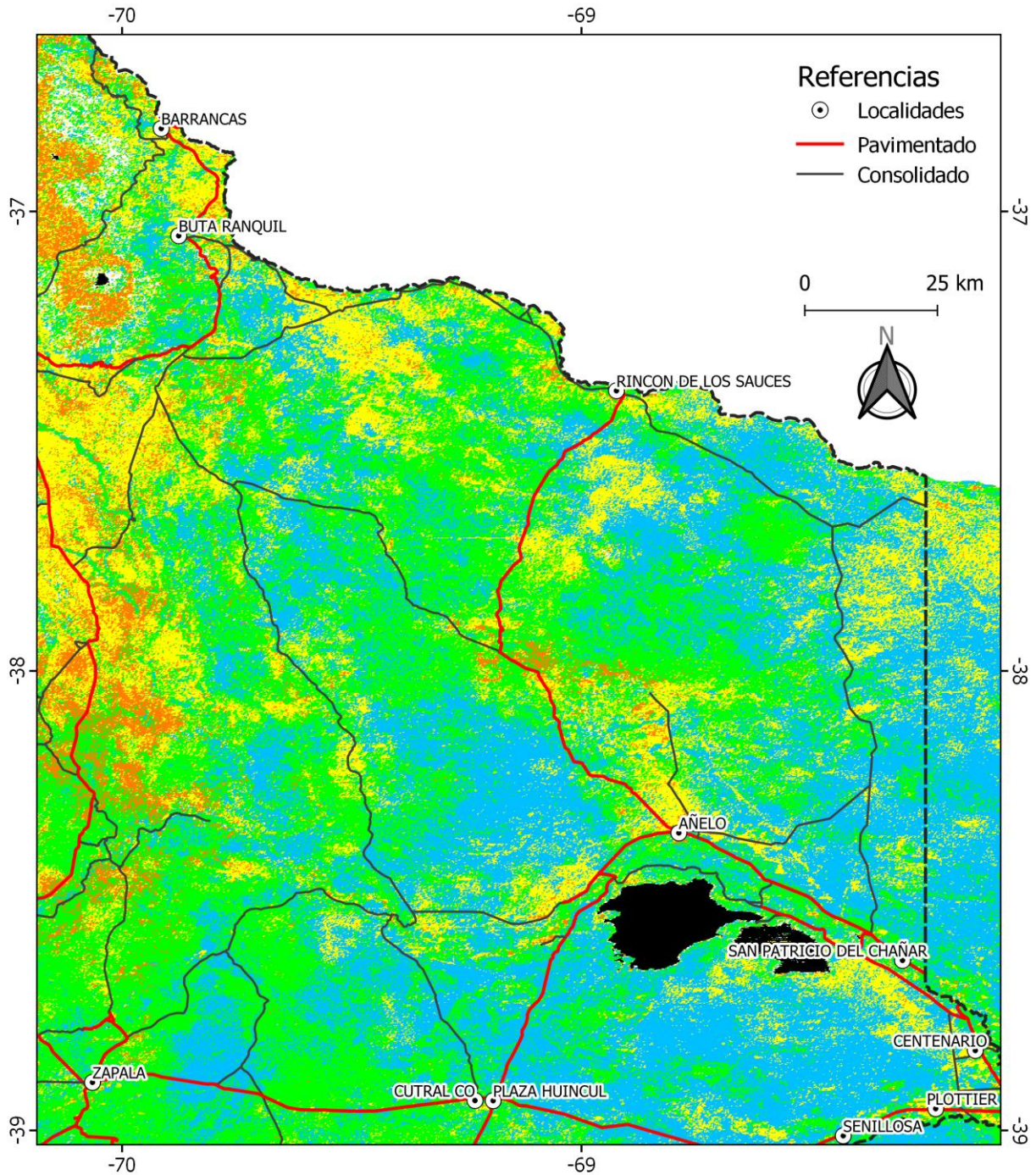


Figura 1. Tendencia cíclica en el área de estudio. Las líneas negras identifican límites de departamentos. Referencia de colores de Ciclos de Tendencia: Creciente (azul ■), Recaída Incipiente (turquesa ■), Recaída Avanzada (amarillo ■), Decreciente (rojo ■), Recuperación Incipiente (naranja ■), Recuperación Avanzada (verde ■), Sin Ciclo de Tendencia (blanco).

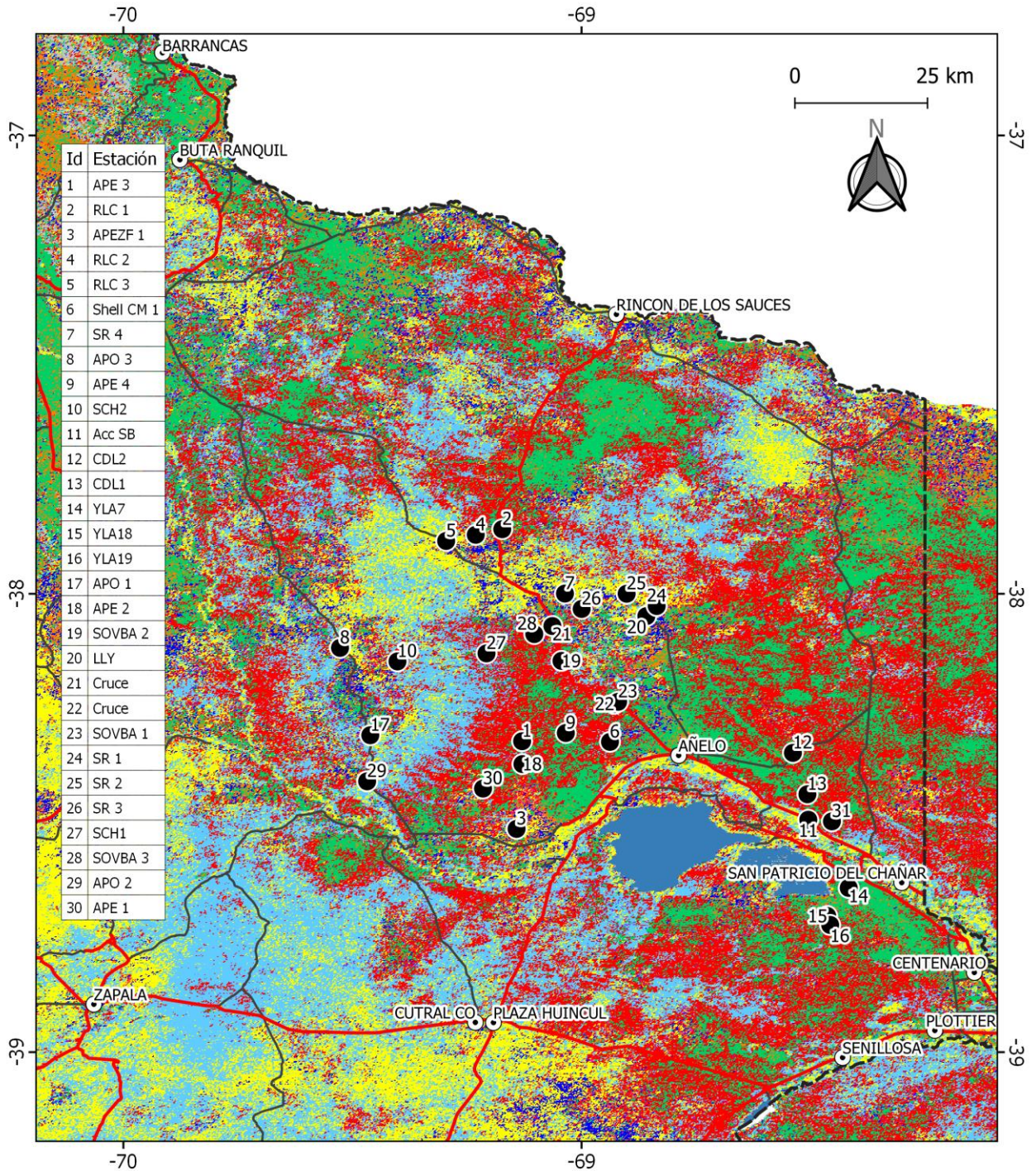


Figura 2. Ritmo de cambio de la tendencia cíclica en el área de estudio. Referencias: 1. *Valores por encima del promedio*: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, violeta ■), Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa, azul ■), Declive lento (sentido negativo y con tasa positiva, turquesa ■), Declive acelerado (sentido negativo y con tasa negativa, amarillo ■). 2. *Valores por debajo del promedio*: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, verde ■), Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa, marrón claro ■), Declive lento (sentido negativo y con tasa positiva, rojo ■), Declive acelerado (sentido negativo y con tasa negativa, magenta ■); Sin cambios (sentido neutro y tasa de cambio neutro, gris ■). El color negro indica cuerpos de agua. Los puntos negros identifican las estaciones de evaluación de pastizales (Halkis), con su respectiva identificación.

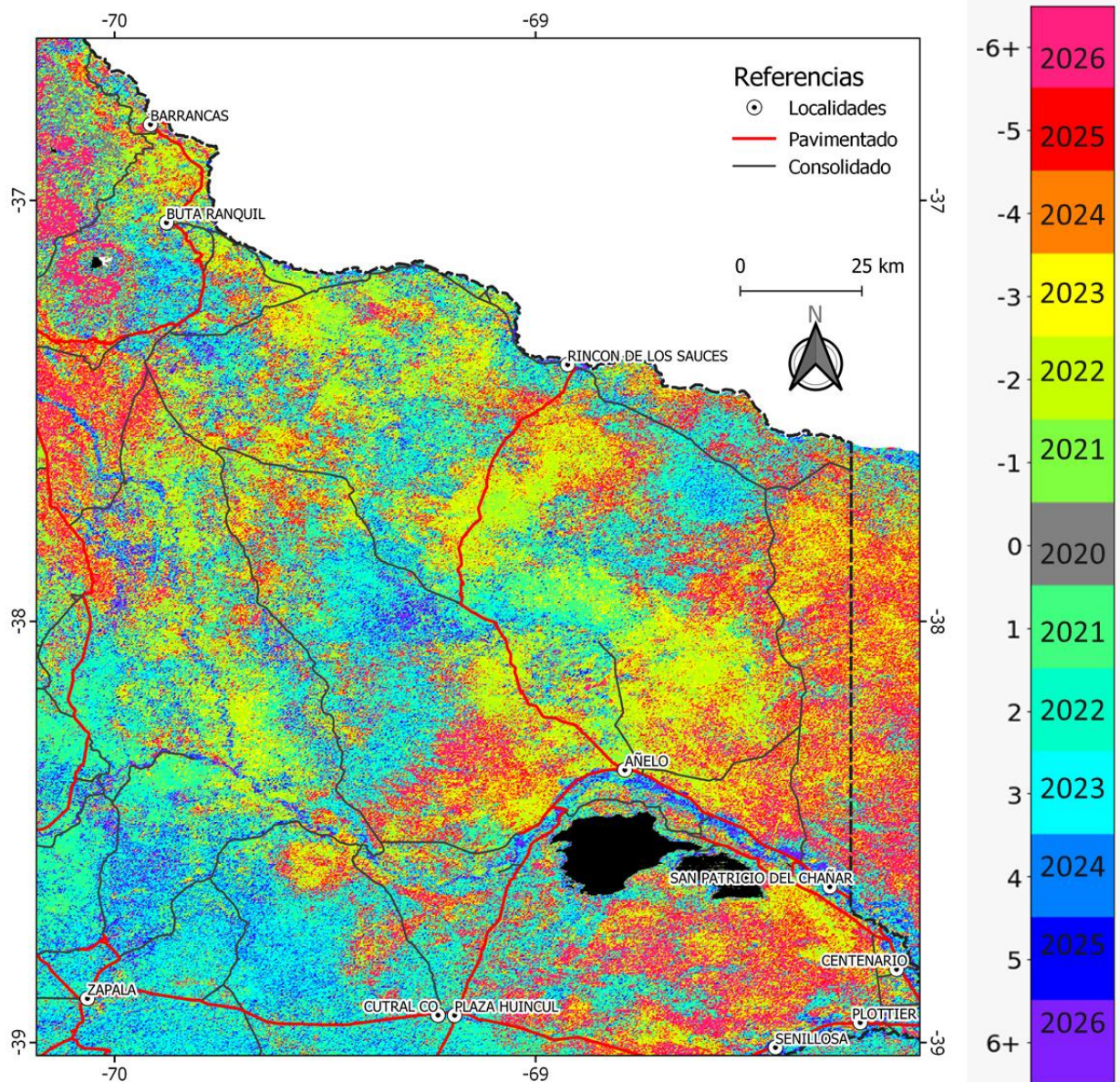


Figura 3. Tiempo estimado para cruzar el umbral del valor promedio histórico, para el área de estudio. En la leyenda de colores, los valores negativos significan los años necesarios para alcanzar el valor promedio, desde un valor actual que se ubica por debajo del mismo (con un movimiento ascendente). A la inversa, los valores positivos significan los años necesarios para alcanzar el valor promedio, desde un valor actual que se ubica por encima del mismo (con un movimiento descendente).

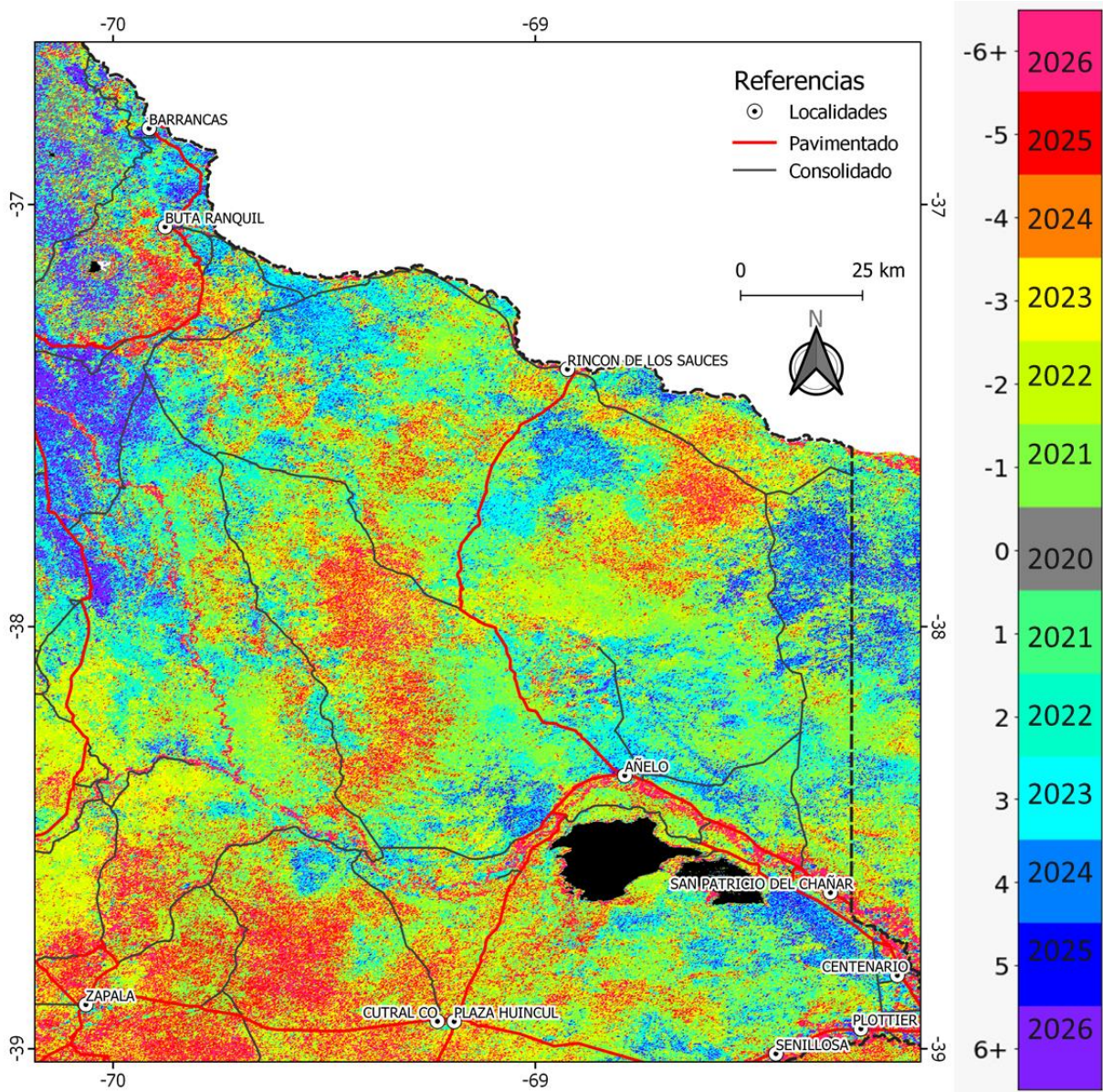


Figura 4. Tiempo estimado para alcanzar el valor máximo o mínimo, según el movimiento de largo plazo, para el área de estudio. En la leyenda de colores, los valores negativos significan los años necesarios para alcanzar un próximo valor mínimo, desde un valor actual que se ubica por encima del mismo (con un movimiento descendente). A la inversa, los valores positivos significan los años necesarios para alcanzar un próximo valor máximo, desde un valor actual que se ubica por debajo del mismo (con un movimiento ascendente).

Escenarios por arquetipos de funcionamiento de pastizales en el área de estudio

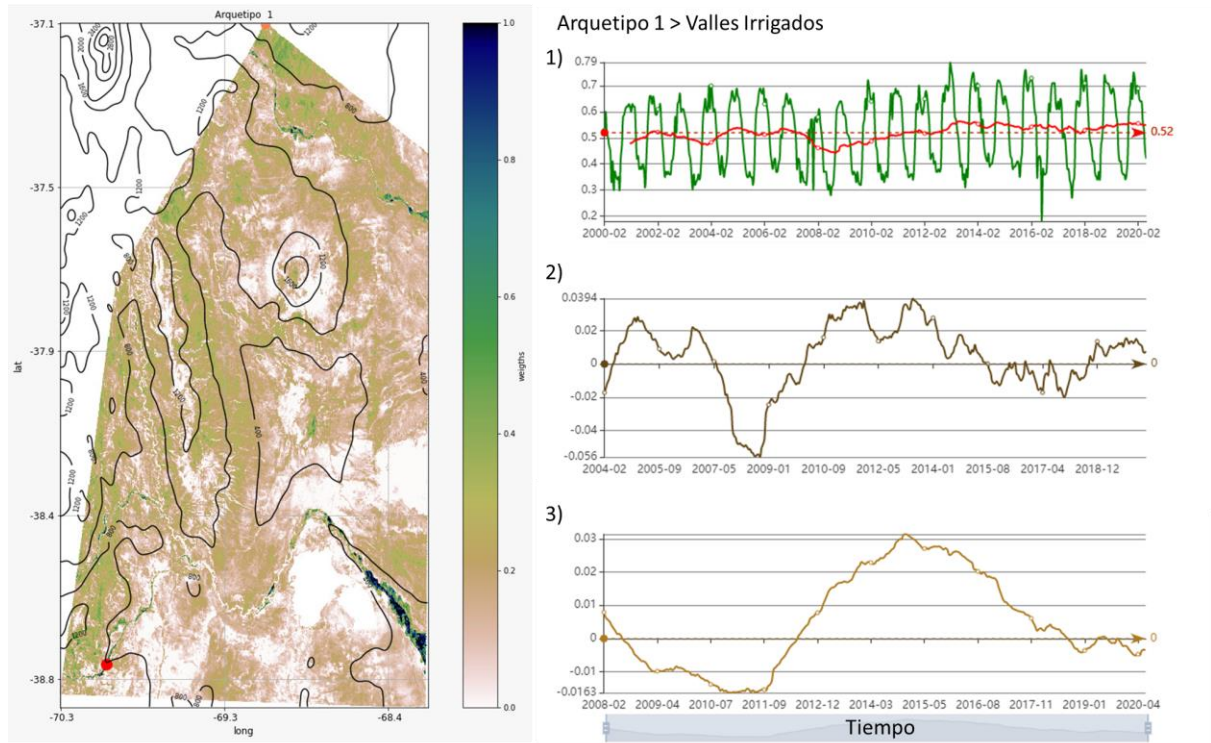


Figura 5. Ubicación geográfica del pixel más representativo del arquetipo 1 y análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años).

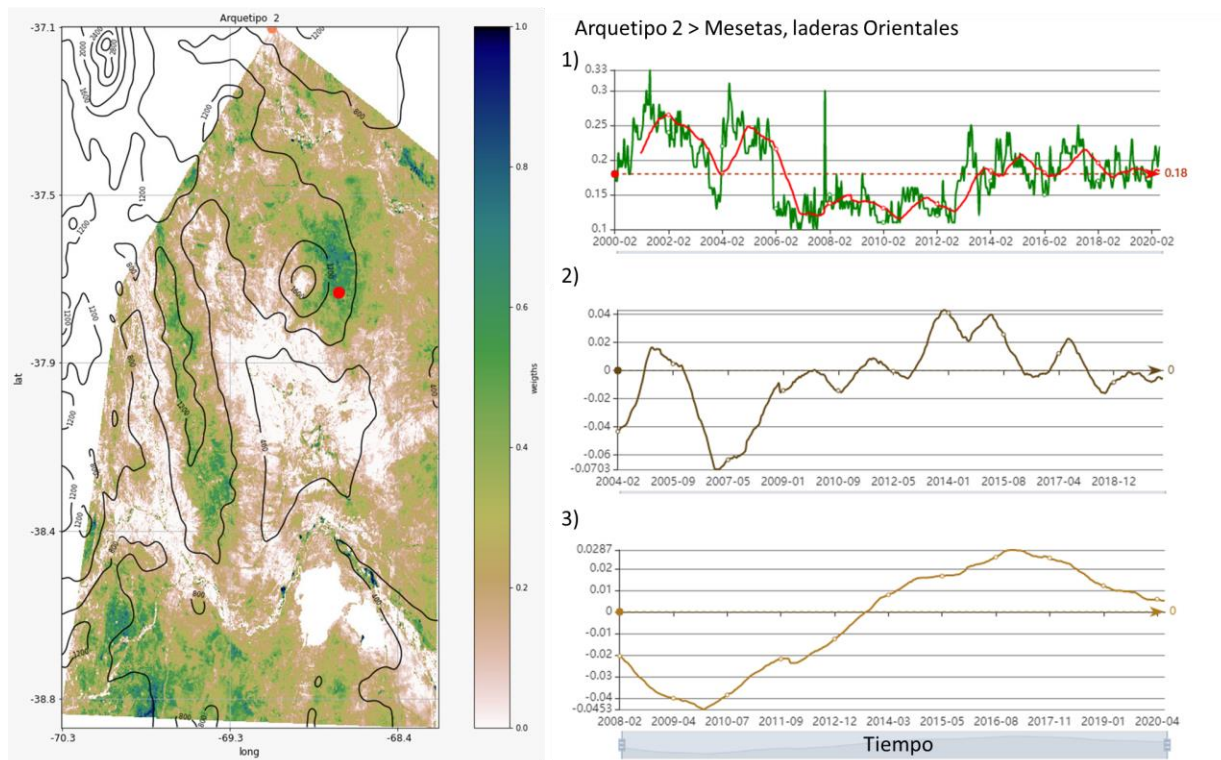


Figura 6. Ubicación geográfica del pixel más representativo del arquetipo 2 y análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años).

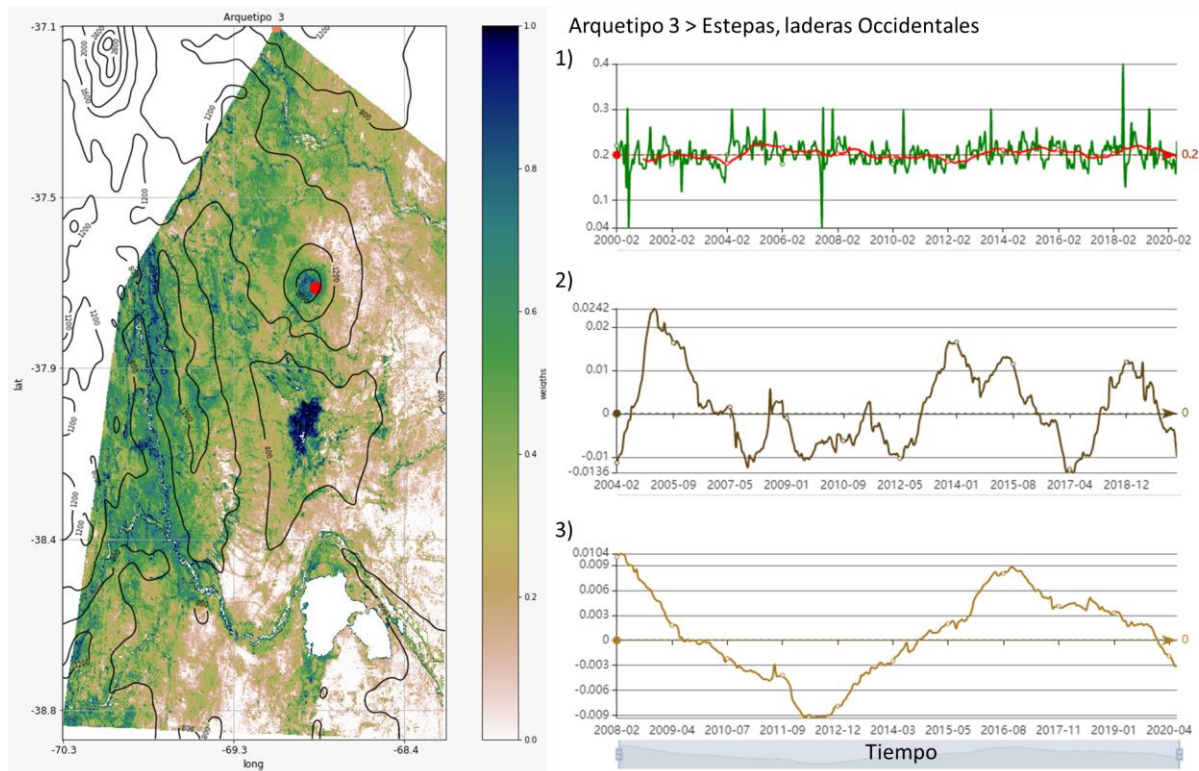


Figura 7. Ubicación geográfica del pixel más representativo del arquetipo 3 y análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años).

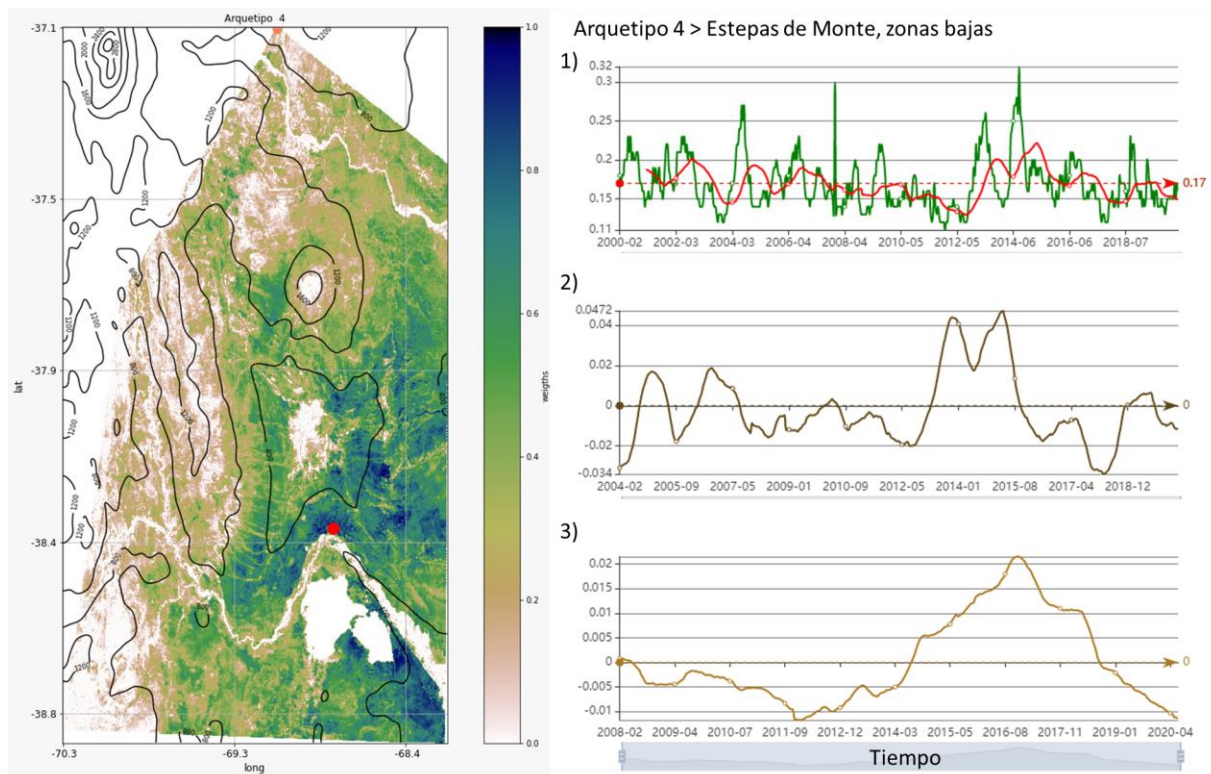


Figura 8. Ubicación geográfica del pixel más representativo del arquetipo 4 y análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años).

Información sobre algunas estaciones de evaluación de pastizal predefinidas

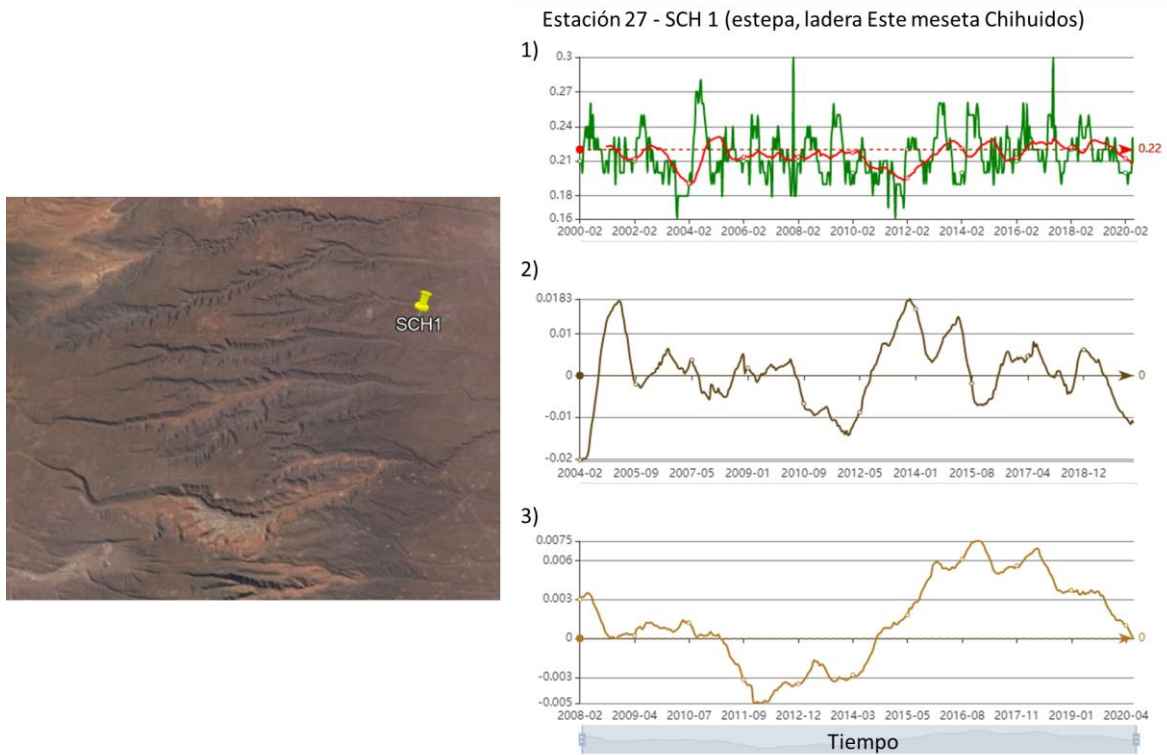


Figura 9. Ubicación geográfica de la estación de evaluación de pastizal SCH1 y análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años).

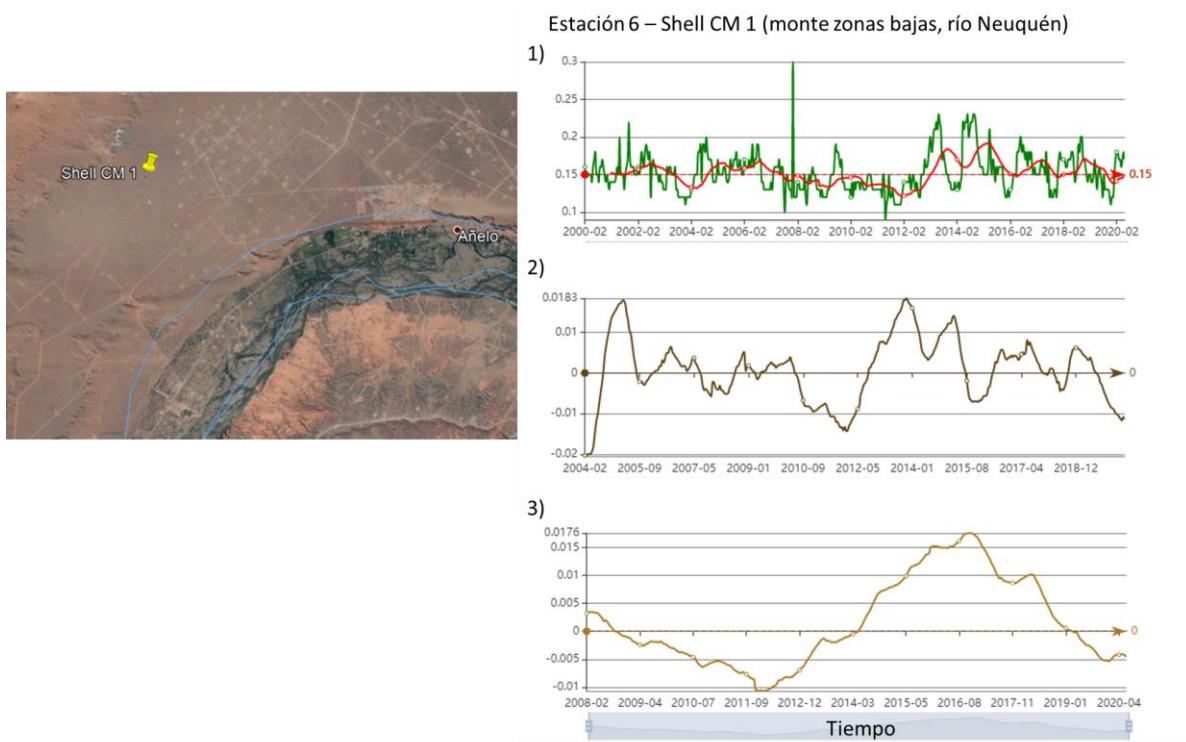


Figura 10. Ubicación geográfica de la estación de evaluación de pastizal Shell CM1 y análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años).



Estación 2 – RLC 1 (estepas subida Oeste Auca Mahuida)

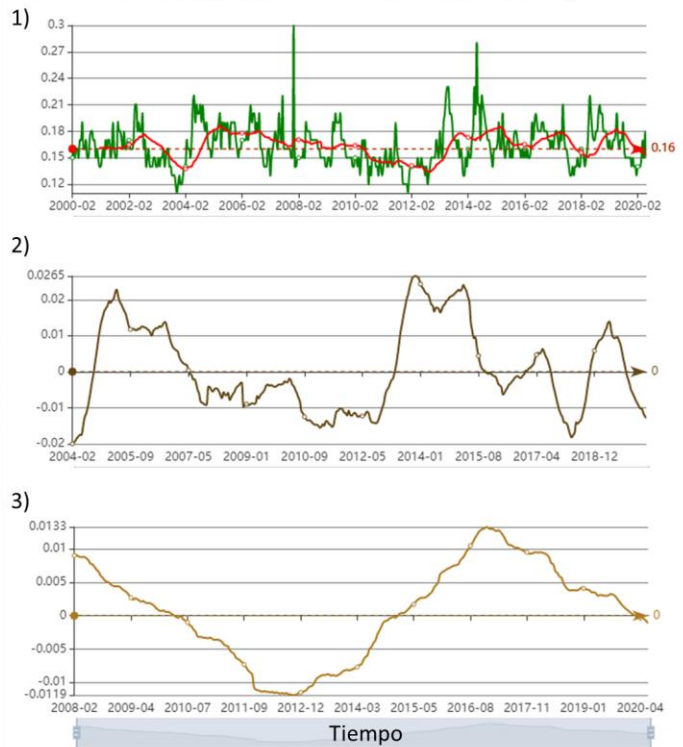


Figura 11. Ubicación geográfica de la estación de evaluación de pastizal RLC1 y análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años).

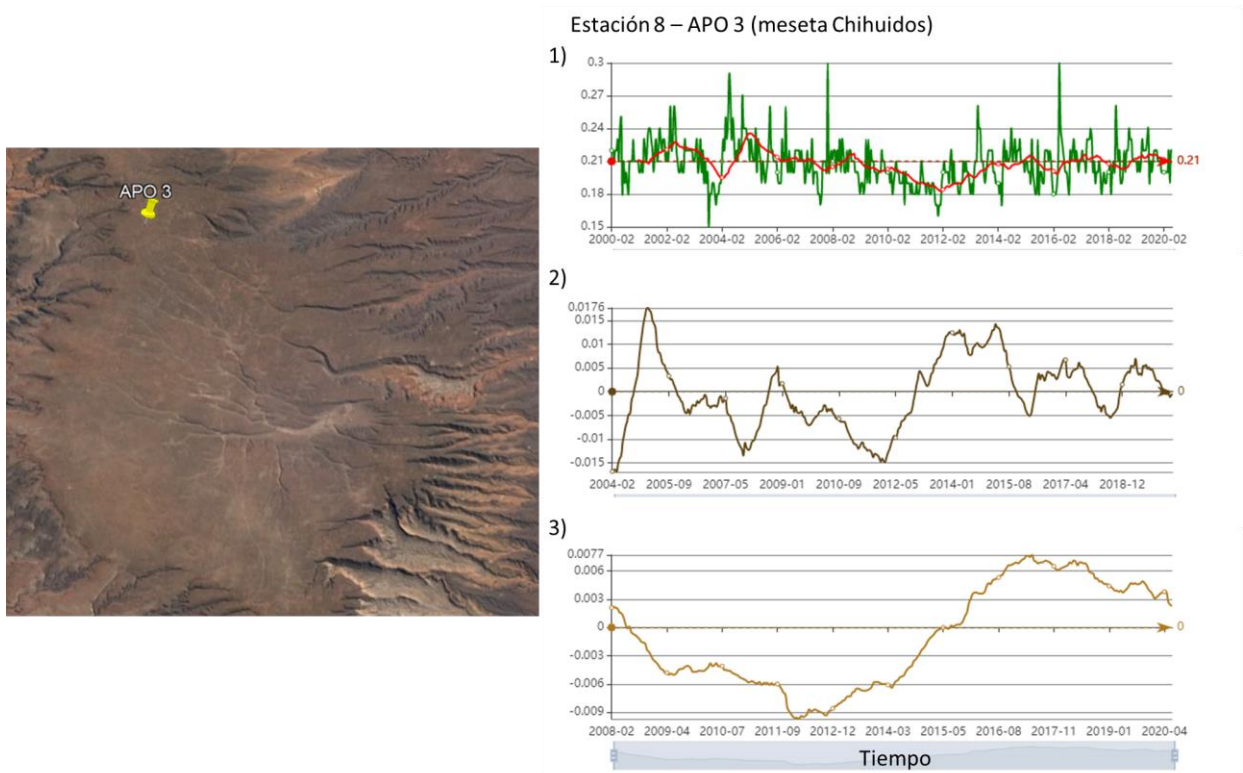


Figura 12. Ubicación geográfica de la estación de evaluación de pastizal APO3 y análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años).

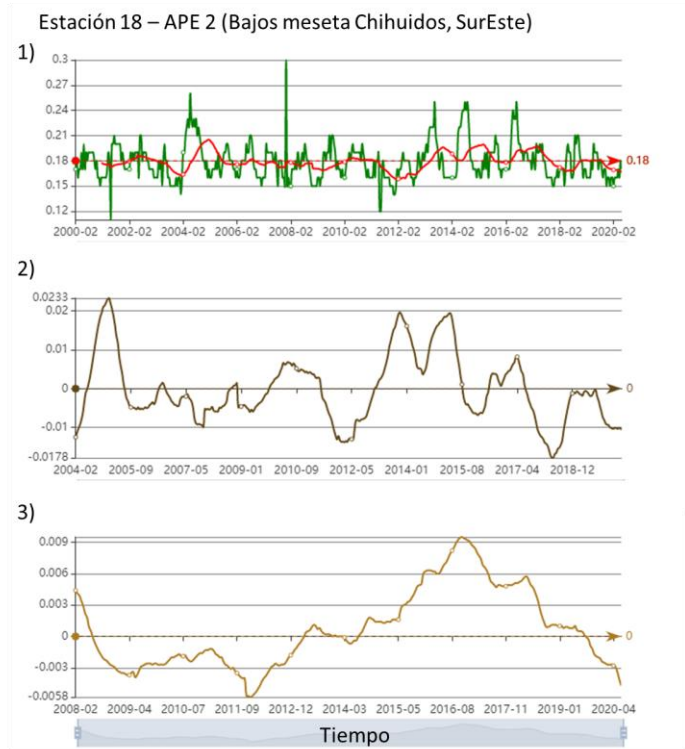


Figura 13. Ubicación geográfica de la estación de evaluación de pastizal APE2 y análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años).



ANEXO I

Arquetipoides obtenidos en los análisis. Constituyen píxeles representativos de cada arquetipo, respectivamente. Se presenta su ubicación espacial (Longitud y Latitud, Fig. 14) y la correlación con el arquetipo respectivo (R2). Las ubicaciones de los arquetipoides podrían ser utilizada para instalar estaciones de evaluación de pastizales a campo.

Arquetipo 1 Longitud -38.75 latitud -70.03173912380815 [R2 0.9686757792677555]

Arquetipo 2 Longitud -37.76666666666666 latitud -68.71869651697075 [R2 0.9236401724605193]

Arquetipo 3 Longitud -37.74583333333333 latitud -68.88114111270303 [R2 0.2935809292662506]

Arquetipo 4 Longitud -38.33125 latitud -68.79392433668113 [R2 0.8963858532277822]

Arquetipoides (Versión 2. Análisis más desagregado del área de estudio)

Arquetipo 2.1 Longitud -38.36875 latitud -69.91369566912961 [R2 0.7299000650960841]

Arquetipo 2.2 Longitud -38.4625 latitud -69.12645864807494 [R2 0.9235049140304276]

Arquetipo 2.3 Longitud -37.70625 latitud -69.08923138273633 [R2 0.9186401271096164]

Arquetipo 2.4 Longitud -37.791666666666664 latitud -68.19886000351313 [R2 0.9105912659727847]

Arquetipo 2.5 Longitud -38.74583333333333 latitud -69.73382231348565 [R2 0.9546830079943343]

Arquetipo 2.6 Longitud -38.489583333333336 latitud -69.45053783347721 [R2 0.04654058751752292]

Arquetipo 2.7 Longitud -38.38333333333333 latitud -68.93910990471788 [R2 0.9714248840669112]

Arquetipo 2.8 Longitud -38.27916666666667 latitud -68.40484327982749 [R2 0.926611302941817]

Arquetipo 2.9 Longitud -38.70625 latitud -68.189489505797 [R2 0.9750203495970415]

Arquetipo 2.10 Longitud -38.72291666666667 latitud -70.20813317183394 [R2 0.7797369146502982]

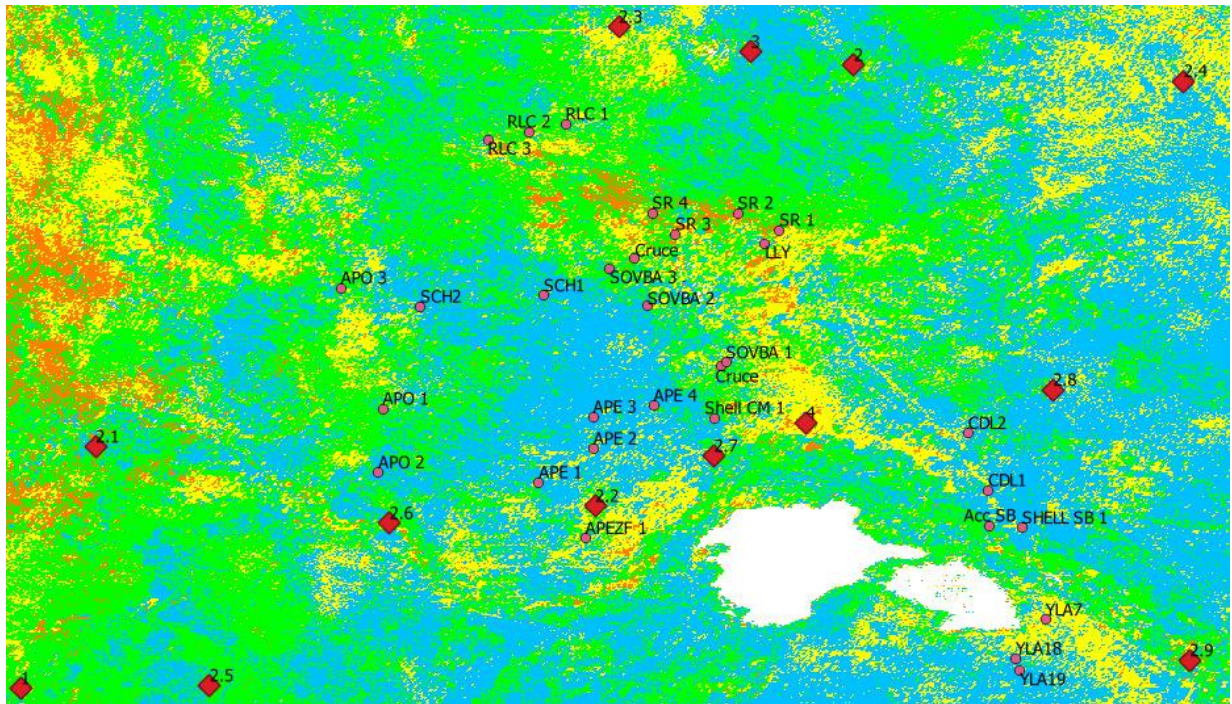


Fig. 14. Ubicación espacial de estaciones de evaluación de pastizales definidas por Halkis (círculos rosados) y de los arquetipoides (rombos rojos).



ANEXO II

Metodología

La información fue analizada para toda el área de trabajo y se presenta en un mapa que representa el Ritmo de Cambio de la Tendencia Cíclica, y que denota la dirección y velocidad del movimiento reciente, pero considerando el mediano plazo (Figs. 1 y 2).

Fuente de datos

Se utilizaron datos de imágenes MODIS (producto MODIS13Q1) para el período temporal febrero 2000 - marzo 2020 (frecuencia de datos cada 16 días y píxel de resolución espacial de 6,25ha). Se calculó el NDVI mediante la siguiente ecuación (Ec.1):

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

donde NIR y R son la reflectancia superficial de la tierra centrada en las porciones 858 nm (infrarrojo cercano) y 648 nm (visible) del espectro electromagnético, respectivamente. El pre-procesamiento de información se realizó siguiendo el procedimiento efectuado por Easdale et al. (2018).

Filtrado de las series

Con las series de NDVI, se procedió a realizar un filtrado de paso bajo por medio de wavelets. La serie de valores de cada píxel fue descompuesta en una serie de átomos de gabor (funciones sinusoidales localizadas en el tiempo por medio de una ventana gaussiana), por medio del algoritmo *Basis Pursuit* (Chen, 2001). La secuencia de átomos así obtenidos fue filtrada, por medio de la eliminación de los átomos cuya frecuencia fuese mayor a 1/4 años, y luego se reconstruyó la serie con los átomos remanentes, de manera que sólo quedase variabilidad de mediano-largo plazo. Dicha información representa la tendencia y el ciclo de tendencia (tendencia más ciclos de más de 4 años). El filtrado y reconstrucción de la serie fue realizada por medio del software *gpu_pursuit* versión 0.02 (Bruzzone y Easdale, 2018).

Clasificación de la tendencia cíclica de NDVI

Se definieron siete clases de Tendencia Cíclica, estadísticamente significativas, en función de la posición de los máximos y/o mínimos locales de la serie filtrada (Fig. 15). Las secuencias temporales de las tendencias cíclicas conforman dos fases. Una positiva asociada a valores recientes cercanos a máximos, conformada por la Recuperación Avanzada y Recaída Inicial; otra negativa asociada a valores recientes cercanos a mínimos, conformada por Recaída avanzada y Recuperación inicial (Fig. 16; Easdale et al. 2019). Los resultados de la tendencia cíclica para el área de trabajo se presentan en la Figura 1.

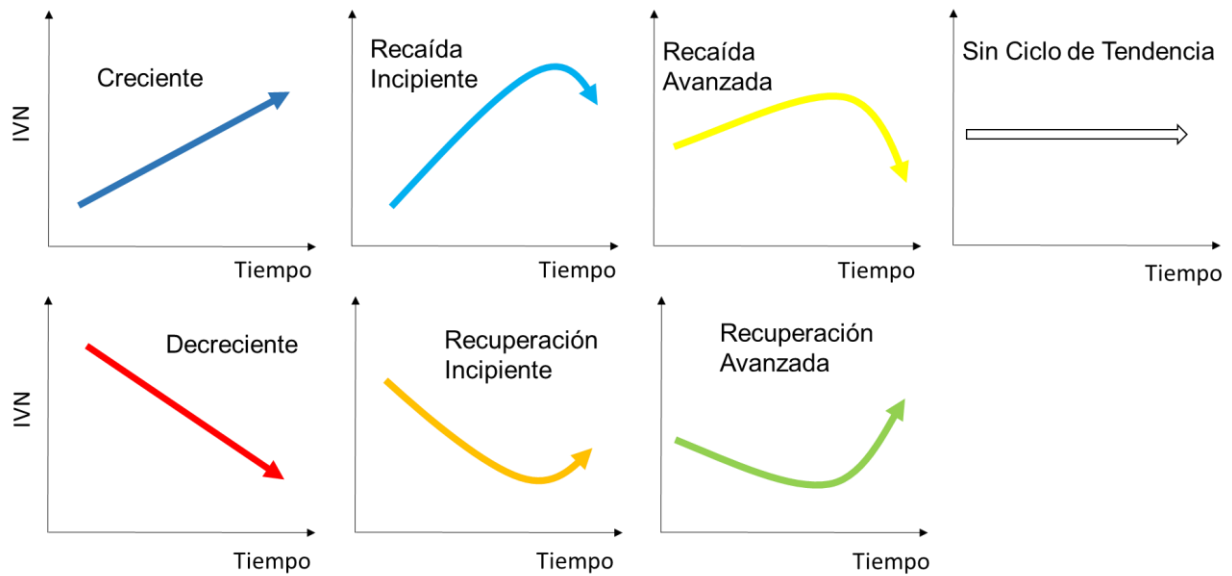


Figura 15. Clases de Tendencias Cíclicas de NDVI. El color de la flecha identifica el color usado para cada clase en el mapa correspondiente.

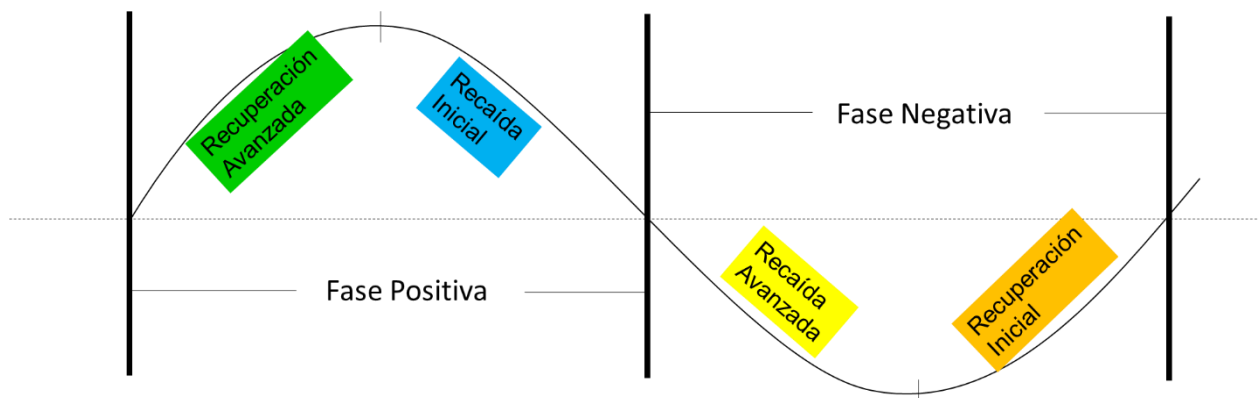


Figura 16. Fases de Tendencias cíclicas: Positiva, conformada por Recuperación Avanzada y Recaída Inicial; Negativa, conformada por Recaída avanzada y Recuperación inicial.

Ritmo de cambio de la Tendencia Cíclica

El ritmo de cambio es un indicador generado a partir de la combinación de la derivada primera y segunda del punto final de la función que describe la Tendencia Cíclica. La derivada primera refleja la dirección que toma la función (positiva, neutra o negativa), mientras que la derivada segunda refleja la velocidad del cambio (positiva, neutra o negativa). Combinando ambas fuentes de información, se construyeron nueve clases: A) Valores por encima del promedio histórico: 1. Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, violeta), 2. Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa, azul), 3. Declive lento (sentido negativo y con tasa positiva, turquesa), 4. Declive acelerado (sentido negativo y con tasa negativa, amarillo); B) Valores por debajo del promedio histórico: 5. Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, verde), 6. Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa, marrón claro), 7. Declive lento (sentido negativo y con tasa positiva, rojo), 8. Declive acelerado (sentido negativo

y con tasa negativa, magenta); y 9. Sin cambios (sentido neutro y tasa de cambio neutro, gris) (Fig. 17).

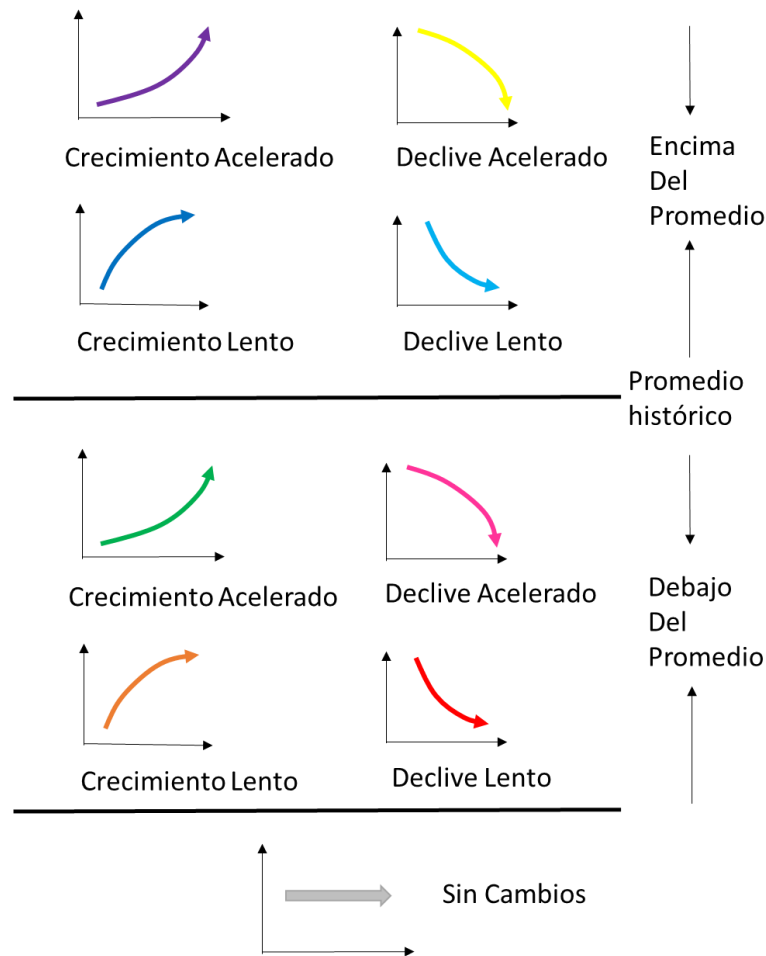


Figura 17. Clases de Ritmo de Cambio de la Tendencia Cíclica, utilizada en el mapa de la figura correspondiente.

Análisis de arquetipos de la dinámica funcional de la vegetación

Se realizó un análisis de arquetipos, aplicado a las series temporales de NDVI de cada píxel ubicado en el establecimiento. El análisis de arquetipos permite analizar patrones diferenciales de comportamiento de una multiplicidad de variables, pudiendo trabajar eficientemente con grandes bases de datos. Para ello, se utilizaron los parámetros obtenidos con la Transformada Rápida de Fourier (TRF) aplicada a cada serie de tiempo, utilizando cada píxel como una observación. La TRF permite identificar de manera sencilla las frecuencias contenidas en las series como, por ejemplo, el ciclo anual, ciclos inter-anales y ciclos intra-anales. Luego se seleccionan la cantidad de arquetipos que mejor representan la muestra analizada (en este caso, se identificaron cuatro arquetipos). Luego, para cada arquetipo se identificaron píxeles candidatos (arquetipoides), que mejor representan el patrón encontrado en cada uno, respectivamente. Dichos arquetipoides fueron identificados espacialmente, para los cuales se estimaron medias móviles para evaluar el comportamiento de la dinámica a corto, mediano y largo plazo.



Medias Móviles de la dinámica funcional de la vegetación

La media móvil nos muestra el valor promedio del NDVI, considerando una ventana de tiempo determinada. La ventana de tiempo se mueve con cada valor nuevo en la serie, para registrar los cambios en el promedio durante ese lapso de tiempo. Es una técnica elemental de predicción. Cuanto más grande sea la ventana de tiempo de observación, mayor será la influencia de los datos antiguos. En contrapartida, si se selecciona una ventana de tiempo corta, se tendrán en cuenta datos más recientes para la predicción. Permite suavizar los cambios de corto plazo y resaltar las tendencias y cambios a mediano y largo plazo.

Media móvil anual (MMA)

La media móvil anual muestra el promedio del NDVI considerando un lapso de tiempo igual a un año. Dado que se cuenta con un dato cada 16 días, tenemos en el año un total de 23 datos de NDVI. En consecuencia, la ventana de tiempo para calcular la media móvil de cada nuevo dato que ingresa, considera los últimos 23 datos.

Media móvil diferencial de mediano plazo (Diferencia entre MManual y MM4 años)

La curva muestra la evolución de la diferencia entre la media móvil anual (calculada con una ventana de tiempo de 23 datos) y la media móvil de cuatro años (calculada con una ventana de tiempo de 92 datos). Permite comparar una situación corriente respecto de los cuatro años previos, considerados como una fase de mediano plazo en la actividad de la vegetación.

El valor cero es utilizado como umbral de referencia, dado que indica que la media móvil anual se ubica al mismo nivel que la media móvil de los cuatro años precedentes. Por ende, los valores positivos indican que la situación, para esos momentos, fueron o son mejores que los registrados en los cuatro años previos. A la inversa, valores negativos indican que la situación, para esos momentos, fueron o son peores que los registrados en los cuatro años previos.

Media móvil diferencial de largo plazo (Diferencia entre MM4 años y MM8 años)

La curva muestra la evolución de la diferencia entre la media móvil de cuatro años (calculada con una ventana de tiempo de 92 datos) y la media móvil de ocho años (calculada con una ventana de tiempo de 184 datos). Permite comparar la situación de mediano plazo respecto de ocho años previos, considerada una fase de largo plazo en la actividad de la vegetación, permitiendo identificar en qué fase de largo plazo se encuentran los valores corrientes (similar a la Fig. 2).

El valor cero es utilizado como umbral de referencia, dado que indica que la media móvil de cuatro años se ubica al mismo nivel que la media móvil de los ocho años precedentes. En consecuencia, los valores positivos indican que la situación de mediano plazo (ventana de cuatro años), y para esos momentos, fueron o son mejores que los registrados en los ocho años previos. A la inversa, valores negativos indican que la situación de mediano plazo (ventana de cuatro años), para esos momentos, fueron o son peores que los registrados en los cuatro años previos.



Bibliografía

- Bruzzone O, Easdale MH. 2018. Gpu_pursuit, version 0.2, Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.1283338.
- Chen SS, Donoho DL, Saunders MA. 2001. Atomic decomposition by basis pursuit. *SIAM review*, 43(1), 129-159.
- Easdale, M.H., Bruzzone, O., Mapfumo, P., Tiftonell, P. (2018). Phases or regimes? Revisiting NDVI trends as proxies for land degradation. *Land Degradation & Development* 29, 433-445. DOI:10.1002/ldr.2871
- Easdale MH, Fariña C, Hara S, Pérez León N, Umaña F, Tiftonell P, Bruzzone O. 2019. Trend-cycles of vegetation dynamics as a tool for land degradation assessment and monitoring. *Ecological Indicators* 107, 105545. DOI:10.1016/j.ecolind.2019.105545