

Series:  
Comunicaciones Técnicas  
ISSN 1667-4014

**COMUNICACIÓN TÉCNICA N°147**  
**Área Recursos Naturales**  
**Pastizales Naturales**

**Dinámica y Prospectiva de la vegetación en la  
Corporación Pulmarí, Neuquén**

**Informe I**  
**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 de la vegetación en la Corporación Pulmarí, Neuquén**

#### **Informe I - 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 el primer informe de caracterización de la dinámica y prospectiva de la productividad de la vegetación en la Corporación Pulmarí, provincia de Neuquén, actualizado a noviembre de 2021. Solicitado por el técnico: Juan Ignacio Gazzotti (INTA-AER San Martín de los Andes).

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

- En términos generales, el nivel de la productividad de la vegetación registra valores mayores a los registrados en el ciclo pasado (2020), con repuntes positivos y acelerados en la primavera actual, pero alcanzando niveles inferiores a los de 2018-2019.
- La productividad de la vegetación muestra una Tendencia Cíclica con recuperación avanzada en el extremo este y noreste (verde), tornando a una recaída incipiente en algunas zonas, coincidentes con el extremo más árido del área (turquesa, Fig. 1). A su vez, se registran recaídas avanzadas y recuperaciones incipientes en laderas ubicadas en el centro-oeste y extremo noroeste (amarillo y marrón, respectivamente, Fig. 1).
- El Ritmo de Cambio de la productividad se encuentra dominado por un declive acelerado, por encima del promedio histórico, principalmente al sur del Lago Aluminé, asociado a las forestaciones (amarillo, respectivamente; Fig. 2). En el resto del área la tendencia no registra cambios significativos, con zonas con crecimiento lento por encima del promedio en el sector oeste (azul, Fig. 2).
- El escenario dominante respecto al funcionamiento de los pastizales es el siguiente:

Arquetipo Funcional de Vegetación 1. Bosque denso, zonas centro-oeste y suroeste. Sitio Representativo 1: Ladera Norte Lago Ruca Choroi (Fig. 3).

*Figura S, sinusoidal estacionaria anual y de mediano plazo.* Dinámica anual dominante, con máximos en verano y mínimos en invierno. Fase positiva de largo plazo entre 2012 y 2018 con máximo en 2015, a partir del cual ingresa en un canal descendente, cruzado el umbral en sentido negativo en 2020 (Fig. 6). Actualmente la productividad se ubica en fase negativa.

Arquetipo Funcional de Vegetación 2. Matorral y bosque ralo, zona norte. Sitio Representativo 2: Ladera suroeste Lago Aluminé y zona de forestaciones (Fig. 4).

*Figura recurrente de Pulso + y Serrucho descendente.* Los pulsos positivos se registraron en 2004, 2009-2010, 2013-2014 (valor máximo), 2017 y 2021. Luego de cada pulso positivo se registra una recaída que dura entre 3 y 4 años, definiendo patrones que describen fases oscilantes interanuales (Fig. 7). Actualmente se registra un repunte de corto-mediano plazo que, de continuar el patrón histórico, se podría continuar con una recaída que puede durar al menos 3 años. En el largo plazo, se registra una transición positiva, desde una fase negativa reciente (2017-2021). La dinámica anual (estacional) es dominante, aunque modulada por un ciclo bianual (Fig. 9.2). La fase positiva ocurre en verano y picos en otoño, y mínimos en invierno.

Arquetipo Funcional de Vegetación 3. Estepas límite este y sur. Sitio Representativo 3: Camino a Lago Ruca Choroi (Fig. 5).

*Figura reciente en (U-) con alta oscilación.* La productividad registró una caída desde un máximo en 2018, hasta un valor mínimo en 2020 y luego un repunte de corto-mediano plazo en 2021. En el largo plazo, actualmente se ubica en fase negativa, habiendo cruzado el umbral en 2020, siguiendo una transición negativa que inició luego de un

máximo en 2019 (Fig. 8). La dinámica bianual es dominante, así como los eventos intra-  
anuales, mientras que el ciclo anual es marginal (Fig. 9.3).

**Conclusión:** La situación para el ciclo primavera-verano de 2021 se presenta favorable en términos de los niveles de productividad de la vegetación, en comparación con los años 2019 y 2020, aunque por debajo de los valores máximos de productividad reciente, alcanzados en 2017-2018. El escenario de largo plazo muestra signos de alerta y precaución, dado que se registra una transición negativa, la cual ya ha cruzado el umbral hacia una fase negativa, tanto en los extremos áridos de estepa como los húmedos de bosque, correspondientes al área estudiada. La dinámica bianual de las estepas y la de Pulso-Serrucho descendente de las zonas de matorral, bosque ralo y zonas asociadas a forestaciones (Fig. 9), sugieren una probable merma de la productividad para los próximos al menos dos años, que podría incidir en confirmar el ingreso a una fase negativa de largo plazo. De todas maneras, si bien este escenario tiene probabilidad de ocurrencia, debería ser evaluado en virtud del comportamiento durante los meses futuros, dado que podría ser revertido o amortiguado por situaciones climáticas favorables (ej. invierno 2022).

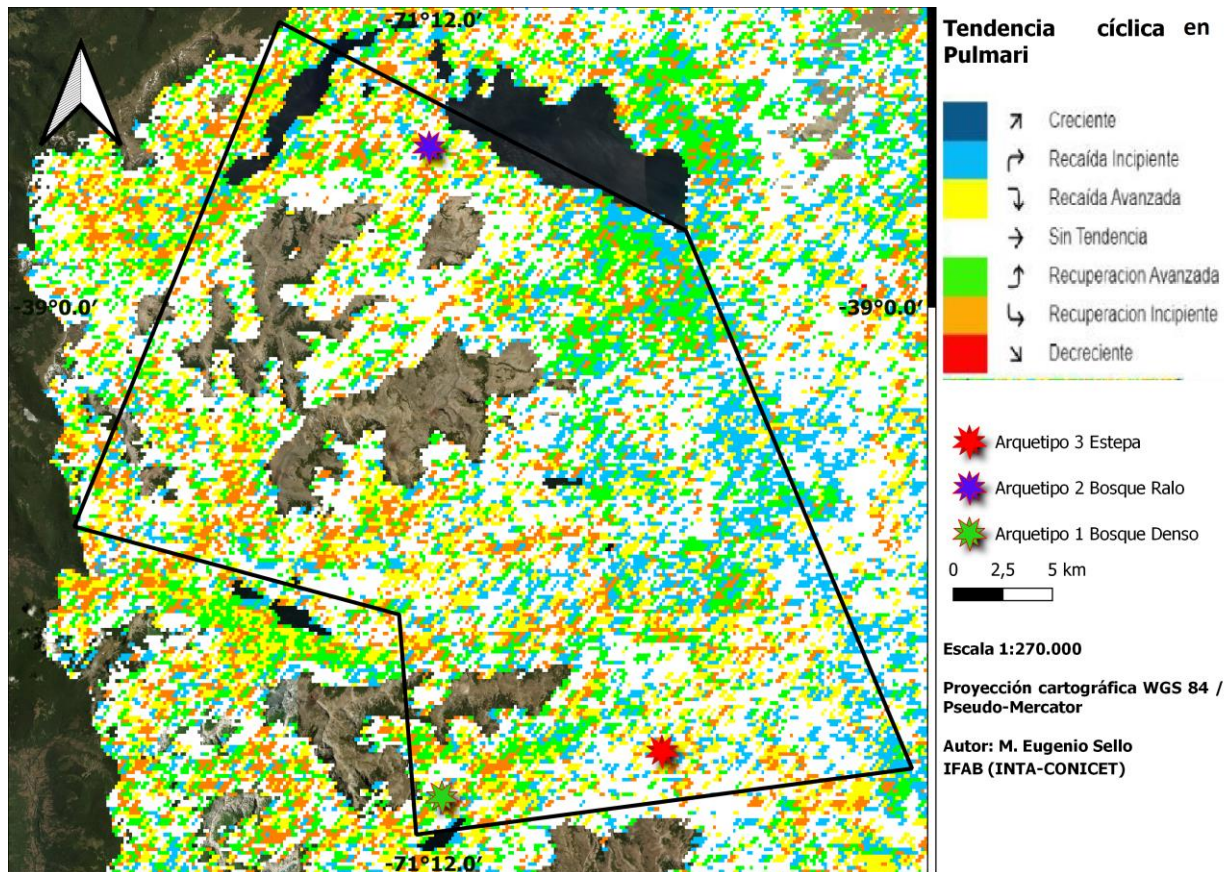


Figura 1. Tendencia Cíclica en el área de estudio (Fecha: 16 de noviembre de 2021). Las líneas negras identifican límites del establecimiento. Referencia de colores de Ciclos de Tendencia: Creciente (azul ■), Recaída Incipiente (turquesa ■), Recaída Avanzada (amarillo ■), Decreciente (rojo ■), Recuperación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

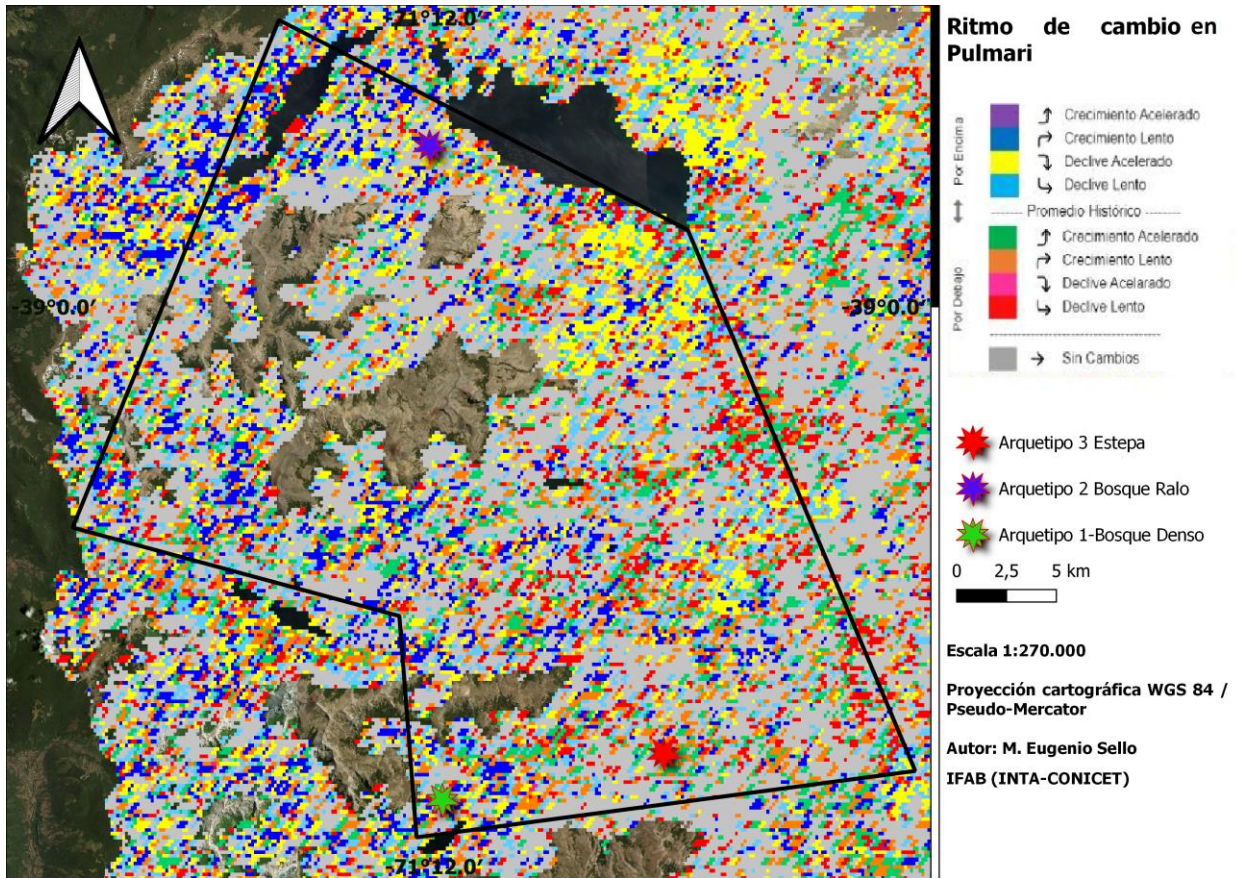


Figura 2. Ritmo de Cambio de la Tendencia Cíclica en el área de estudio (fecha: 16 de noviembre de 2021). Referencias: 1. *Valores por encima del promedio*: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, violeta ■), Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa, azul ■), Declive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

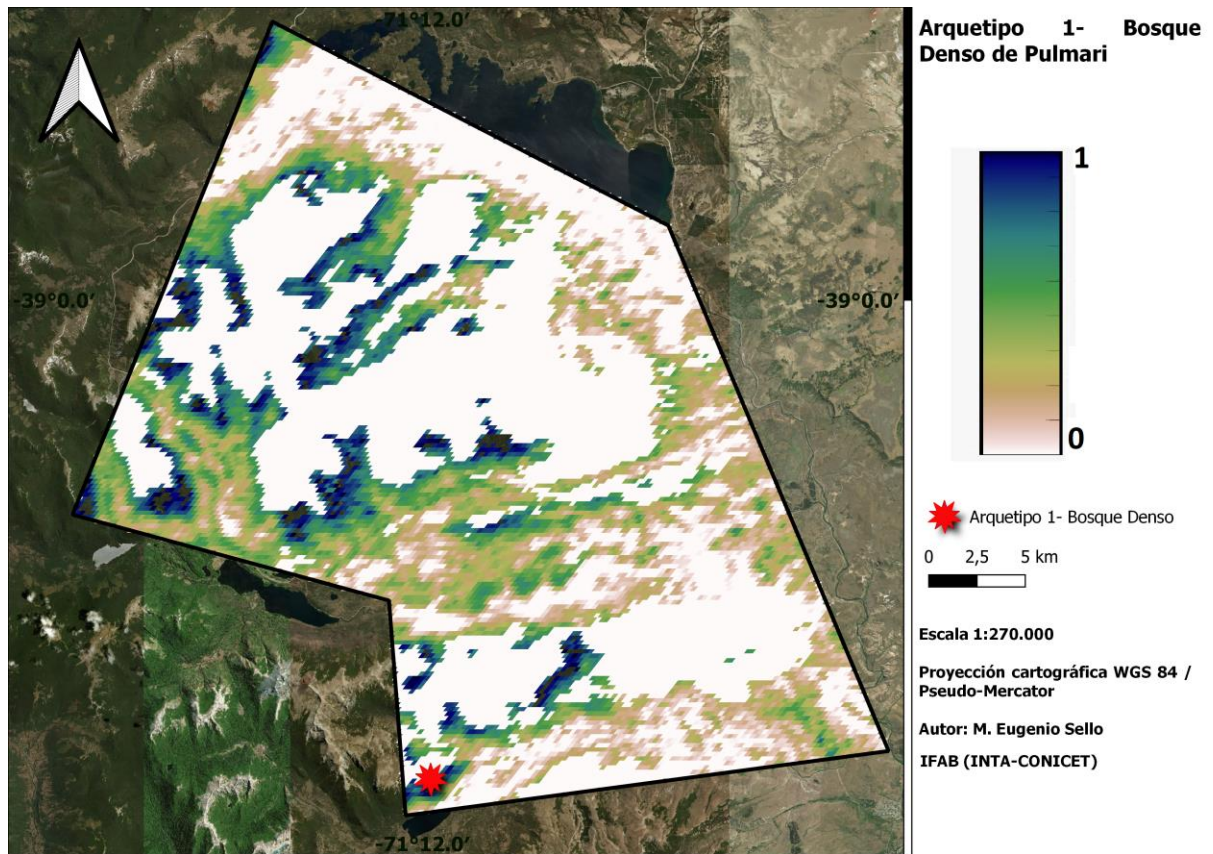


Figura 3. Mapa con la ubicación de los sitios más representativos del arquetipo funcional #1. Bosque denso, zonas centro-oeste y suroeste. Sitio Representativo 1: Ladera Norte Lago Ruca Choroí. Arquetipo 1: Longitud -71.194994635933, Latitud -39.222916666667, r2 0.981619

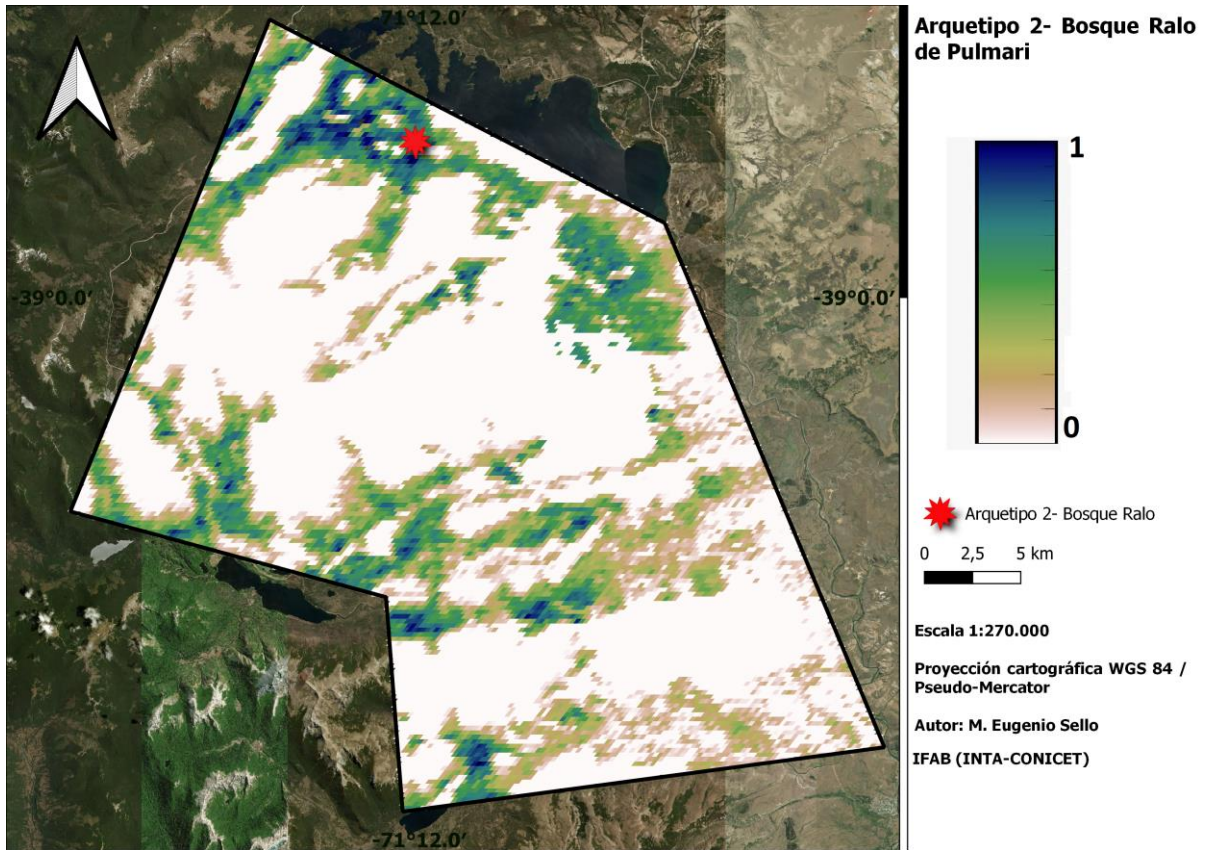


Figura 4. Mapa con la ubicación de los sitios más representativos del arquetipo funcional #2. Bosque ralo, zona norte. Sitio Representativo 2: Ladera suroeste Lago Aluminé. Arquetipo 2: Longitud -71.231308118985, Latitud -38.929166666667, r2 0.943411

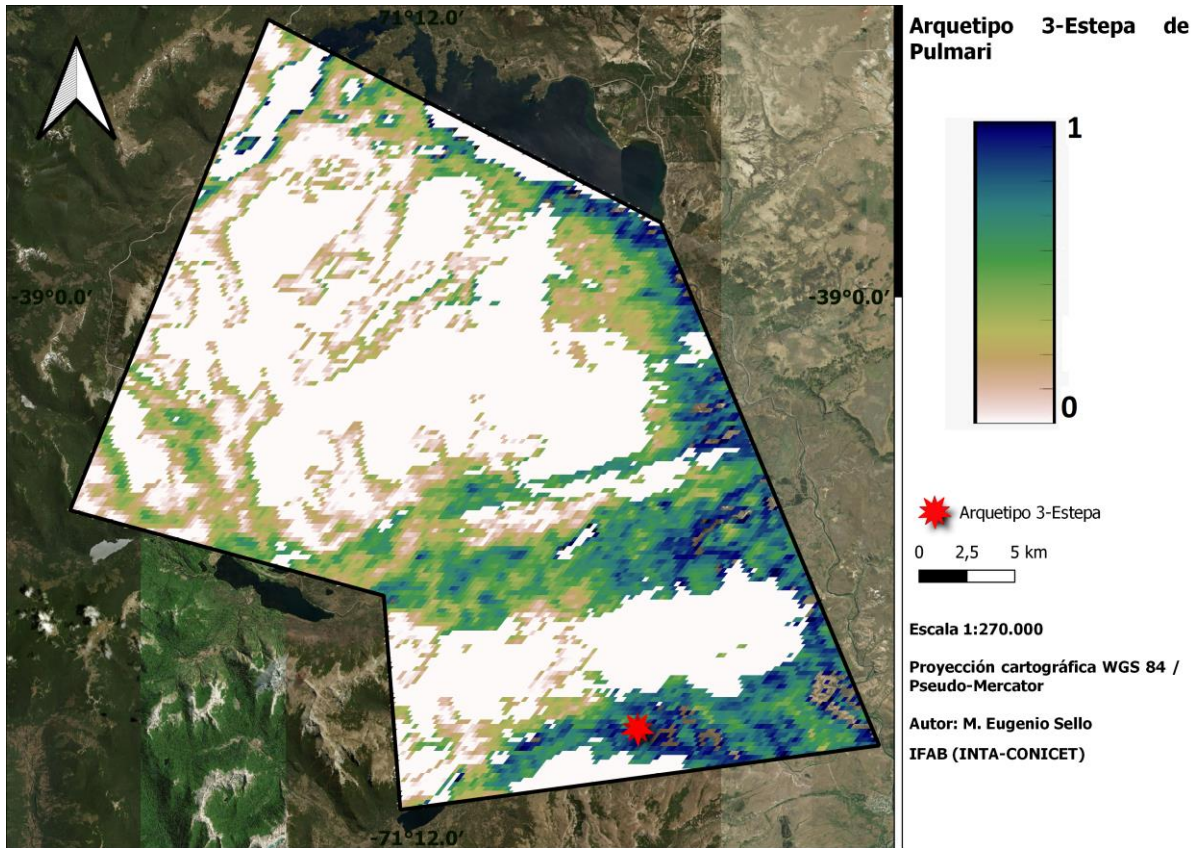


Figura 5. Mapa con la ubicación de los sitios más representativos del arquetipo funcional #3. Estepas límite este y sur. Sitio Representativo 3: Camino a Lago Ruca Choroi. Arquetipo 3: Longitud -71.066337479162, Latitud -39.202083333333, r2 0.424860.



*Escenarios de la dinámica temporal de la vegetación en sitios representativos (arquetipos)*

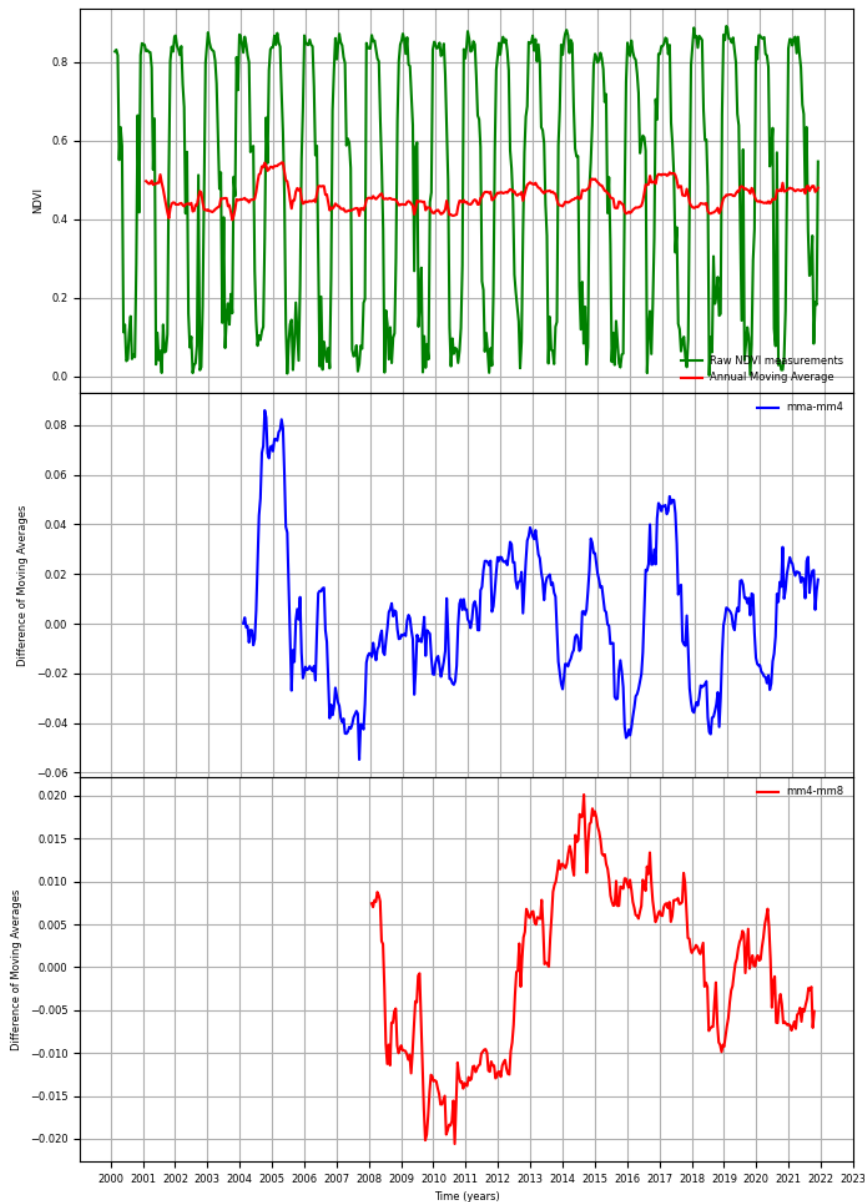


Figura 6. Arquetipo 1 (Coordenadas: -71.194994635933; -39.222916666667; Escenario W+). Análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años, azul), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años. rojo).

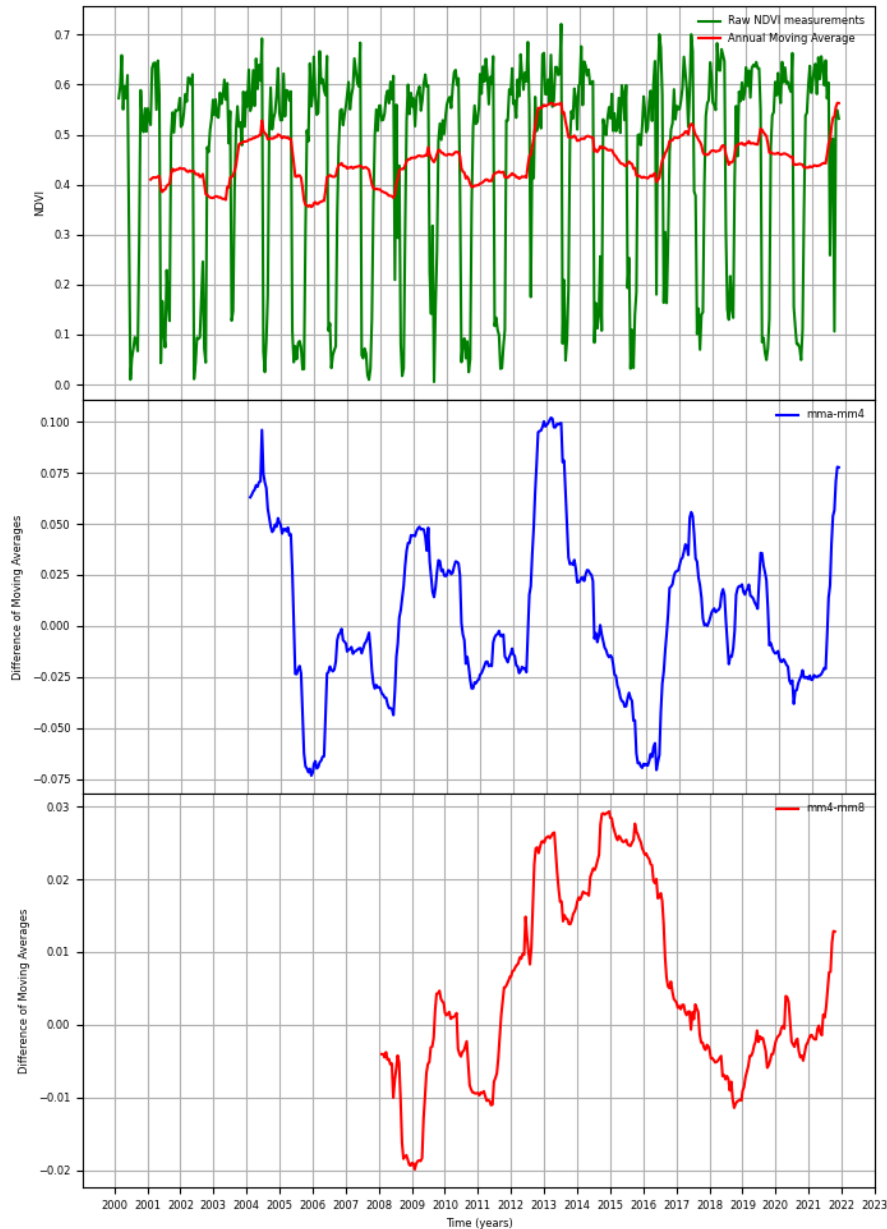


Figura 7. Arquetipo 2 (Coordenadas: -71.231308118985, -38.929166666667; Escenario W+). Análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años, azul), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años, rojo).

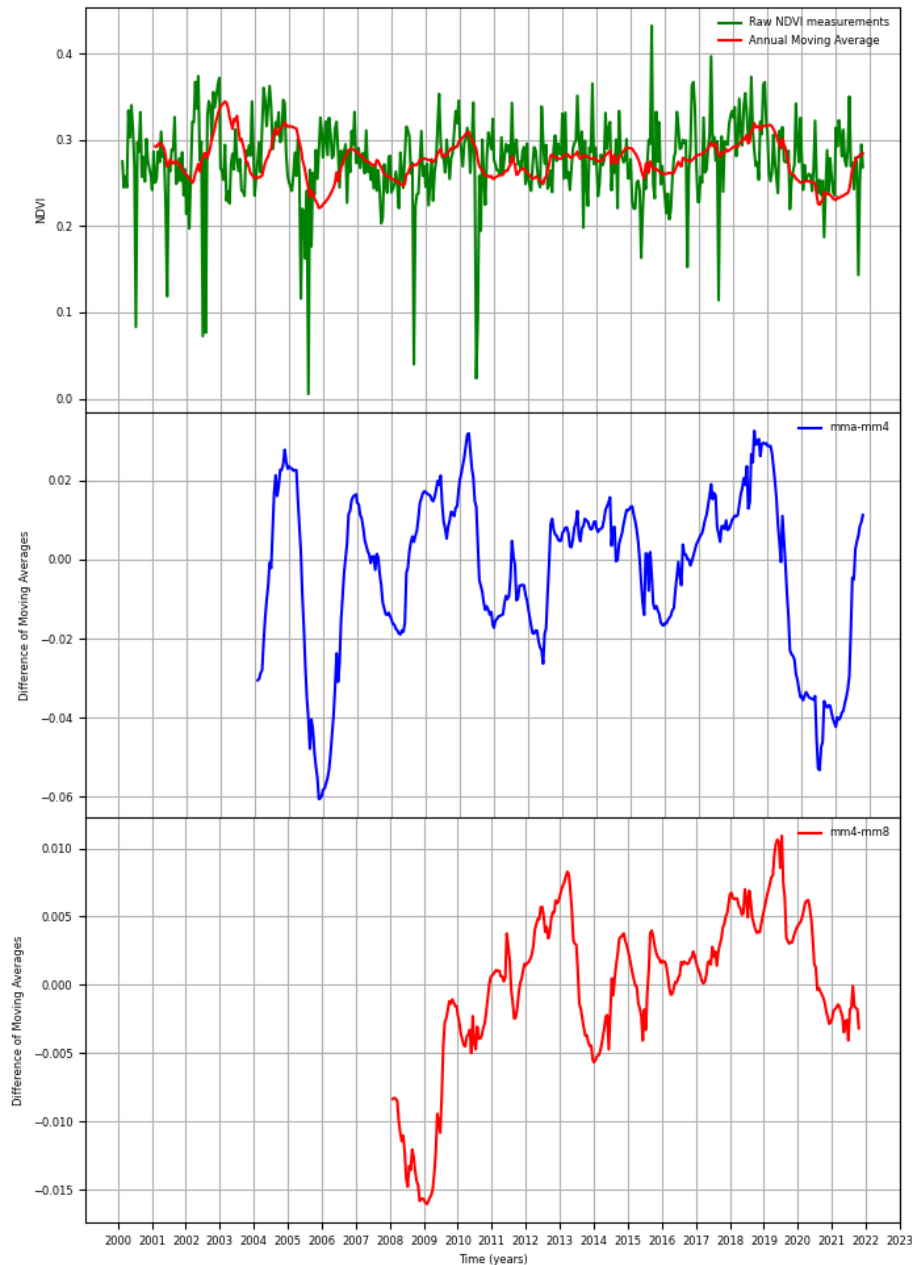


Figura 8. Arquetipo 3 (Coordenadas: -71.066337479162, -39.202083333333; Escenario W+). Análisis temporales: 1) Serie de tiempo original (verde) y media móvil anual (rojo), 2) Media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y media móvil de cuatro años, azul), 3) Media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y media móvil de ocho años, rojo).

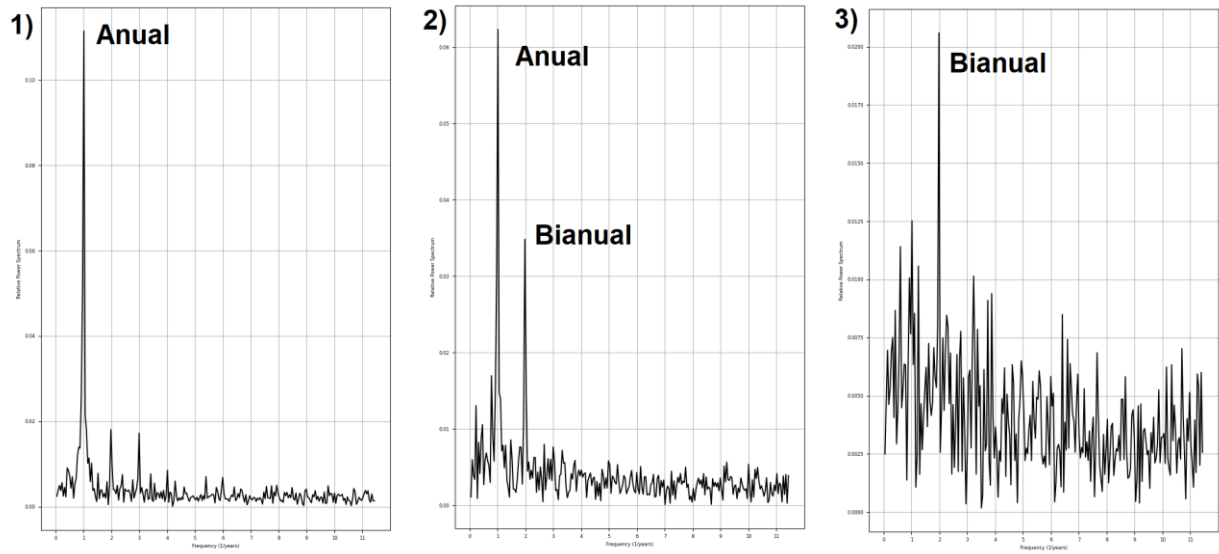


Figura 9. Espectro de potencia de Arquetipos 1, 2 y 3, respectivamente. Las figuras muestran el gradiente con predominancia del ciclo anual en el bosque denso (1, Arq 1), el ciclo anual y bianual en matorral y bosque ralo (2, Arq 2), y la predominancia del ciclo bianual en las estepas (3, Arq 3).



## ANEXO A

### *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:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

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.

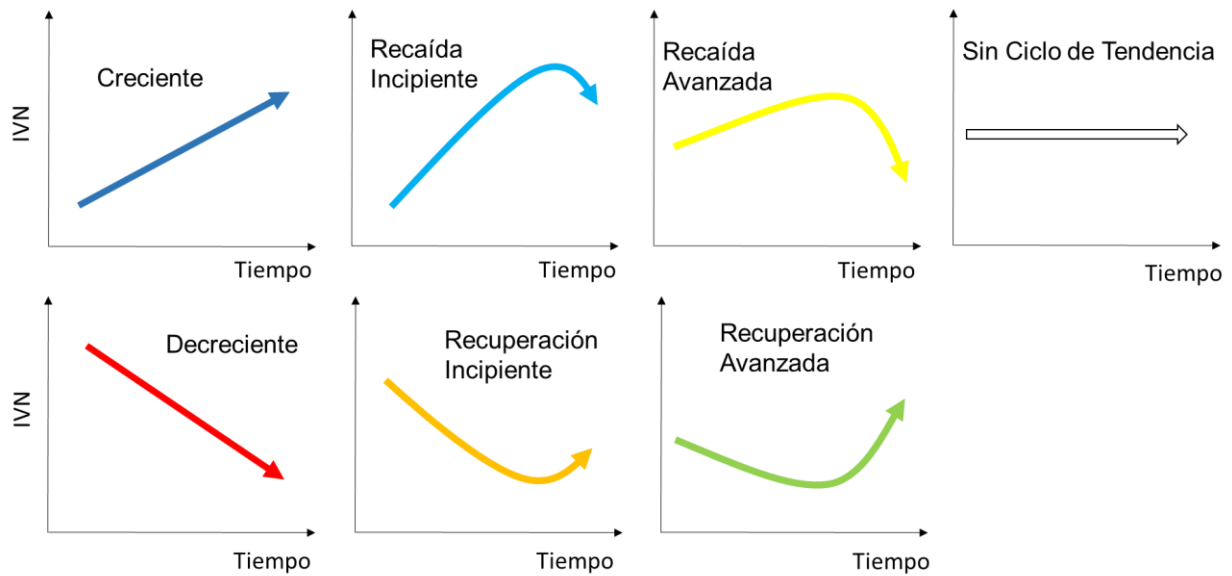


Figura A-1. Clases de Tendencias Cíclicas de NDVI. El color de la flecha identifica el color usado para cada clase en el mapa correspondiente.

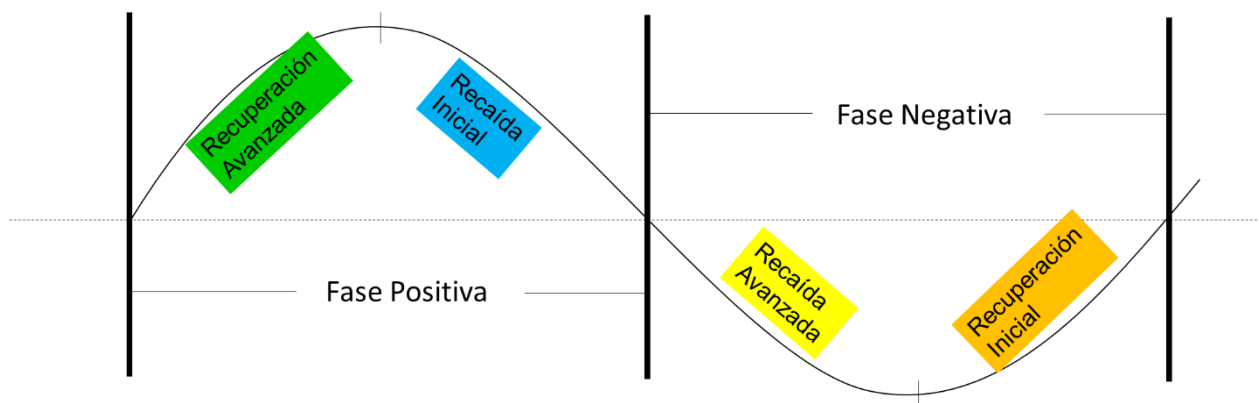


Figura A-2. Fases de Tendencias cíclicas: Positiva, conformada por Recuperación Avanzada y Recaída Inicial; Negativa, conformada por Recaída avanzada y Recuperación inicial.

### 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).

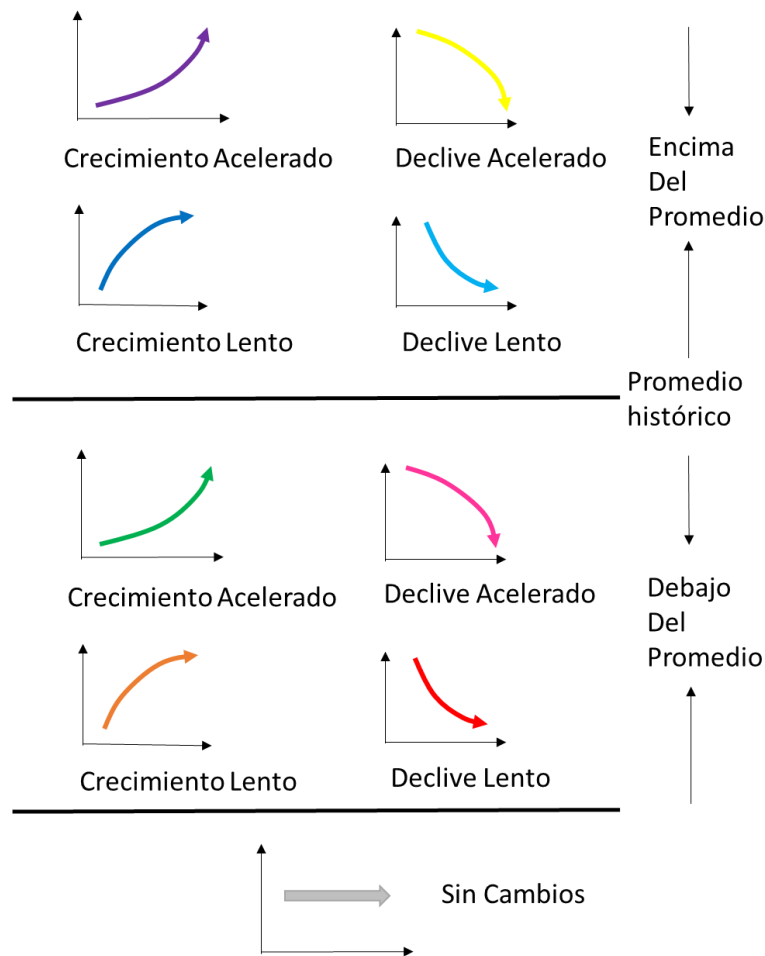


Figura A-3. Clases de Ritmo de Cambio de la Tendencia Cíclica, utilizada en el mapa de la figura correspondiente.

### *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 MMA 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.





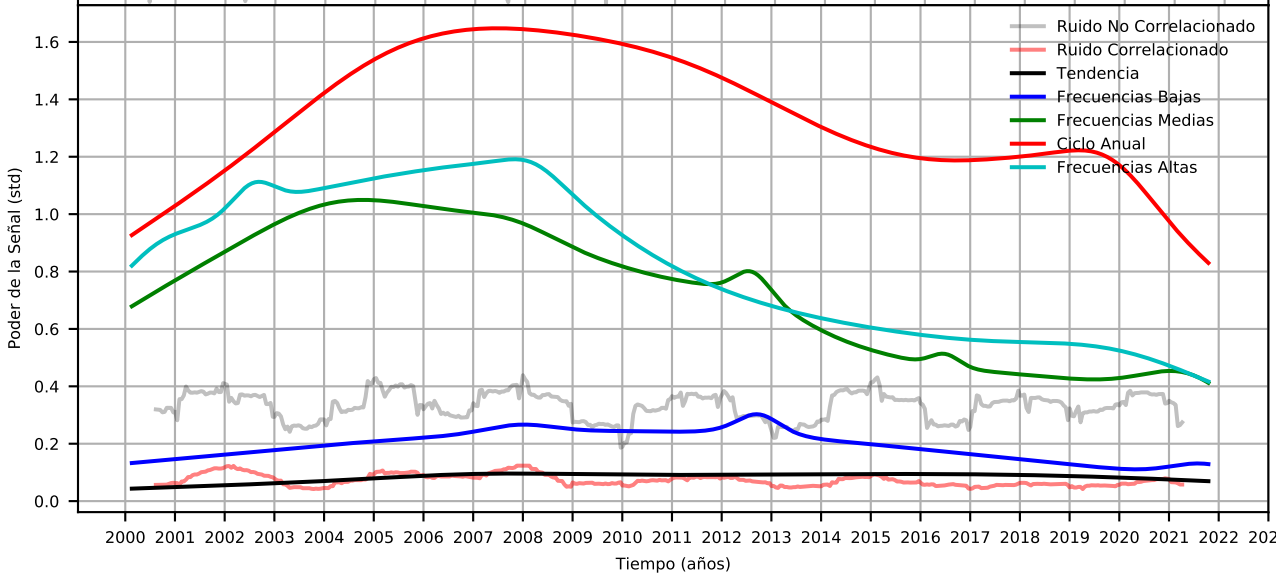
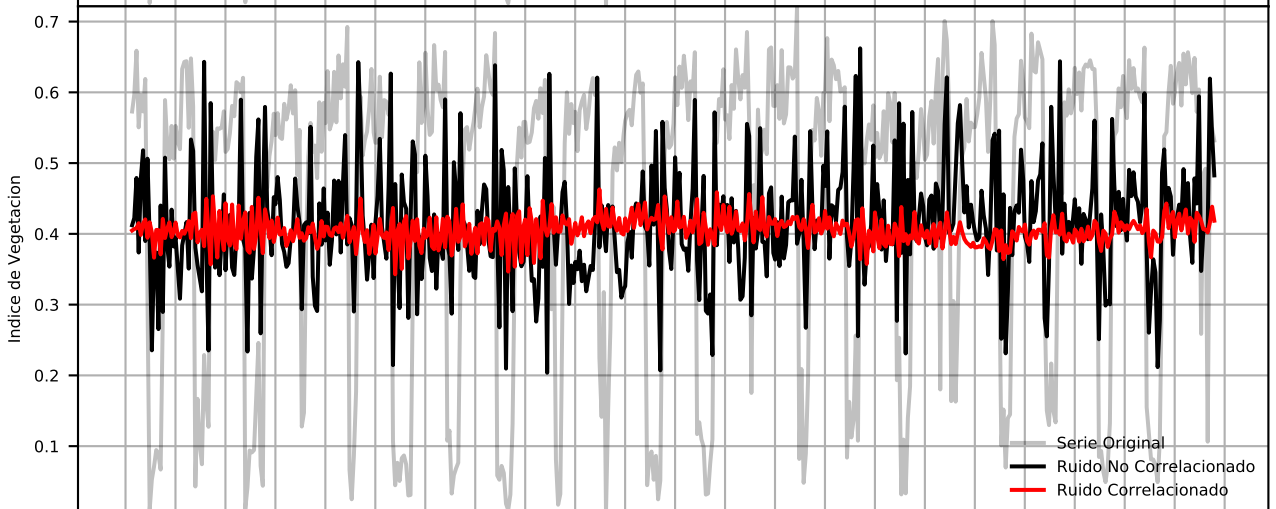
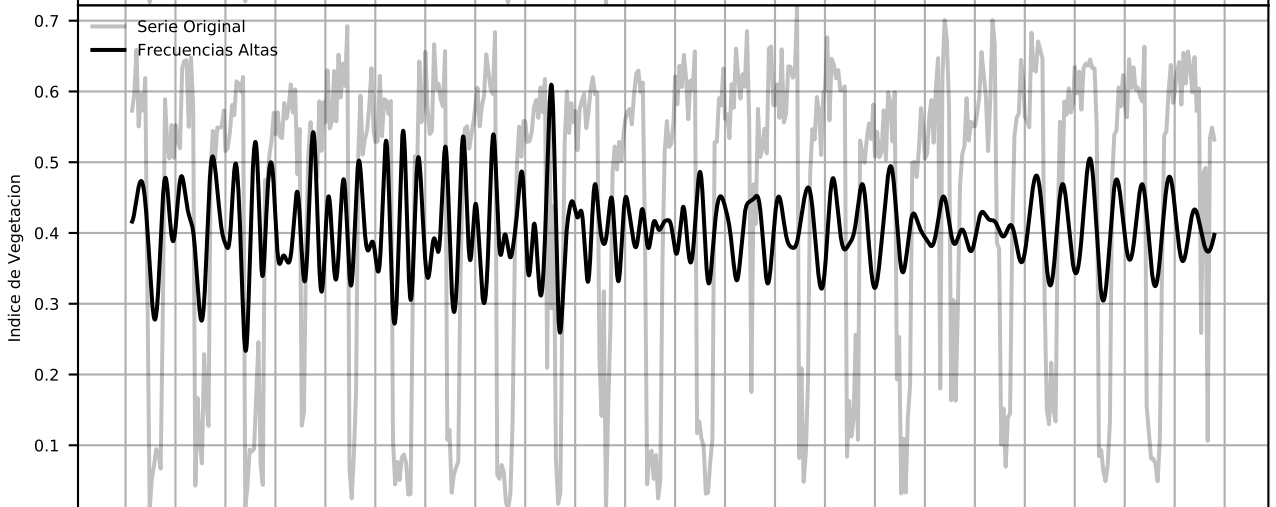
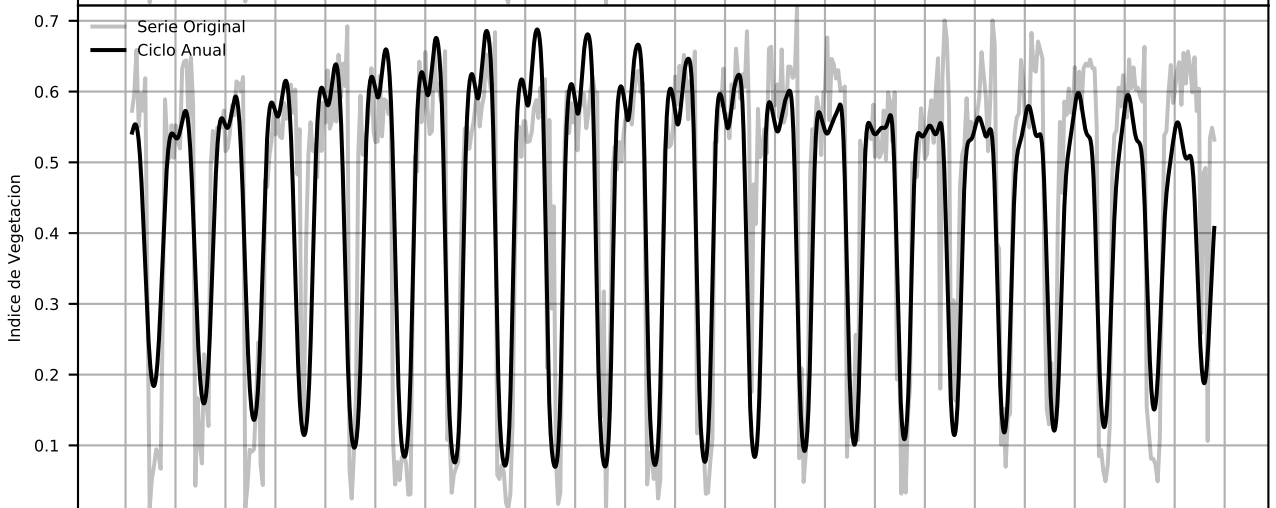
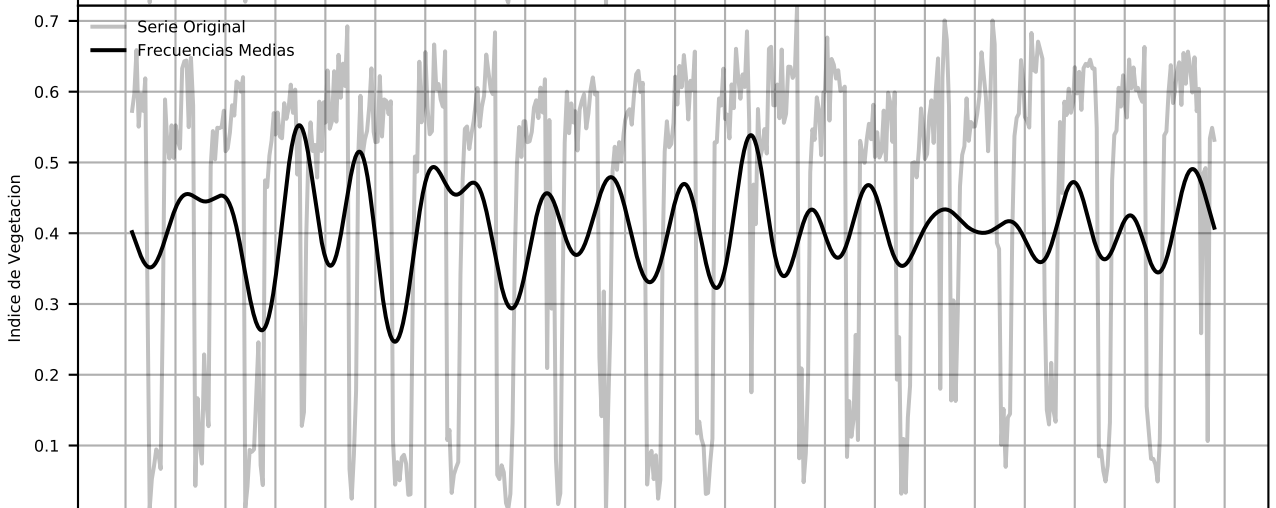
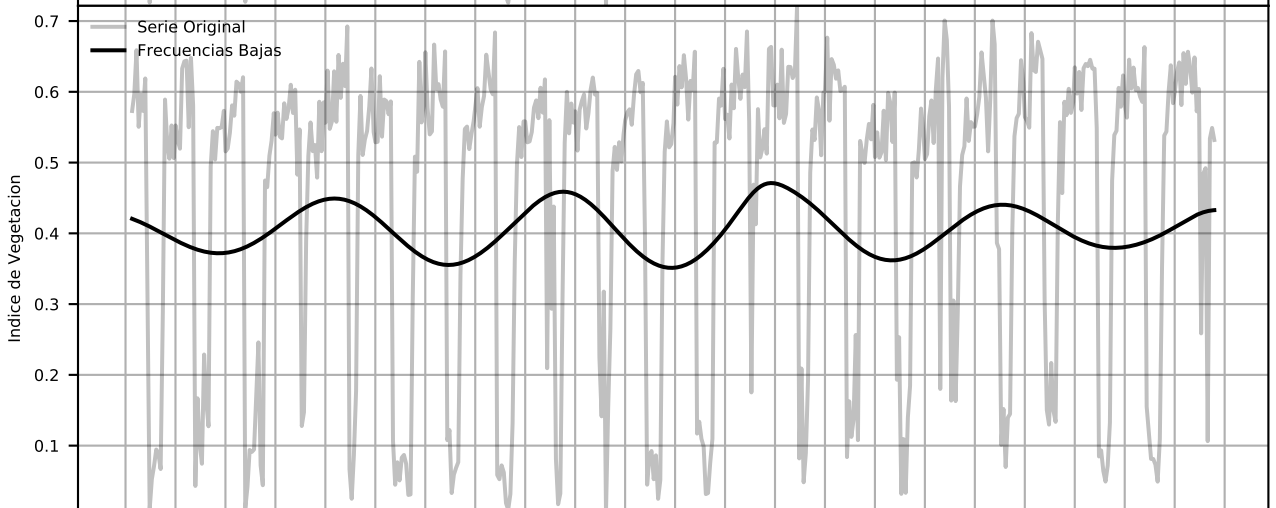
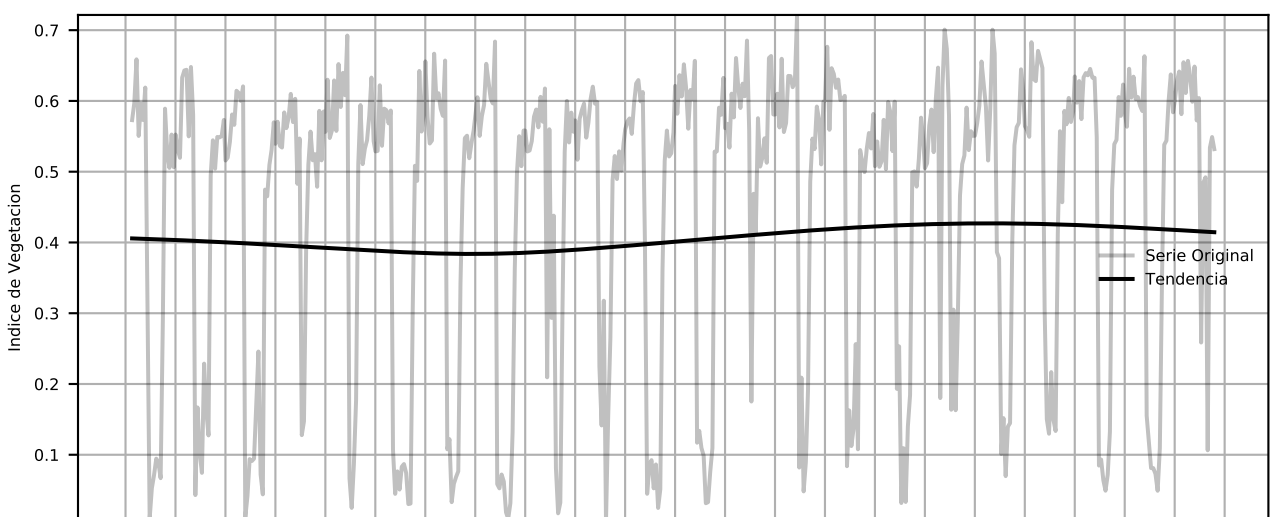
### **Bibliografía**

- 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., Tittone, 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, Tittone 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 2 y el arquetipo 3, respectivamente.



Tiempo (años)

