

Series:
Comunicaciones Técnicas
ISSN 1667-4014

COMUNICACIÓN TÉCNICA N°146
Área Recursos Naturales
Pastizales Naturales

**Dinámica y Prospectiva forrajera en el Parque
Nacional Laguna Blanca, Neuquén**

Informe II
Noviembre 2021

Easdale, M.; Bruzzone; O.; Umaña, F.; Sello, E.

2021

■ **Ediciones**

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Centro Regional Patagonia Norte
Estación Experimental Agropecuaria Bariloche. "Dr. Grenville Morris"
eeabariloche.cd@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 forrajera en el Parque Nacional Laguna Blanca, Neuquén

Informe II - NOVIEMBRE 2021

Easdale M.H., Bruzzone O., Sello E.

Cofecyt-2017, Neuquén “Sistema de Prospectiva Forrajera para el manejo ganadero adaptativo frente a cambios ambientales en sistemas ganaderos extensivos de Neuquén”

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 un informe de actualización al informe correspondiente a la evaluación de pastizales elaborado en 2019. Se presenta información sobre la dinámica y prospectiva de la productividad de los pastizales en el Parque Nacional Laguna Blanca, provincia de Neuquén. La información se encuentra actualizada a noviembre de 2021.

Síntesis del estado de situación de la productividad de la vegetación en el área de estudio

- En términos generales, luego de una fase negativa entre 2009 y 2013-2014, el nivel de la productividad de la vegetación registra valores crecientes a lo largo de la última década, alcanzando en zonas de estepa los valores máximos en 2021.
- La productividad de la vegetación muestra una Tendencia Cíclica dominada por una recuperación avanzada, aunque tornando a una recaída incipiente en algunas zonas, en forma de parches (Fig. 1).
- El Ritmo de Cambio de la productividad se encuentra dominado por un declive acelerado por encima del promedio histórico, principalmente en la zona norte y sureste e involucrando tanto estepas como zonas de mallín (amarillo y turquesa, respectivamente; Fig. 2). En la zona sur de la laguna se registran parches con un declive lento, por debajo de valores promedio históricos (rojo, Fig. 2).

Escenarios dominantes respecto al funcionamiento de los pastizales

Arquetipo Funcional de Pastizal 1. Estepa. *Escenario (V+)*, caracterizado por un Serrucho Ascendente de largo plazo, con un movimiento en V de caída con valor mínimo en 2020-2021, seguido de un rebote abrupto de recuperación en otoño de 2021 (Fig. 3). El movimiento de largo plazo se ubica en una fase positiva, manteniendo una tendencia alcista que lleva casi una década, luego de mínimos en 2010-2011. La dinámica está dominada por eventos intra-anales de corto plazo (mensual), y por un ciclo bianual (Fig. 5.1). Tanto la tendencia creciente como el ciclo bianual incrementaron su expresión en el último lustro de la serie. El ciclo anual tiene un peso inferior en la dinámica, con picos positivos en otoño y primavera tardíos, y mínimos en invierno y verano tardíos (Anexo 2).

Arquetipo Funcional de Pastizal 2. Mallín. *Escenario (MV+)*, caracterizado por un movimiento de mediano plazo en forma de M durante 2015 y 2018, definiendo luego una figura en V, con valores mínimos en el verano 2020-2021, seguido de un rebote significativo en el último año. A largo plazo, luego de una fase negativa que se extendió durante siete años a partir del año 2009, se observa una recuperación consistente que inició en el año 2012. El cruce de umbral a una fase positiva ocurrió en 2016, fase en la cual aún se mantiene en la actualidad. El movimiento a largo plazo muestra que los últimos años también estuvieron marcados por una figura en M, cayendo desde máximos en el verano 2019-2020 a valores intermedios actuales (Fig. 4.3). Dicho movimiento de transición negativa estaría soportado por una recuperación de corto plazo (Fig. 4.2), que estaría frenando por el momento la caída. La dinámica está dominada por el ciclo anual (estacional) (Fig. 5.2), con máximos en diciembre y mínimos en agosto, y a partir de 2018 se registra un achicamiento de la amplitud del ciclo anual, sugiriendo que estaría perdiendo potencia (ver Anexo 2).

La Vega y zona de influencia del arroyo Llano Blanco: Mediano y Largo Plazo

La situación de mediano y largo plazo a lo largo de la cuenca muestra ciertas diferencias (ver sitios seleccionados en Fig. 6).

En primer lugar, el mallín muy húmedo, representativo de la sección alta de la cuenca, registra un movimiento oscilatorio en los últimos cinco años, con máximos en 2015, 2017, 2019 y 2021,



y mínimos en 2018 y 2020 (Fig. 7.2). Si bien se observa una recuperación reciente, el movimiento de largo plazo de la productividad registra que la fase positiva se agotó en inicios de 2021, momento en el que se cruzó el umbral hacia una fase negativa, en la cual actualmente se encuentra (Fig. 7.3). En segundo lugar, el mallín subhúmedo y el mallín salino (dentro de la reserva) ubicados en niveles altitudinales menores registran un comportamiento similar. Se observa un pulso muy positivo en 2015, luego del cual el movimiento se retrae hasta alcanzar un mínimo en 2018, pero logra recuperarse y se mantiene en niveles levemente positivos hasta la actualidad (Figs. 8.2 y 9.2). El movimiento de largo plazo confirma que la productividad se ubica aun en una fase positiva, la cual se inició en 2017 en el mallín subhúmedo (Fig. 8.3) y en 2016 en el mallín salino (Fig. 9.3). Finalmente, el mallín húmedo, en la zona baja de la cuenca, registra tres pulsos positivos ocurridos en 2015, 2017 y 2021. El último de ellos corresponde a una recuperación acelerada luego de tocar valores mínimos en 2020, que no afectaron el comportamiento general de la dinámica (Fig. 10.2). El movimiento de la productividad a largo plazo se ubica en una fase positiva, que ya acumula más de 10 años. Si bien en el último año se registra una transición negativa, la misma encontró un piso, estabilizándose en valores positivos (Fig. 10.3).

La Vega y zona de influencia del arroyo Llano Blanco: Inicio de Temporada 2021-2022

Para evaluar el inicio del ciclo de productividad 2021-2022, se tomó como referencia el último valor disponible de NDVI, correspondiente con la primera quincena de noviembre, y se lo comparó con el de los últimos tres años. El nivel registrado en noviembre 2021 para mallín muy húmedo (sitio 1, Fig. 6) se ubica un 22% por debajo del nivel alcanzado para el 2020 y un 7% por debajo que 2019 y 2018 (Fig. 11). El mallín subhúmedo (sitio 2, Fig. 6) se ubica en niveles similares al año 2018, pero un 28% por debajo que los obtenidos en 2019 y 2020 (Fig. 12). El mallín salino (sitio 3, Fig. 6) ubicado dentro de la reserva se ubica un 22% y un 15% por debajo de los registrados en 2019 y 2020, respectivamente (Fig. 13). Finalmente, el mallín húmedo (sitio 4, Fig. 6) se ubica un 25% por encima de los valores registrado en años previos, siendo la única área que evidencia un crecimiento acelerado en la primavera corriente (Fig. 14).

Resumen. La situación para el ciclo primavero-estival de 2021 se presenta favorable en comparación con los años previos, con niveles de productividad que han crecido en la última década y se ubican muy por encima de los mínimos registrados a principios de la década del 2010. El escenario de largo plazo se muestra en una fase positiva, en general, con crecimiento sostenido principalmente en el caso de las estepas, las cuales registran reacciones a eventos de muy corto plazo, que ocurren en términos de semanas a meses. Por otro lado, la fase también es positiva en el caso del área de mallín, pero con una recaída que se acentuó entre 2018 y fines de 2020, registrando un rebote positivo en el último año (2021), que estaría amortiguando el descenso que se venía registrando en los niveles de productividad. La zona de mallín muy húmedo, representativo de un área más elevada en la cuenca, registra signos de retracción reciente de la productividad, con un cruce de umbral hacia una fase negativa, que podría estar sugiriendo una restricción incipiente, cuya evolución habría que evaluar en ciclos futuros. Por último, la zona de reserva y la cuenca alta ubicada en el sector de Isabel registran, para la primera quincena de noviembre, mermas de entre un 15 y un 28% en comparación con años previos, posiblemente evidenciando limitaciones de agua por escasa recarga invernal. La zona baja del mallín es la única que registra un crecimiento mayor para la época del año (25% mayor los años previos), sugiriendo un aprovechamiento anticipado de la humedad disponible.

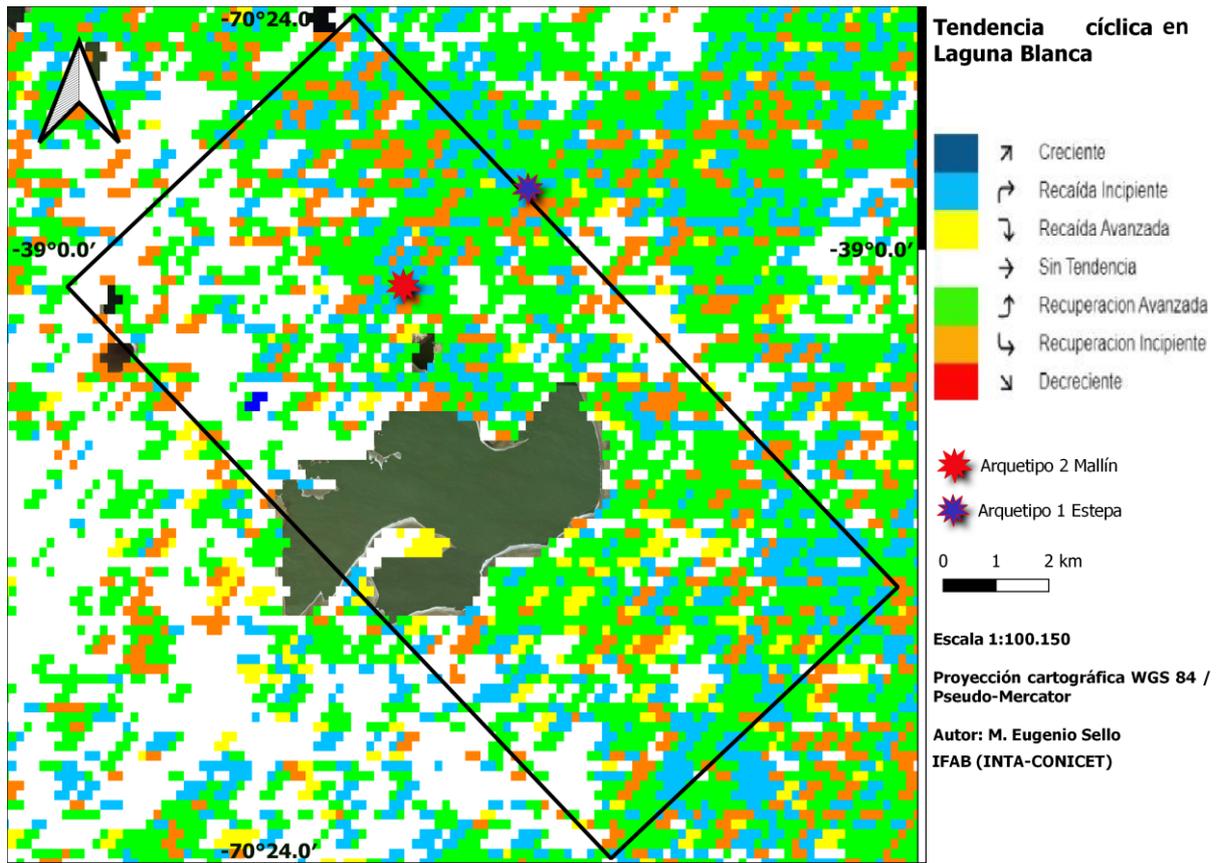


Figura 1. Tendencia Cíclica en el área de estudio (Fecha: 16 de noviembre de 2021). Las líneas negras identifican límites del PNLB. Referencia de colores de Ciclos de Tendencia: Creciente (azul ■), Recaída Incipiente (turquesa ■), Recaída Avanzada (amarillo ■), Decreciente (rojo ■), Recuperación Incipiente (naranja ■), Recuperación Avanzada (verde ■), Sin Ciclo de Tendencia (blanco).

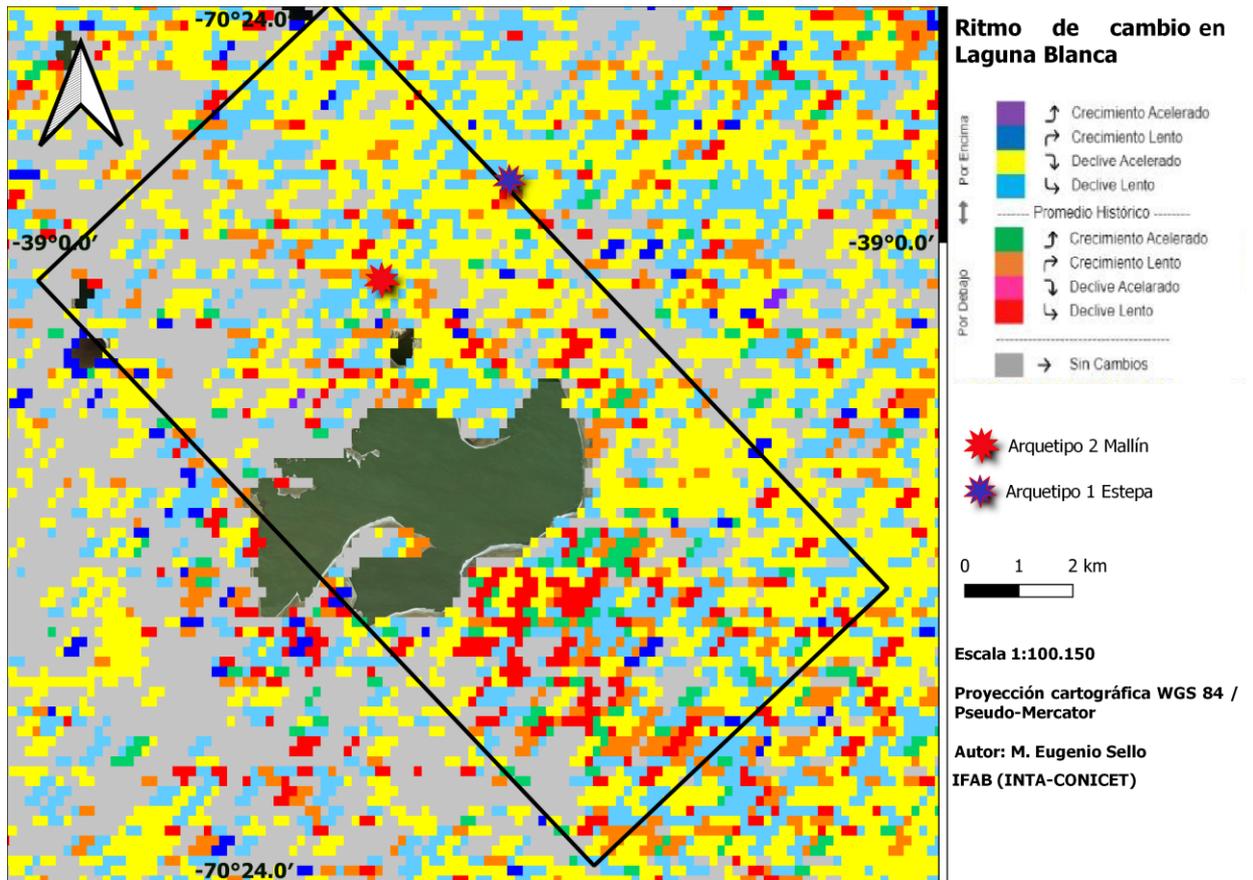


Figura 2. Ritmo de Cambio de la Tendencia Cíclica en el área de estudio (fecha: 16 de noviembre de 2021). Referencias: 1. *Valores por encima del promedio*: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, violeta ■), Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa, azul ■), Declive 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 ■). La línea negra identifica los límites del PNLB.

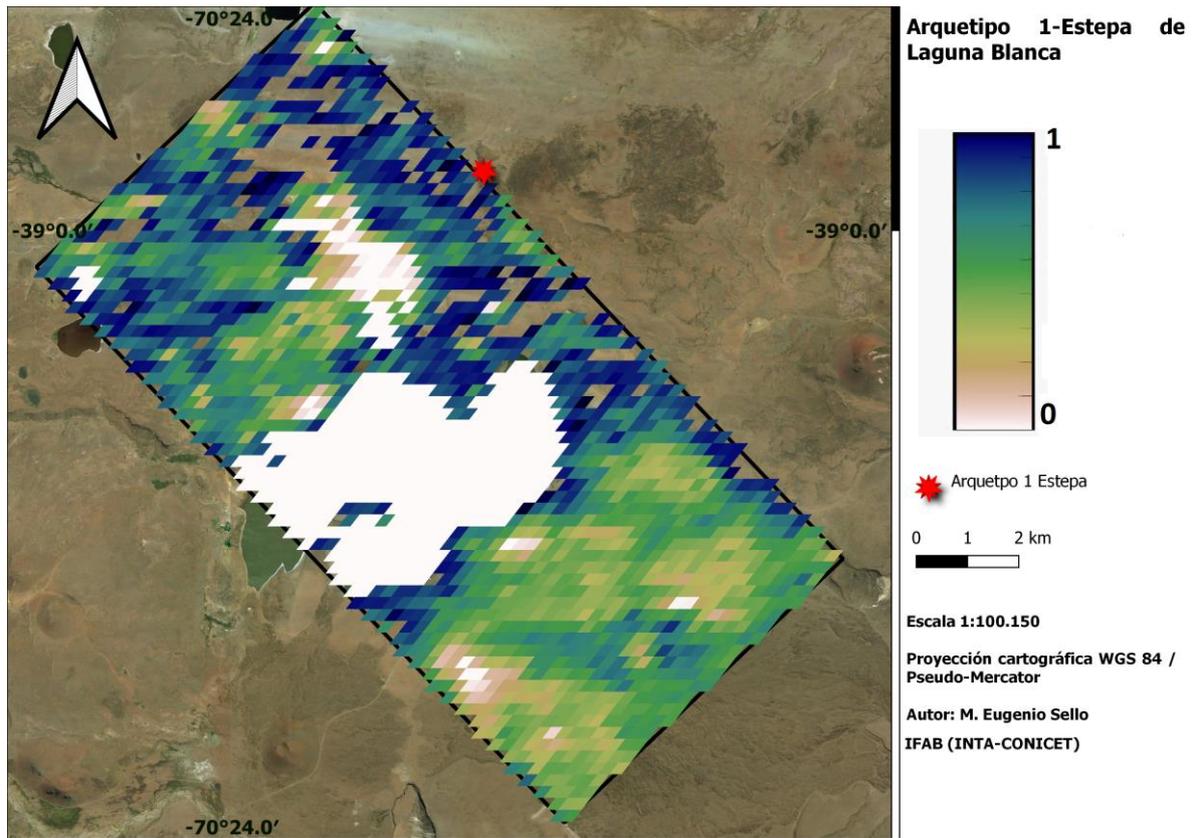


Figura 3. Mapa con la ubicación de los sitios más representativos del arquetipo funcional #1 en el Parque Nacional Laguna Blanca: Estepas. Sitio Representativo 1: Estepas del sector Norte. Arquetipo 1: Longitud -70.3432242949, Latitud -38.9895833, $r_2 = 0.572163$. La línea negra identifica los límites del PNLB.

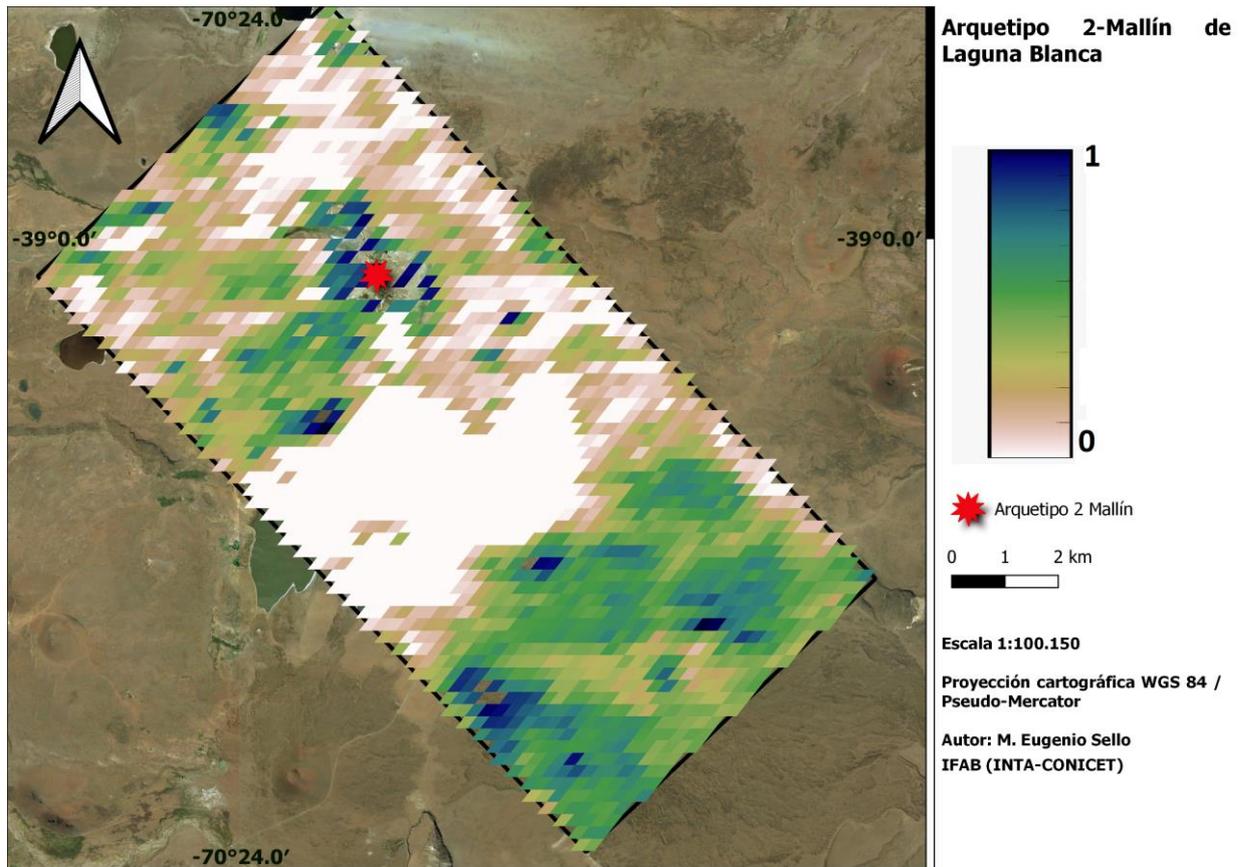


Figura 4. Mapa con la ubicación de los sitios más representativos del arquetipo funcional #2 en el Parque Nacional Laguna Blanca: Mallín. Sitio Representativo 2: Cuenca baja Mallín La Vega, ubicado previo a la desembocadura del arroyo Llano Blanco (ver Fig. 6). Arquetipo 2: Longitud -70.370518771014 , Latitud -39.00625 , $r^2 = 0.864425$. La línea negra identifica los límites del PNLB.

Escenarios de la dinámica temporal de la vegetación en sitios representativos

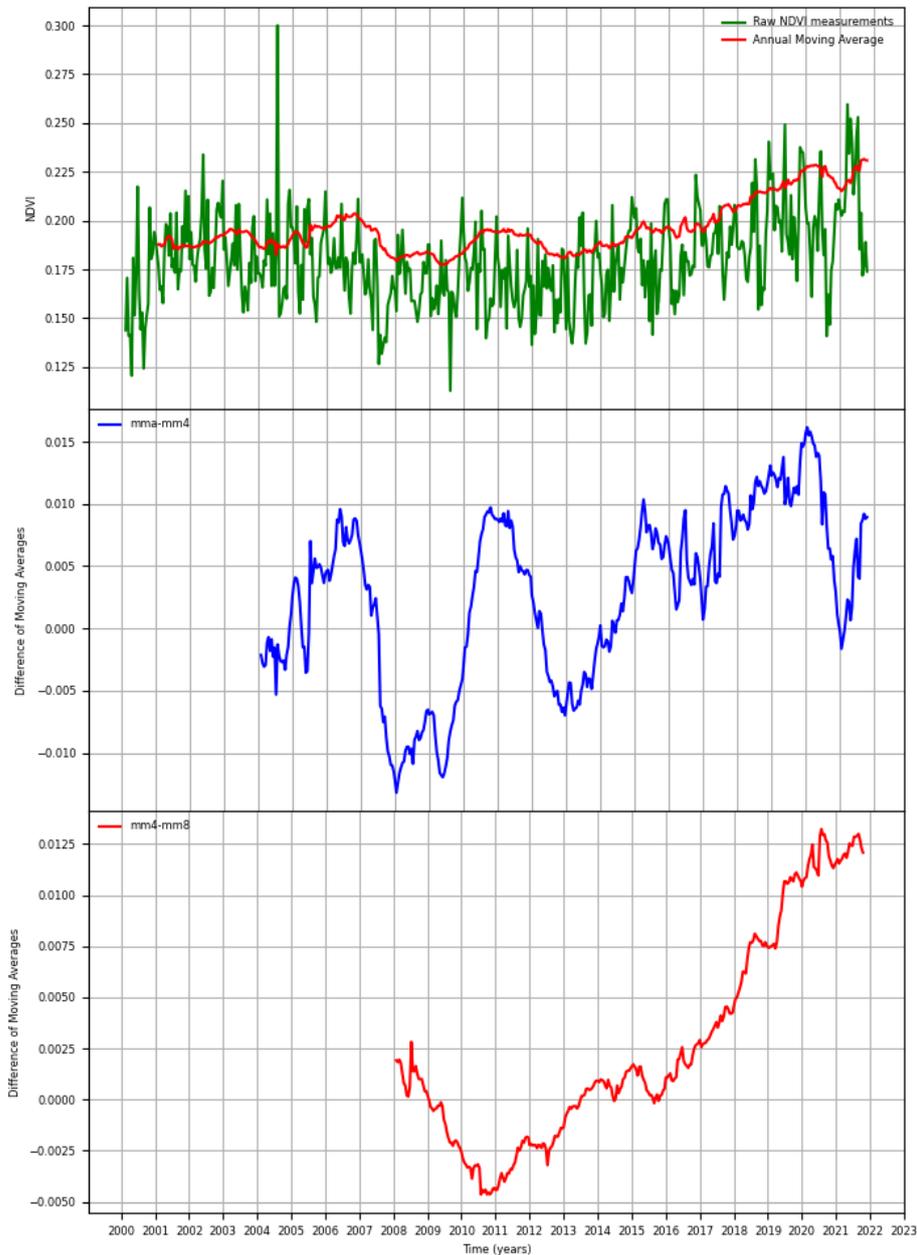


Figura 3. Arquetipo 1. Estepas (Coordenadas: -70.3432242949; -38.9895833). Análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años, azul), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años, rojo).

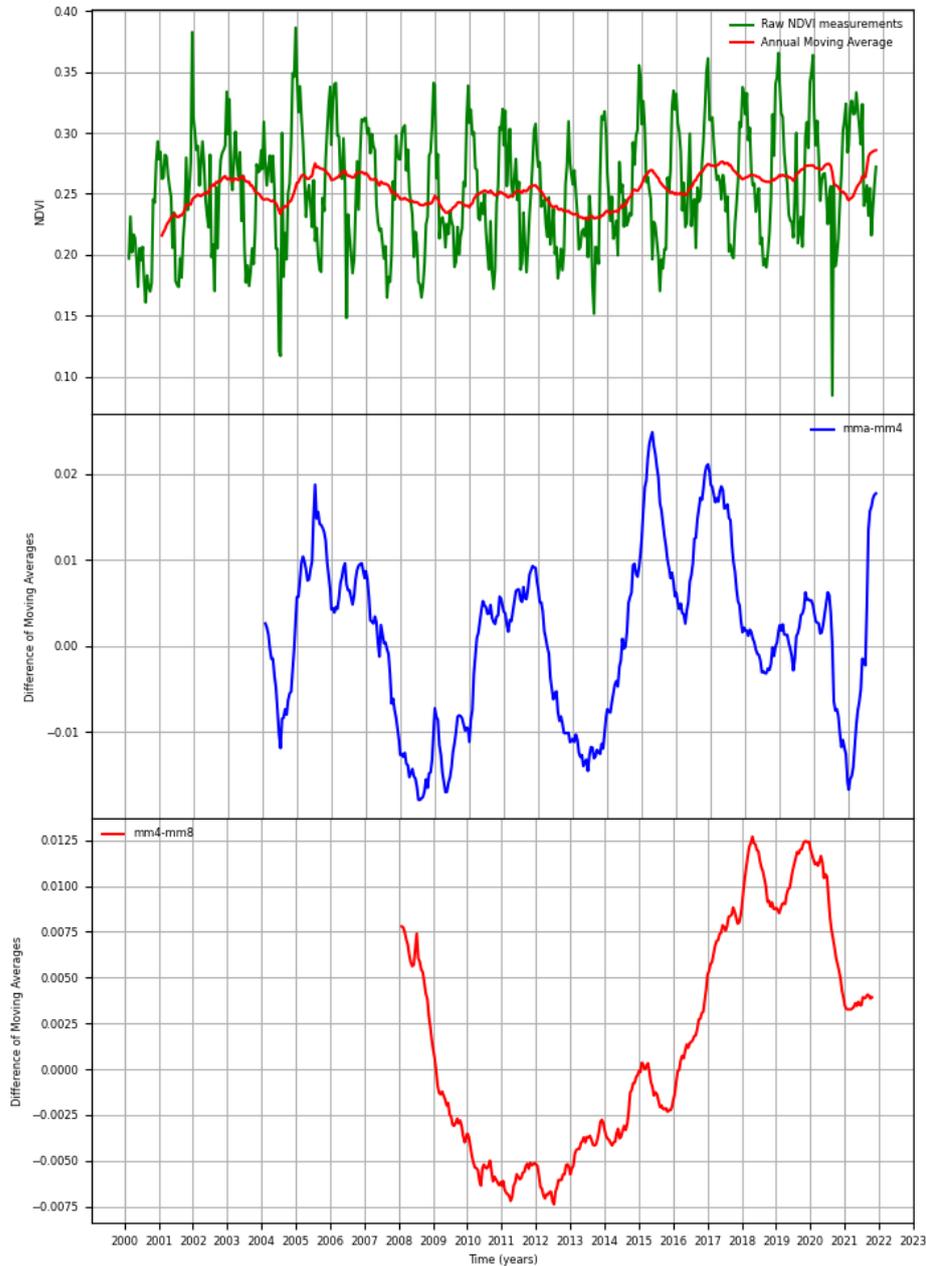


Figura 4. Arquetipo 2. Mallín (Coordenadas: -70.370518771014; -39.00625). Análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años, azul), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años, rojo).

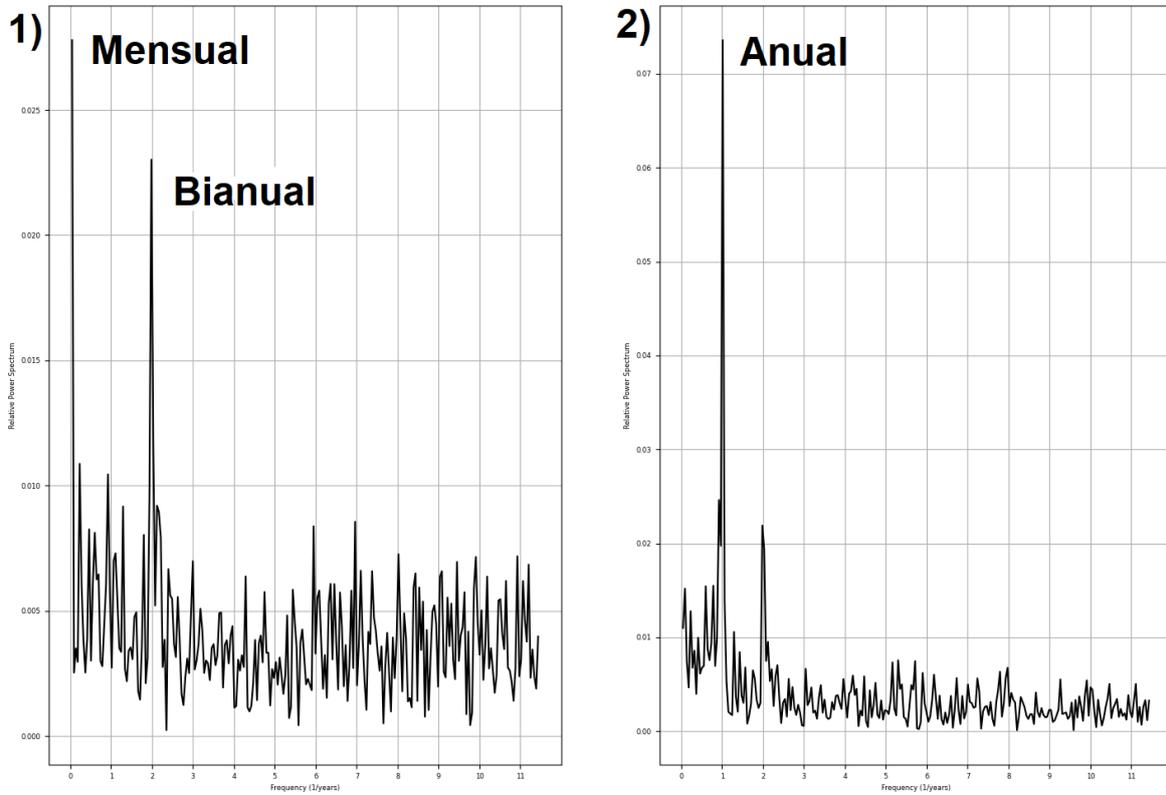


Figura 5. Espectro de potencia de Arquetipos 1 y 2, respectivamente. Las figuras muestran: 1) predominancia de eventos mensuales y un ciclo bianual en las estepas (Arq 1), y 2) el ciclo anual predominante y, en menor medida un ciclo bianual, en zona de mallín (Arq 2).

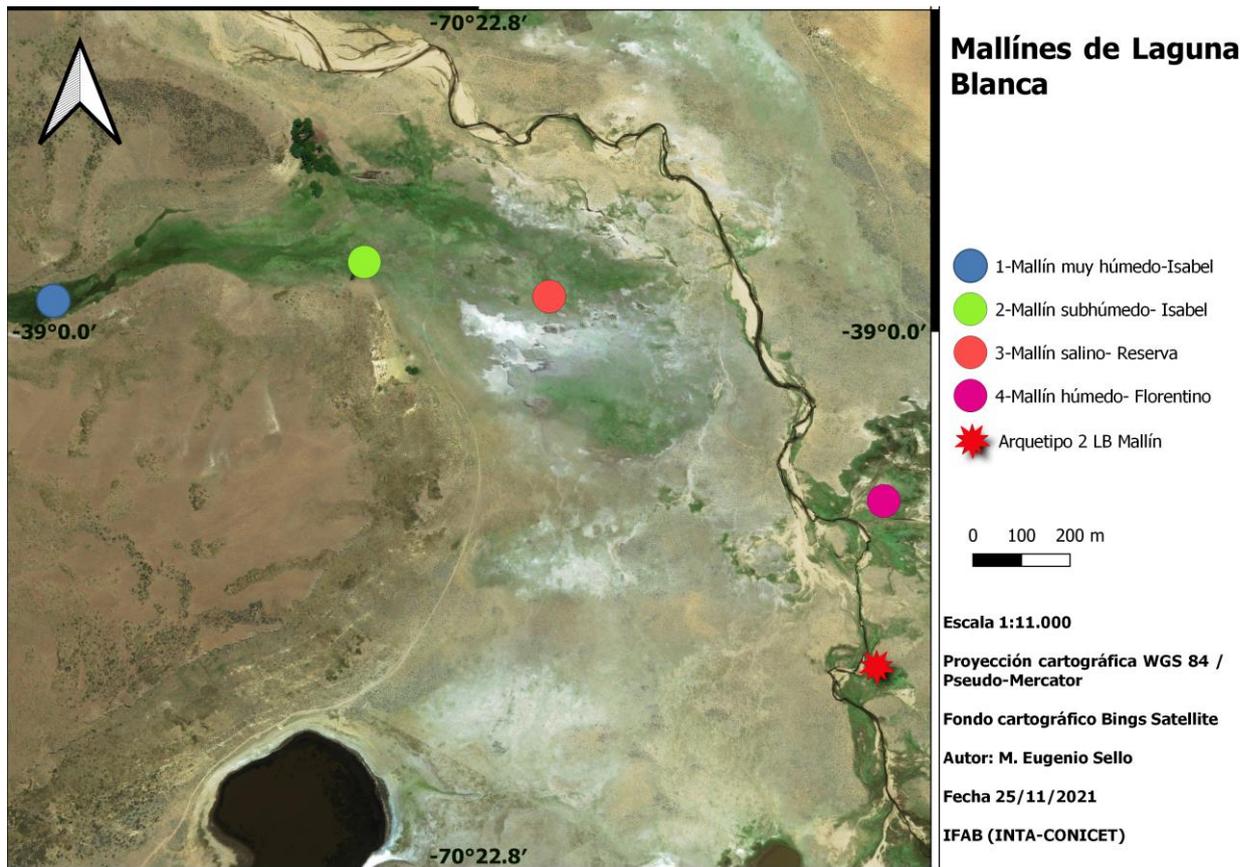


Figura 6. Mapa con la ubicación de distintos sitios seleccionados a lo largo de la Cuenca de La Vega y área de influencia del arroyo Llano Blanco, discriminando distintos tipos de mallín: 1) Mallín muy húmedo, 2) Mallín subhúmedo, 3) Mallín salino, 4) Mallín húmedo.

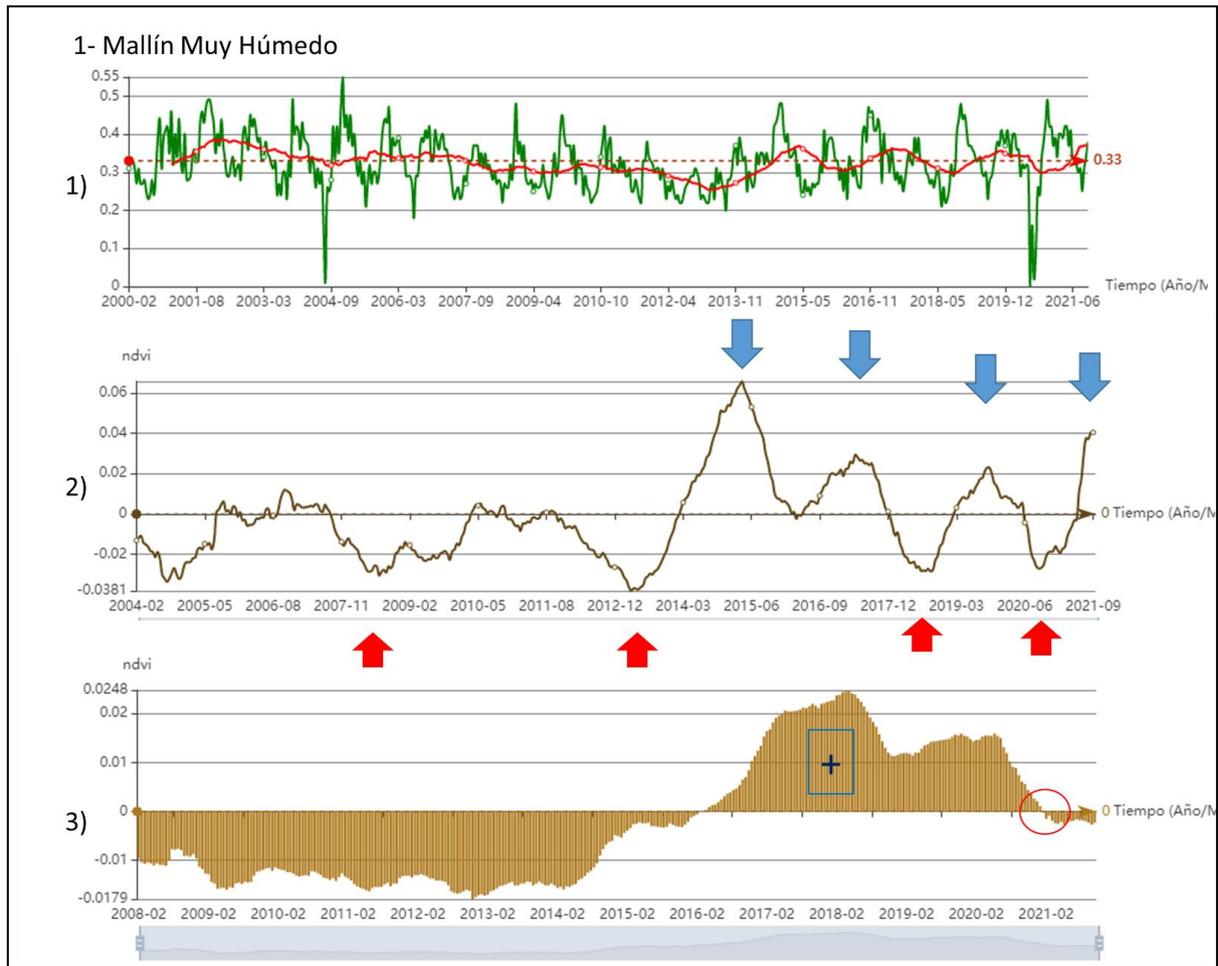


Figura 7. Mallín muy húmedo (ver Fig. 6, sitio 1). Análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años, línea marrón), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años, barras marrones).

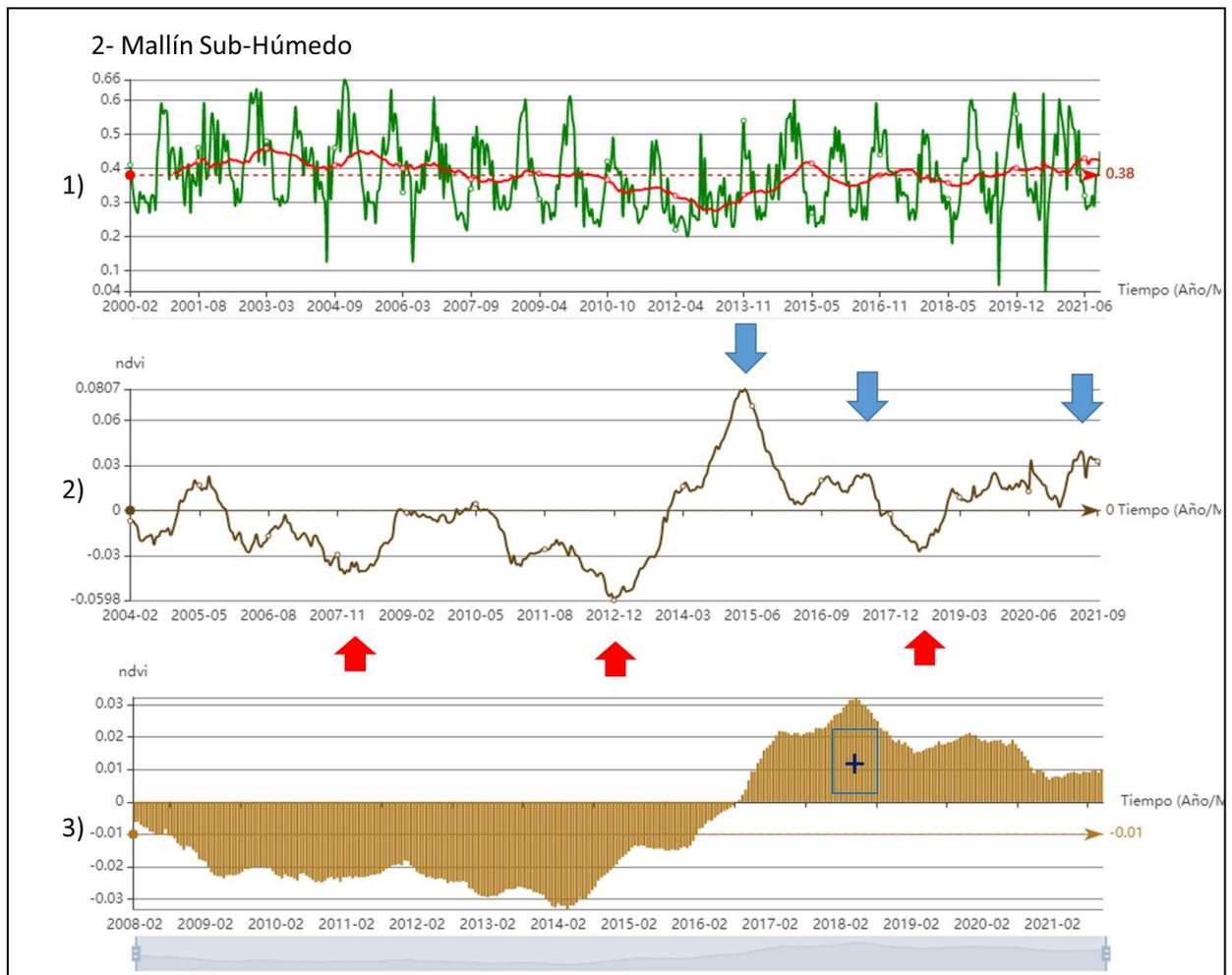


Figura 8. Mallín subhúmedo (ver Fig. 6, sitio 2). Análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años, línea marrón), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años, barras marrones).

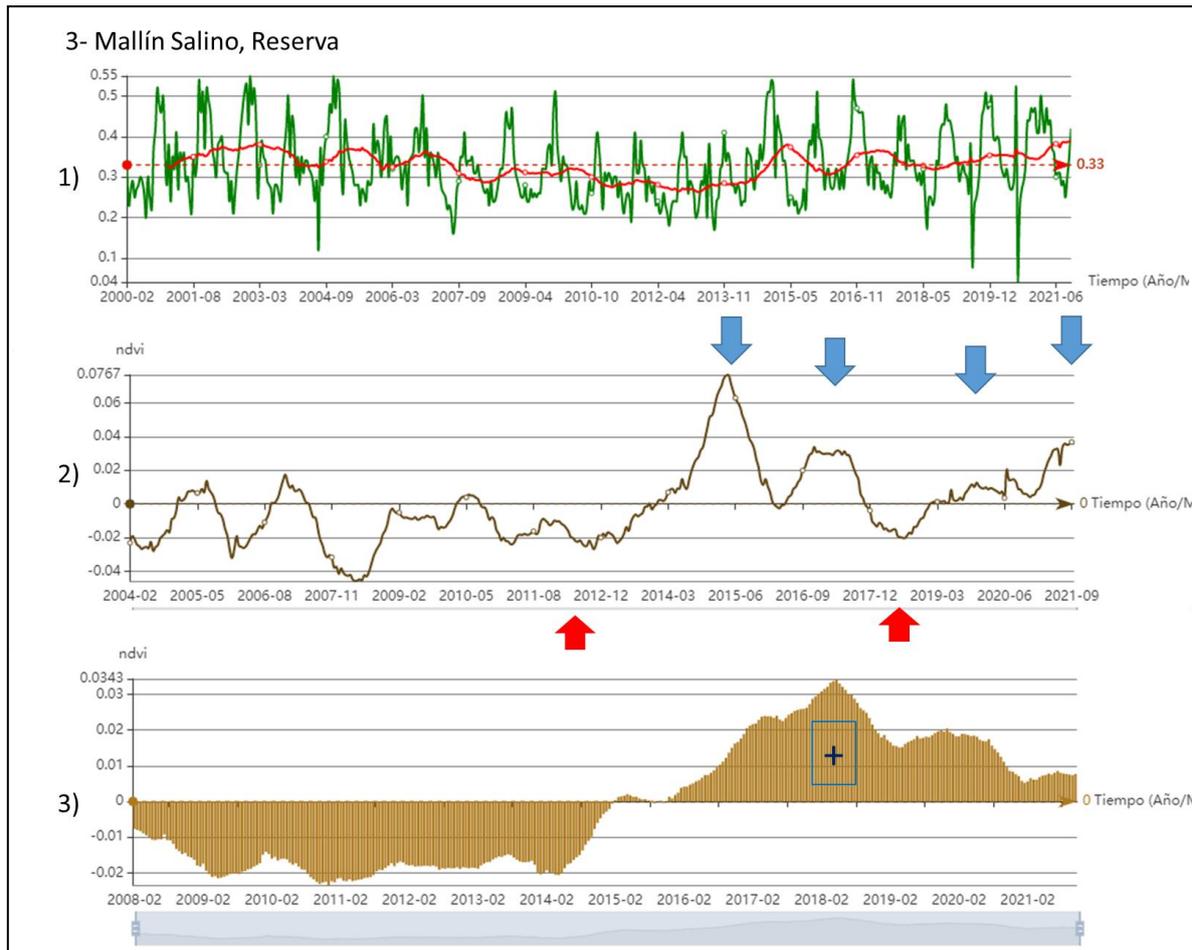


Figura 9. Mallín salino (ver Fig. 6, sitio 3). Análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años, línea marrón), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años, barras marrones).

4- Mallín Húmedo

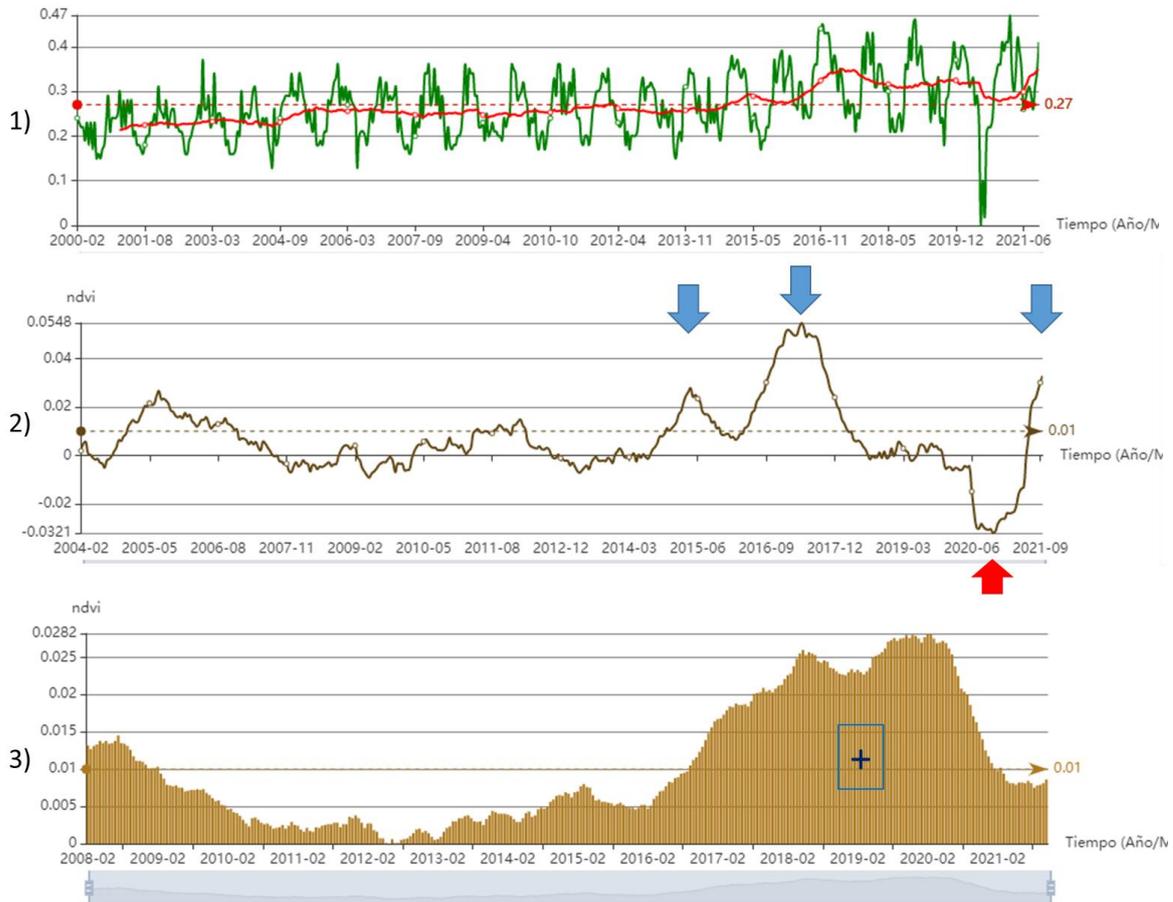


Figura 10. Mallín húmedo (ver Fig. 6, sitio 4). Análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años, línea marrón), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años, barras marrones).

Estado de situación en el inicio de temporada 2021-2022

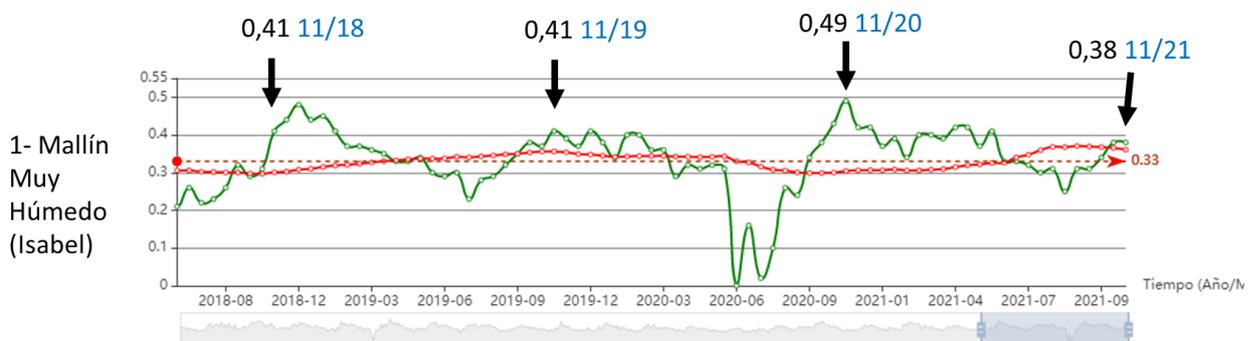


Figura 11. Mallín subhúmedo (ver Fig. 6, sitio 1). Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo) durante el período agosto 2018 – noviembre 2021. Las flechas indican el valor de NDVI (negro) para la primera quincena de noviembre de los últimos cuatro años (azul).

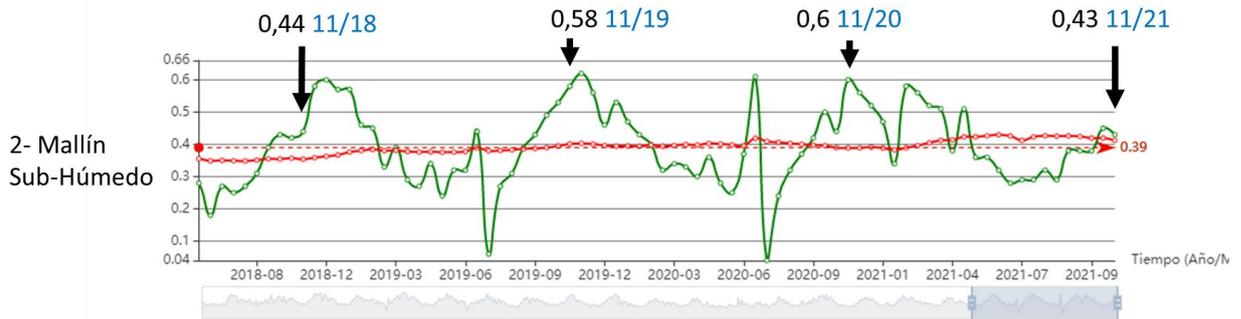


Figura 12. Mallín subhúmedo (ver Fig. 6, sitio 2). Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo) durante el período agosto 2018 – noviembre 2021. Las flechas indican el valor de NDVI (en negro) para la primera quincena de noviembre de los últimos cuatro años (azul).

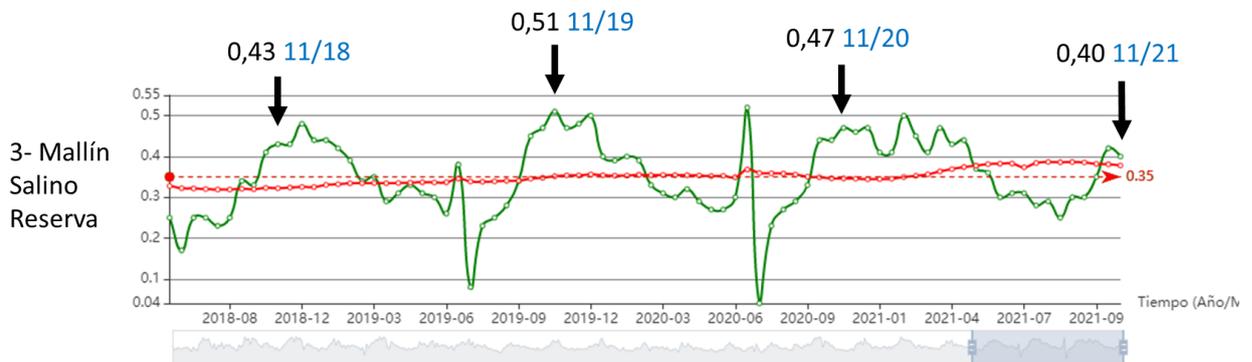


Figura 13. Mallín subhúmedo (ver Fig. 6, sitio 3). Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo) durante el período agosto 2018 – noviembre 2021. Las flechas indican el valor de NDVI (en negro) para la primera quincena de noviembre de los últimos cuatro años (azul).

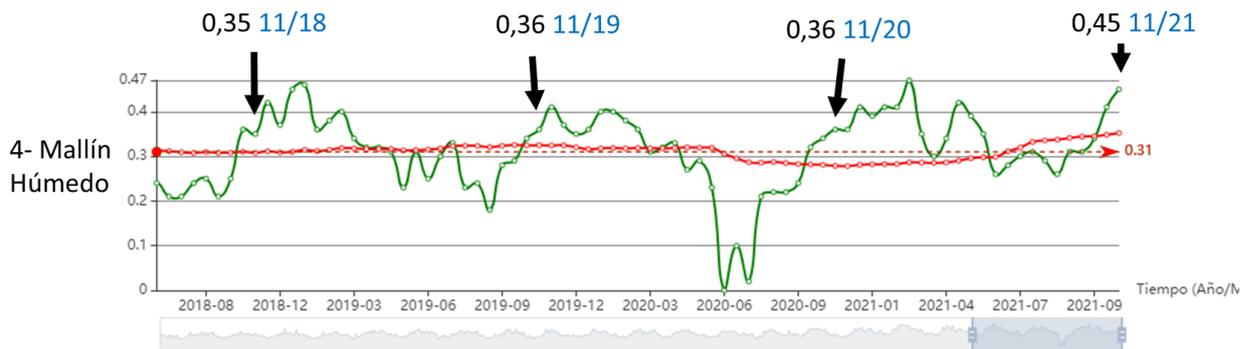


Figura 14. Mallín subhúmedo (ver Fig. 6, sitio 4). Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo) durante el período agosto 2018 – noviembre 2021. Las flechas indican el valor de NDVI (en negro) para la primera quincena de noviembre de los últimos cuatro años (azul).



ANEXO

Metodología

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

Fuente de datos

Se utilizaron datos de imágenes MODIS (producto MODIS13Q1, versión 6) para el período temporal febrero 2000 - noviembre 2021 (frecuencia de datos cada 16 días y píxel de resolución espacial de 6,25ha). Se calculó el NDVI mediante la siguiente ecuación:

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

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. A-1). 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. A-2; Easdale et al. 2019). Los resultados de la tendencia cíclica para el área de trabajo se presentan en la Figura 1.

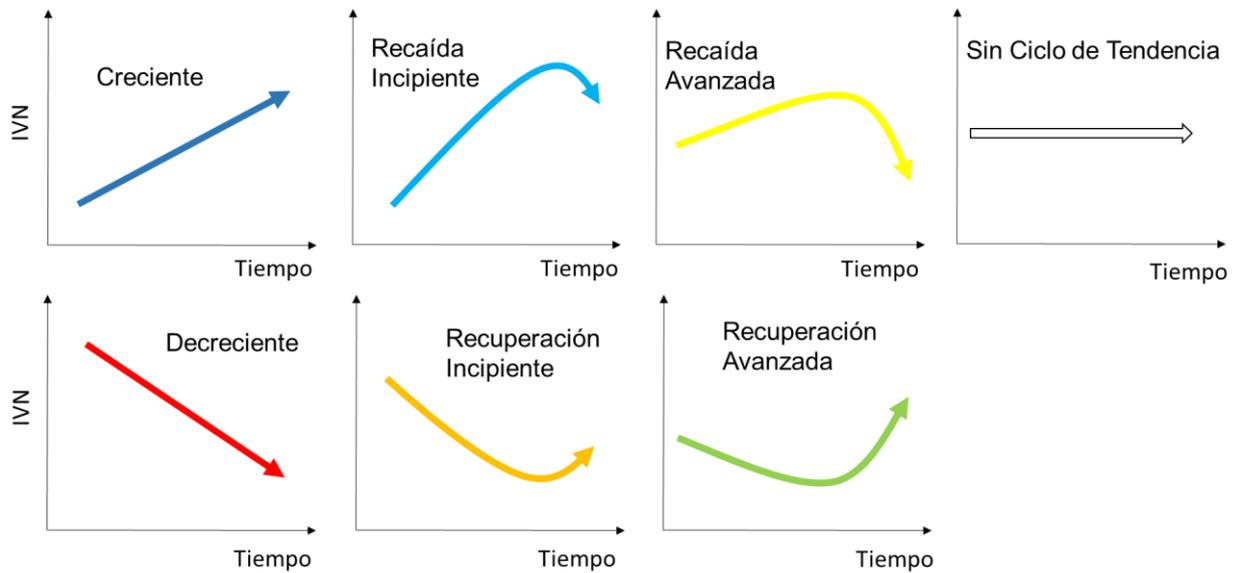


Figura A-1. Clases de Tendencias Cíclicas de NDVI. El color de la flecha identifica el color usado para cada clase en el mapa correspondiente.

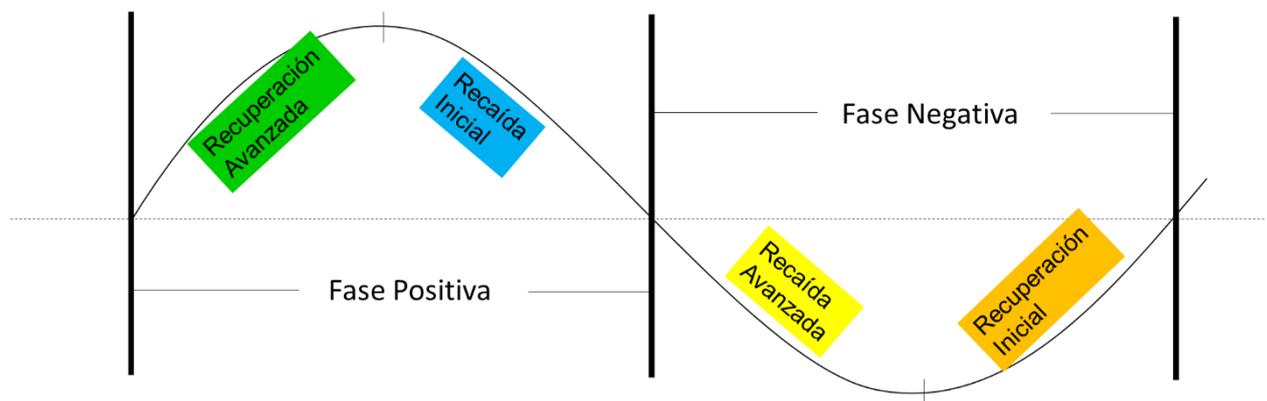


Figura A-2. Fases de Tendencias cíclicas: Positiva, conformada por Recuperación Avanzada y Recaída Inicial; Negativa, conformada por Recaída avanzada y Recuperación inicial.

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 (Bruzzone y Easdale, 2021a). 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. A-3).

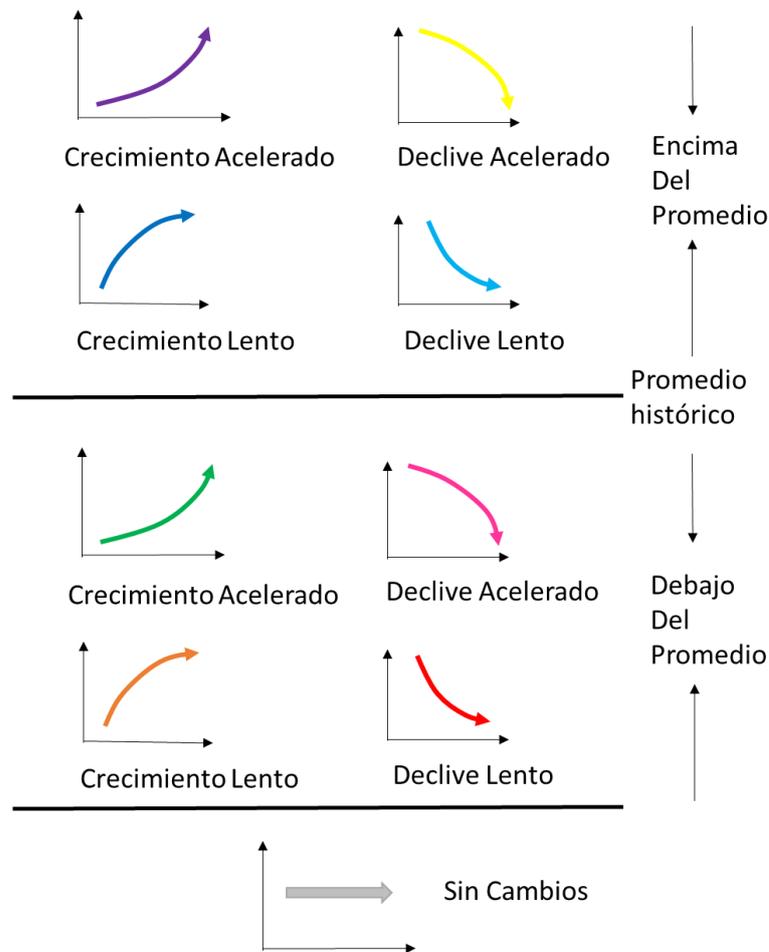


Figura A-3. Clases de Ritmo de Cambio de la Tendencia Cíclica, utilizada en el mapa de la figura correspondiente.

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 (Bruzzone y Easdale, 2021b). 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
- Bruzzone, O., Easdale, M.H. (2021a). Rythm of change of trend-cycle of vegetation dynamics as an early warning indicator for land management. *Ecological Indicators* 126, 107663. DOI:10.1016/j.ecolind.2021.107663.
- Bruzzone, O., Easdale, M.H. (2021b). Archetypal temporal dynamics of arid and semi-arid rangelands. *Remote Sensing of Environments* 254, 112279. DOI:10.1016/j.rse.2020.112279.



ANEXO B

A continuación, se adjunta la descomposición de las series de tiempo en distintas frecuencias: tendencia a largo plazo, frecuencias bajas (ciclos >4 años), frecuencias medias (ciclos >1 año y <4 años), ciclo anual, frecuencias altas (ciclos intra-anales), y ruido (correlacionado y no correlacionado) para el arquetipo 1 (Estepas) y el arquetipo 2 (Mallín), respectivamente.

