

Series:
Comunicaciones Técnicas
ISSN 1667-4014

COMUNICACIÓN TÉCNICA N°128
Área Recursos Naturales
Pastizales Naturales

Informe II
Dinámica y prospectiva de la productividad
de la vegetación en la provincia de Neuquén
(2000-2019)

Easdale, M.H.; Bruzzone, O.; Fariña, C.; Umaña, 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

Informe II

Dinámica y prospectiva de la productividad de la vegetación en la provincia de Neuquén (2000-2019)

ENERO 2020

Easdale M.H., Bruzzone O., Fariña, C., Umaña F.

Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (IFAB)

INTA Bariloche – CONICET

Av. Modesta Victoria 4450 (8400),

San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina



El presente informe analiza la situación actualizada a diciembre de 2019, de un informe previo realizado en junio de 2019, de la productividad de los pastizales en la provincia de Neuquén, estimada a partir de series de Índices de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI, siglas en inglés). Para la presente actualización se tomó como base de información la serie de NDVI entre el año 2000 y fines de 2019. Para ello, se analizan como medidas de mediano plazo, la Tendencia Cíclica (la tendencia a largo plazo y ciclos interanuales > 4 años) y el Ritmo de Cambio (dirección y velocidad del cambio) de la productividad de la vegetación a escala provincial.

Por otro lado, se tomaron los 10 sitios seleccionados en el informe de junio-2019, correspondientes a mallines de las zonas sur, centro y norte provincial. Asimismo, se seleccionaron 13 sitios de estepas, correspondientes a lugares donde se encuentran instalados monitores de MARAS (Monitoreo Ambiental de Regiones Áridas y Semiáridas). Para cada uno, se presentan indicadores de la dinámica de la vegetación durante 2000-2019: Serie original, Tendencia Cíclica, Ciclo anual. La metodología utilizada para estos análisis se presenta al final del informe.

1. Síntesis del estado de situación en la provincia de Neuquén

En el territorio de la provincia de Neuquén predominan situaciones respecto a la productividad de la vegetación en fase positiva, específicamente en circunstancias de recuperación avanzada o recaída incipiente, lo cual denota el pulso positivo que tuvo la productividad de los pastizales en los últimos años a escala regional. De todas maneras, algunas zonas registran una predominancia de circunstancias en recuperación inicial desde valores recientes de productividad comparativamente menores, ubicadas en algunas zonas de sierras y mesetas de la región centro y centro-sur, y de cordillera en el centro-norte provincial. Finalmente, un par de zonas bien delimitadas registran circunstancias de recaída avanzada. Una de ellas en situación de alerta actual por mínimos recientes (ubicada en el norte), y la otra en alerta precautoria, por una perspectiva de movimiento hacia valores mínimos en un futuro próximo (ubicada en el sur).

2. Tendencia Cíclica y Ritmo de Cambio por zonas en la provincia de Neuquén

La tendencia cíclica de la productividad de la vegetación, y el ritmo de cambio de dicha tendencia, se presenta con las siguientes diferencias zonales, dentro del territorio de la provincia de Neuquén:

Una Recuperación Avanzada (verde, Fig. 1), en una fase positiva, se registra en gran parte de Sierras y Mesetas, Meseta Central y zonas de Monte Austral correspondientes a los departamentos del centro-sur provincial. En particular Zapala (Fig. 12), este de Picunches (Fig. 24), Picún Leufú, centro-noreste de Collón Curá y centro-Este de Catan Lil. También en una fase positiva, pero en Recaída Inicial (turquesa, Fig. 1), se encuentran los departamentos de Pehuenches, Añelo (Figs. 22 y 23) y Confluencia, correspondientes al Monte Austral.

El ritmo de cambio para dichas zonas registra que para el centro-oeste de Añelo y Confluencia, centro-este de Zapala (Fig. 12), Picún Leufú (Fig. 21) y extremo norte de Collón Curá la recaída ocurre lentamente desde valores superiores al promedio histórico (turquesa, Fig. 2) (ver Fig. 15). En las zonas centro-oeste de Zapala, centro-este de Catan Lil y centro de Collón Curá la recaída también ocurre de manera acelerada, desde valores superiores al promedio (amarillo, Fig. 2). Finalmente, las zonas centro-este de Pehuenches, Añelo y Confluencia presentan una recaída lenta, con valores por debajo del promedio histórico (rojo, Fig. 2).

Otra zona ubicada en una fase positiva, con situaciones entre Recuperación Avanzada (verde) y Recaída Inicial (turquesa) refiere a la Precordillera, a lo largo de toda la provincia. En el centro-norte provincial,



la recaída ocurre predominantemente a un ritmo lento, con algunas zonas con mayor aceleración (turquesa y amarillo, respectivamente; Fig. 2; Fig. 26). En cambio, al sur provincial el cambio hacia una recaída inicial estaría ocurriendo también con ritmo lento, pero con valores por debajo del promedio histórico.

Situaciones entre Recuperación Inicial (naranja) y Recuperación Avanzada (verde, Fig. 1), que denotan una transición desde una fase negativa a una fase positiva, se registran las sierras y mesetas (al centro de Picunches (ej. Fig. 19), este de Loncopué (ver Fig. 24) y centro-sur de Catan Lil (ej. Figs. 16 y 17). La zona central de Picunches presenta una Recaída Acelerada desde valores por encima del promedio histórico (alerta a mediano plazo), mientras que la zona de Recuperación Inicial en Loncopué ocurre de manera lenta, también con valores superiores al promedio. En cambio, el centro-sur de Catan Lil y noroeste de Collón Curá presentan recaídas lentas con valores por debajo del promedio histórico, denotando una situación de alerta para el corto plazo. Por otro lado, las situaciones de Recuperación Inicial y Avanzada también se registran en la zona cordillerana del centro-norte (Figs. 8 y 9), Cordillera de Los Andes, Cordillera del Viento, eje volcánico Domuyo-Tromen y Cordón del Chachil, con crecimientos mixtos lentos y acelerados, predominantemente desde valores debajo del promedio histórico (marrón y verde, respectivamente; Fig. 2).

Finalmente, zonas en una fase negativa, en Recaída Avanzada (amarillo, Fig. 1) se registran en dos zonas bien delimitadas: i) al Norte provincial en zona de invernadas del ecotono meseta-monte (en el sur del departamento Chos Malal y este de Ñorquín), confirmando una situación actual grave, aunque con un cambio hacia un crecimiento acelerado, pero aún con valores por debajo del promedio histórico, (verde, Fig. 2), y ii) al Sur provincial, en sierras y mesetas ubicadas al este de Lacar y suroeste de Collón Curá, aunque registrando un cambio hacia valores crecientes con ritmo lento, y en niveles superiores al promedio.

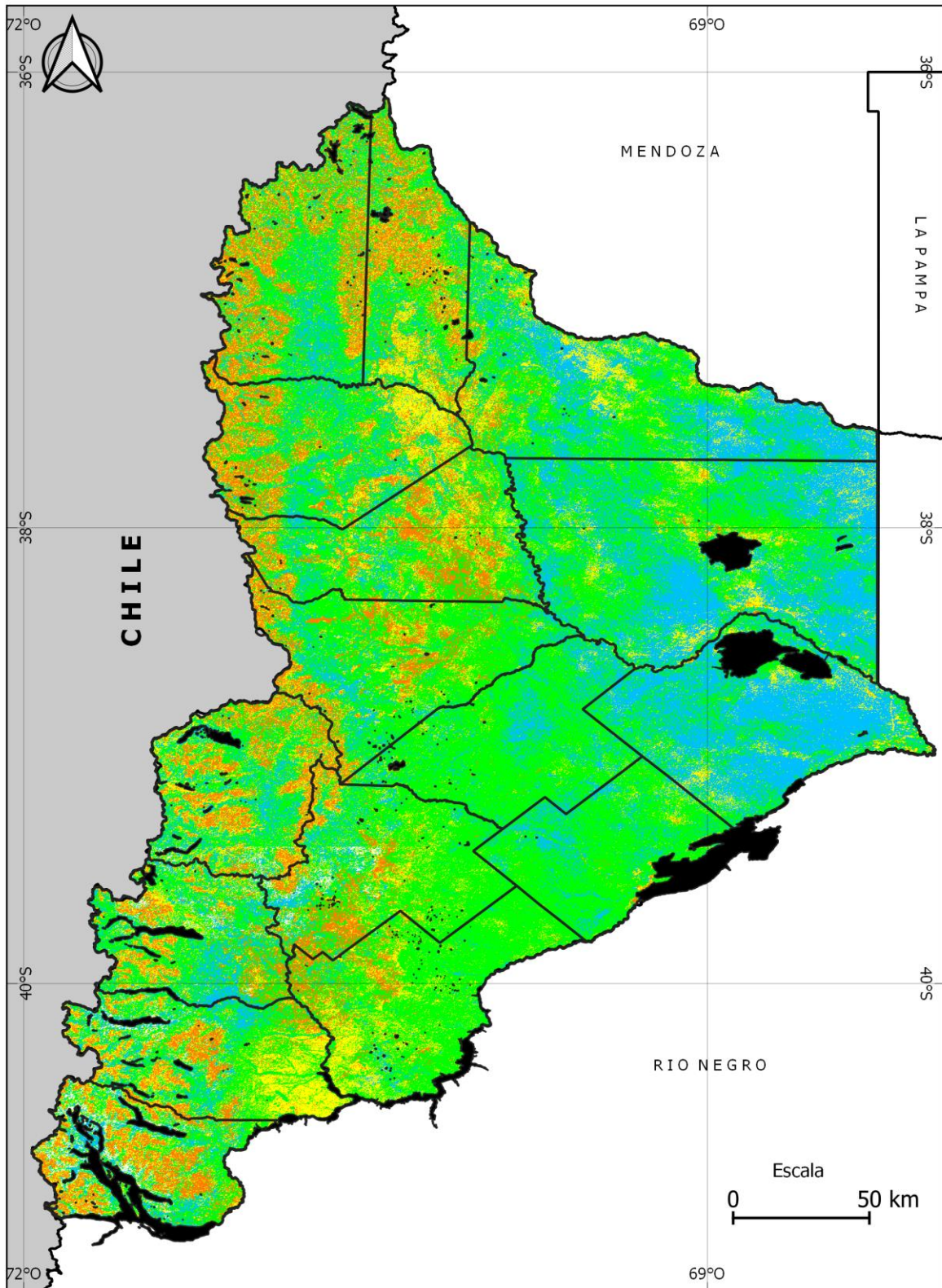


Fig. 1. Tendencia cíclica en la provincia de Neuquén. Las líneas negras identifican límites de departamentos (Bran et al., 2002). Referencia de colores de Ciclos de Tendencia: Creciente (azul ■), Recaída Incipiente (turquesa ■), Recaída Avanzada (amarillo ■), Decreciente (rojo ■), Recuperación



Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Presidencia de la Nación

Incipiente (naranja ■), Recuperación Avanzada (verde ■), Sin Ciclo de Tendencia (blanco) (ver Fig. 27 en metodología). El color negro indica cuerpos de agua.

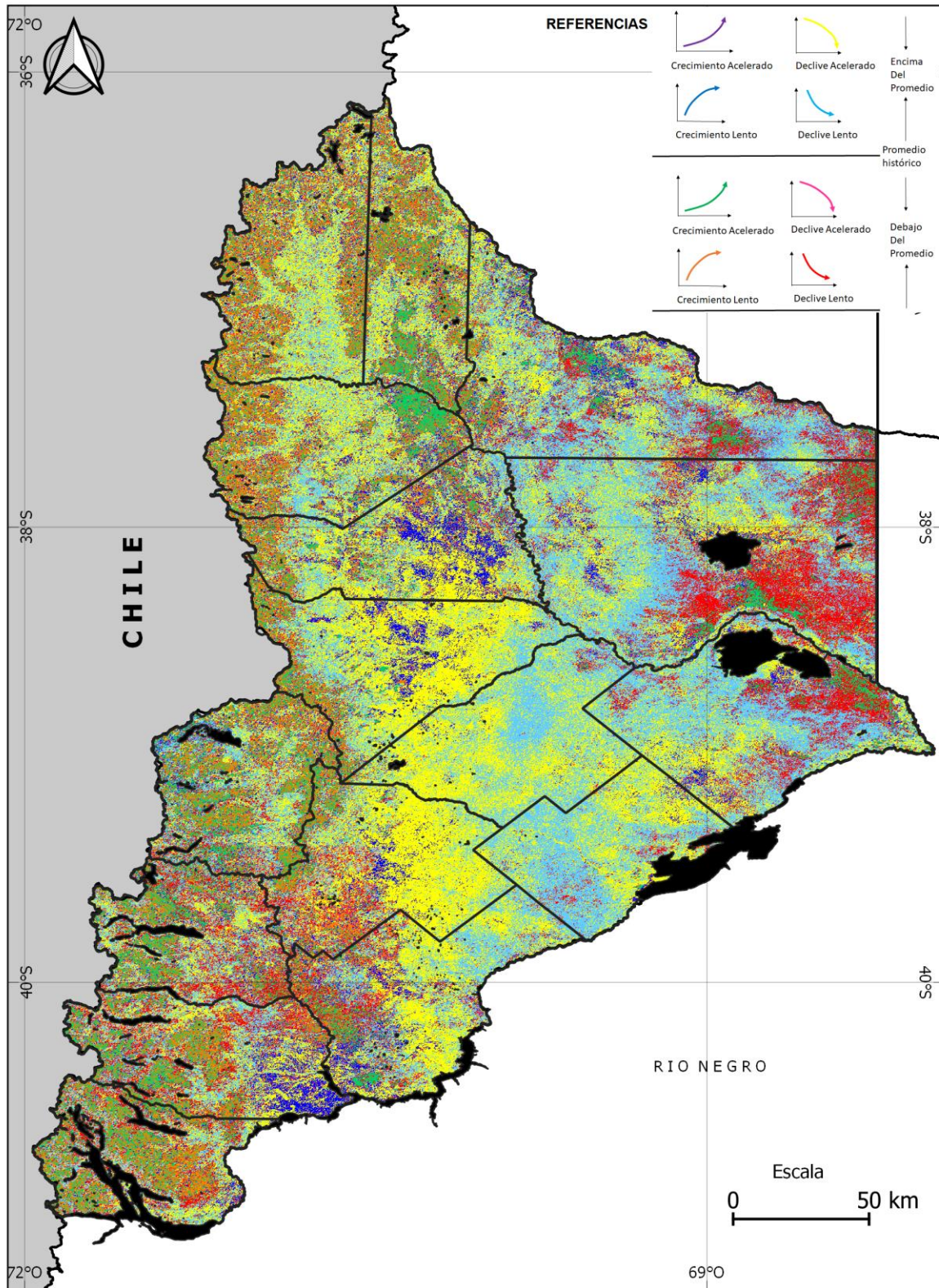




Fig. 2. Ritmo de cambio de la tendencia cíclica en la provincia de Neuquén. Referencias: 1. Valores por encima del promedio: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, violeta ■), Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa, azul ■), Declive lento (sentido negativo y con 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.

3. Dinámica de la productividad de mallines en áreas piloto

Se seleccionaron 10 sitios correspondientes a mallines de las zonas sur, centro y norte de la provincia de Neuquén (Tabla 1), ubicados en las áreas piloto relevadas por INTA: Chos Malal, Loncopué, Zapala y Junín de los Andes (Gaitán et al. 2009, 2015a y 2015b) (Fig. 6). Para cada sitio, se presenta una descripción de suelo, vegetación y productividad forrajera media, e indicadores de la dinámica de la vegetación durante el período 2000-2019 (serie original, tendencia cíclica y ciclo anual).

Tabla 1. Características de mallines y ubicación geográfica por área piloto.

Clase de mallín	Longitud – Latitud	Área Piloto
#1. Mallín muy húmedo	-71,03597, -39,68764	Junín de los Andes - NE Huiliches,
#2. Mallín húmedo	-70,79913, -39,98751	Junín de los Andes – Oeste Collón Curá
#3. Mallín subhúmedo-seco de Festuca pallescens	-70,61422, -39,96673	Junín de los Andes – Oeste Collón Curá
#4. Mallín muy húmedo	-70,69283, -37,72270	Loncopué – Centro Ñorquín
#5. Mallín subhúmedo-húmedo	-70,72110, -38,12601	Loncopué – Oeste
#6. Mallín seco-degradado	-70,69914, -38,14679	Loncopué – Oeste
#7. Mallín muy húmedo	-70,66731, -37,48017	Chos Malal – Norte Ñorquín
#8. Mallín subhúmedo-seco	-70,70336, -37,4529	Chos Malal – Norte Ñorquín
#9. Mallín subhúmedo-seco	-70,37457, -38,99689	Zapala – Oeste
#10. Mallín/cortaderal húmedo	-70,04698, -38,90979	Zapala – Centro

La descripción de la vegetación y del suelo de las diferentes clases de mallines se basa en estudios previos realizados por el INTA (Gaitán et al. 2015 (a), Gaitán et. al 2015 (b); Gaitán 2009).

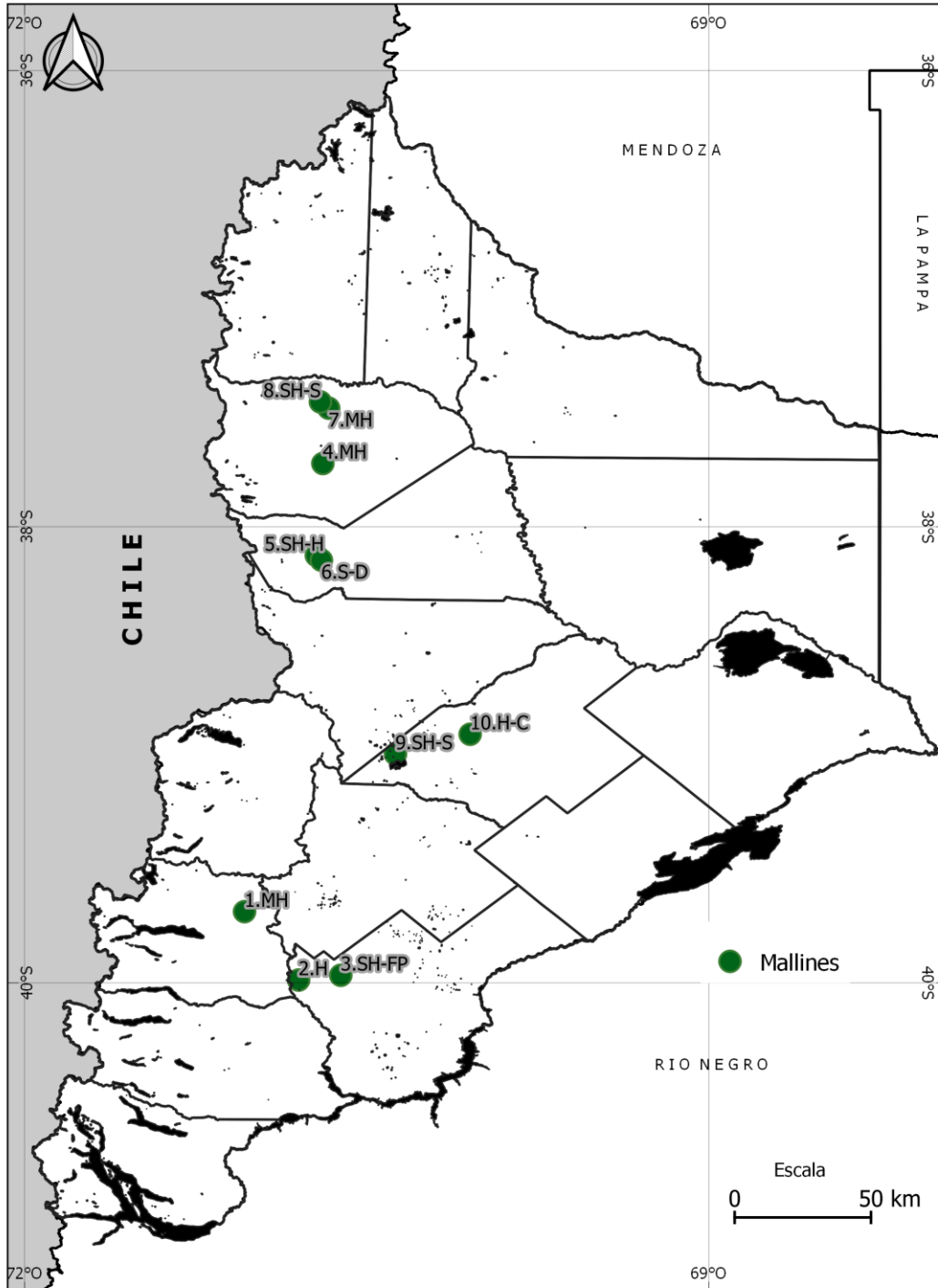


Fig. 3. Ubicación geográfica de los mallines seleccionados en áreas piloto, provincia de Neuquén (ver detalle en Tabla 1).



ZONA SUR – Junín de los Andes

#1.SUR-Junín de los Andes. Mallín muy húmedo

VEGETACIÓN: Praderas higrófilas de 100% de cobertura vegetal. Las especies más abundantes son junco (*Juncus balticus*) y pasto mallín (*Poa pratensis*), acompañadas por cola de zorro (*Hordeum sp.*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y diente de león (*Taraxacum officinale*). Pueden encontrarse también, pero con menor cobertura, pasto miel (*Holcus lanatus*), pasto fino de mallín (*Eleocharis albibracteata*), cola de chivo de mallín (*Carex subantactica*), y coironcito (*Carex gayana*). Suele haber también *Festuca arundinacea* sembrada.

PRODUCTIVIDAD FORRAJERA: 5000 - 7500 Kg MS/ha/año

SUELO: Levemente ácidos, no salinos, con abundante contenido de materia orgánica en superficie. La profundidad de la napa es 0-50 cm, por lo que el riesgo de inundación es alto.

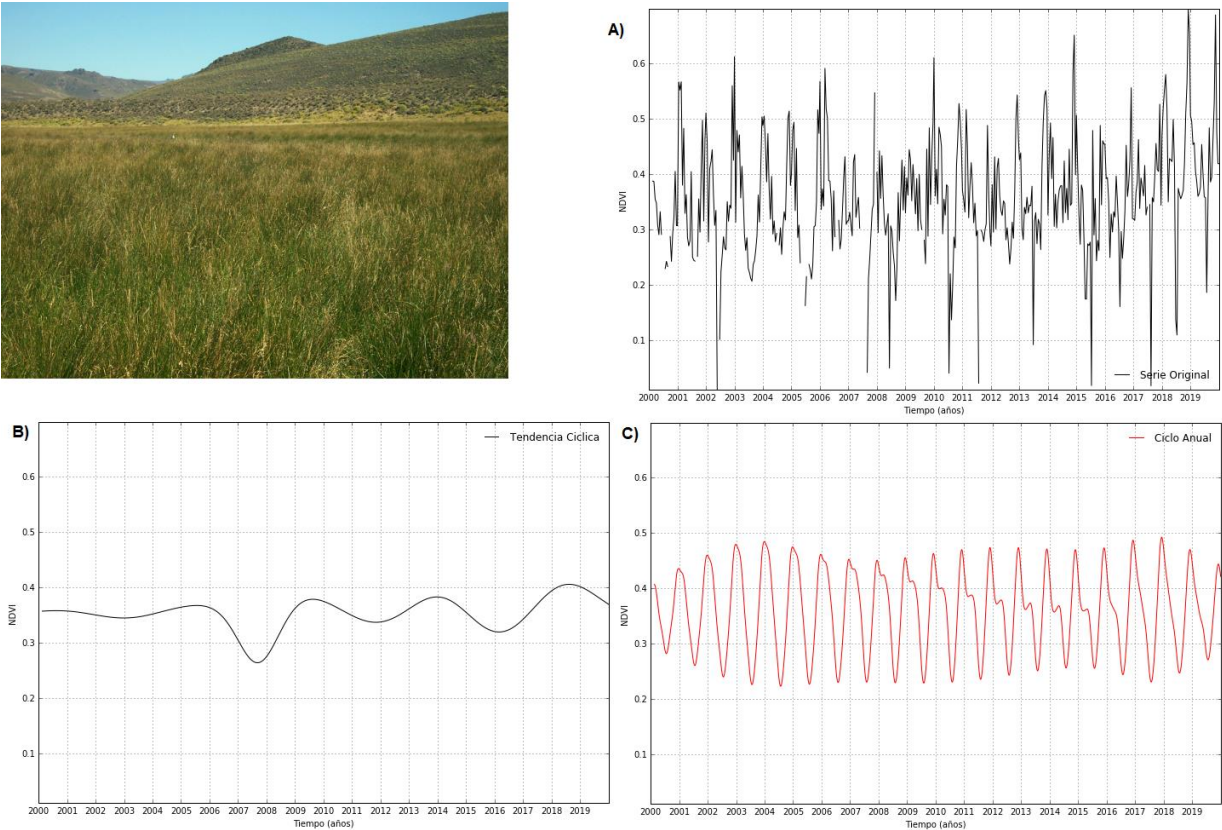


Fig. 4. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #1, Junín de los Andes, Noreste de Huiliches: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECAÍDA INCIPIENTE. La dinámica de la productividad muestra una tendencia cíclica oscilante en torno a una tendencia estable a lo largo de los últimos 10 años, con un máximo reciente en el año 2018, a partir del cual comienza a retroceder (Fig. 4B). La amplitud del ciclo anual también presenta pocas variaciones, con una marcada estacionalidad, con

máximos en verano y mínimos en invierno (Fig. 4C). Los valores máximos estivales en los últimos dos ciclos se ubican entre los máximos de la serie analizada (Fig. 4A).

#2.SUR-Junín de los Andes. Mallín húmedo

VEGETACIÓN: Praderas gramíneas higrófilas de 80-90% de cobertura. Las especies más abundantes son junco y pasto mallín, acompañadas por diente de león, pasto miel, cola de zorro y cola de chivo de mallín.

PRODUCTIVIDAD FORRAJERA: 3000 - 5000 Kg MS/ha/año

SUELO: neutros a moderadamente alcalinos, ligeramente salinos, muy bien provistos de materia orgánica en superficie. La profundidad de la napa es 50-100 cm, por lo que el riesgo de inundación es alto.

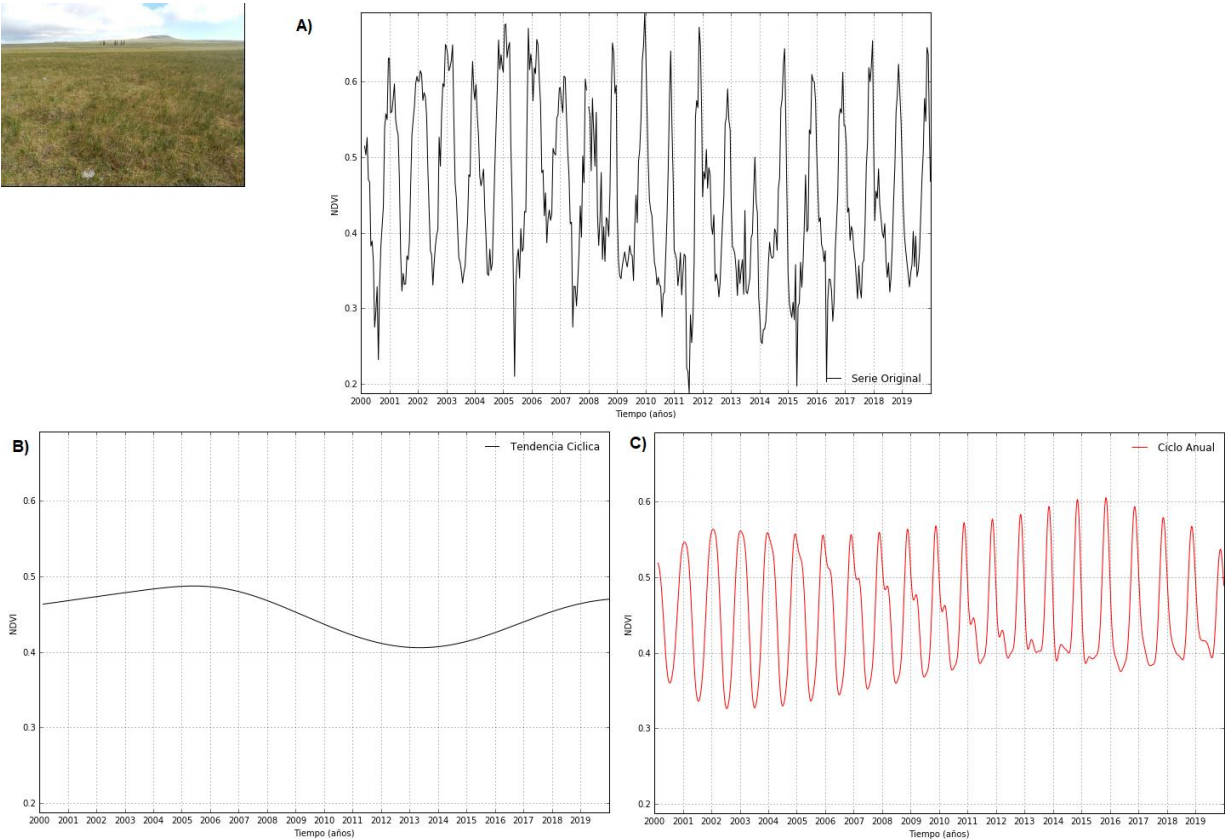


Fig. 5. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #2, zona Junín de los Andes, Oeste Collón Curá: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECUPERACIÓN INICIAL. La tendencia osciló entre un máximo en el año 2004 hacia un mínimo en el año 2013, recuperando posteriormente entre 2014 y 2019, pero aún con valores menores a los de la década pasada (Fig. 5B). El período de recuperación luego del valor mínimo lleva 6 años. El ciclo anual registró una marcada estacionalidad, con máximos en fines de primavera y mínimos en invierno. La amplitud del ciclo anual viene disminuyendo levemente en los últimos cuatro años (Fig. 5C), aunque los valores máximos estivales se ubican entre los históricos de la serie (Fig. 5A).

#3.SUR, Junín de los Andes. Mallín subhúmedo-seco de *Festuca pallescens*

VEGETACIÓN: Praderas gramíneas de 75-85% de cobertura vegetal. La especie dominante es el coirón blanco (*Festuca pallescens*) acompañado por pasto mallín y diente de león. En menores proporciones pueden encontrarse cola de chivo de mallín, junco, leña de piedra (*Azorella trifurcata*) y trébol blanco.

PRODUCTIVIDAD FORRAJERA: 1000 - 2000 Kg MS/ha/año

SUELO: moderados a fuertemente alcalinos, ligeramente salinos, bien provistos de materia orgánica en superficie. La profundidad de la napa es 100-150 cm, por lo que el riesgo de inundación es moderado.

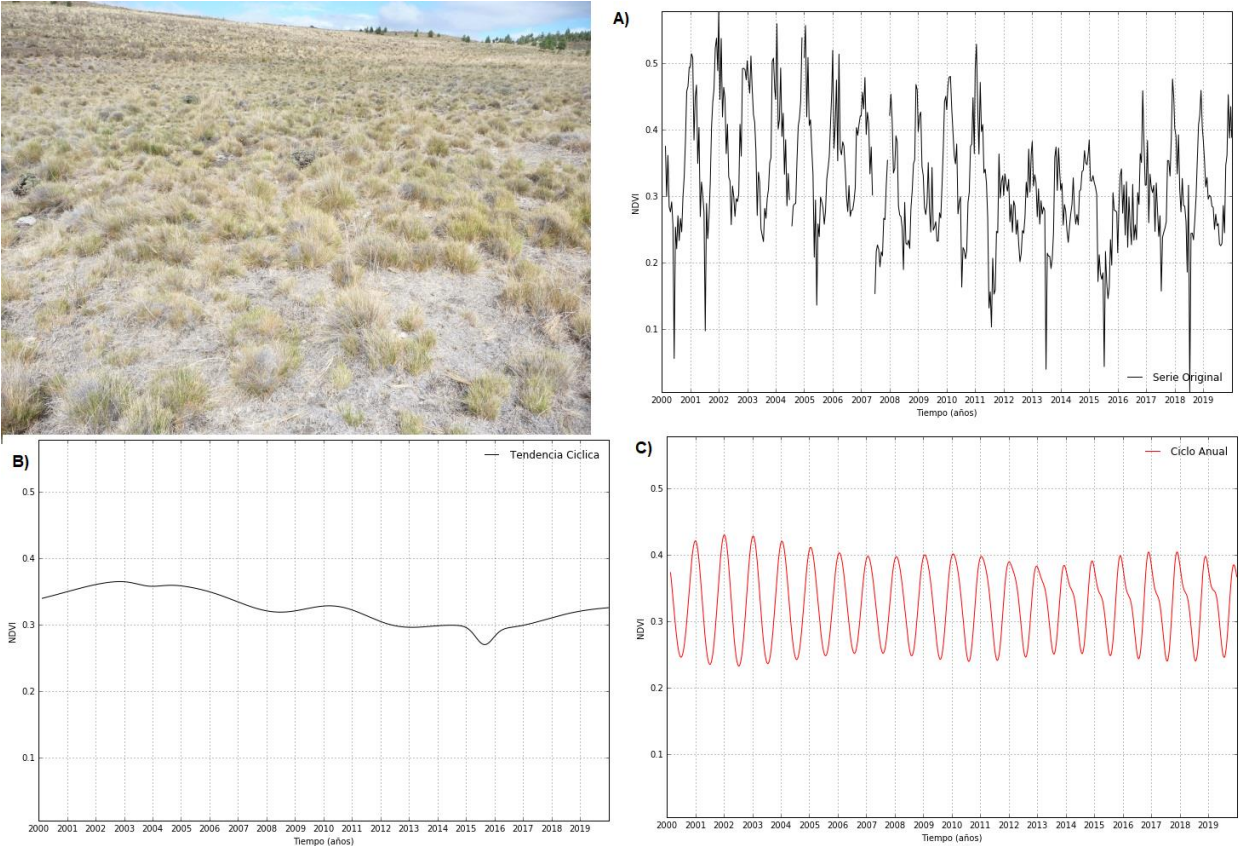


Fig. 6. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #3, zona Junín de los Andes, Oeste de Collón Curá: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: **RECUPERACIÓN INICIAL.** La tendencia cíclica osciló entre un máximo en el año 2003-2004 hacia un mínimo en el año 2015, recuperando posteriormente entre 2016 y 2019, pero aún con valores menores a los de la década pasada (Fig. 6B). La amplitud del ciclo anual fue máxima en el período 2001-2003, disminuyendo a valores mínimos entre 2013-2014, ampliándose muy levemente de nuevo con posterioridad (Fig. 6C), en conjunción con el incremento de la tendencia. Los valores estivales de los años 2016-2019 se ubicaron un 20% por debajo que los registrados entre 2001-2004, aunque un 18% por encima de los valores entre 2012-2015 (Fig. 6A).

ZONA CENTRO-OESTE y NORTE (Loncopué - Chos Malal)

#4.CENTRO-OESTE, Ñorquín. Mallín muy húmedo

VEGETACIÓN: Praderas gramíneas de 95-100% de cobertura vegetal. Las especies más abundantes son junco, pasto mallín y trébol blanco, acompañadas por diente de león, *Carex gayana* y cola de zorro. En menor cobertura suelen estar presentes pasto fino de mallín, pasto miel, cola de chivo de mallín, timote (*Phleum pratense*) y llantén o siete venas (*Plantago lanceolata*). Es común encontrar también especies implantadas como *Festuca arundinacea* y trébol de carretilla (*Medicago lupulina*).

PRODUCTIVIDAD FORRAJERA: 5000 - 7000 Kg MS/ha/año

SUELO: ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos, no salinos, bien provistos de materia orgánica en superficie. El riesgo de inundación es muy alto.

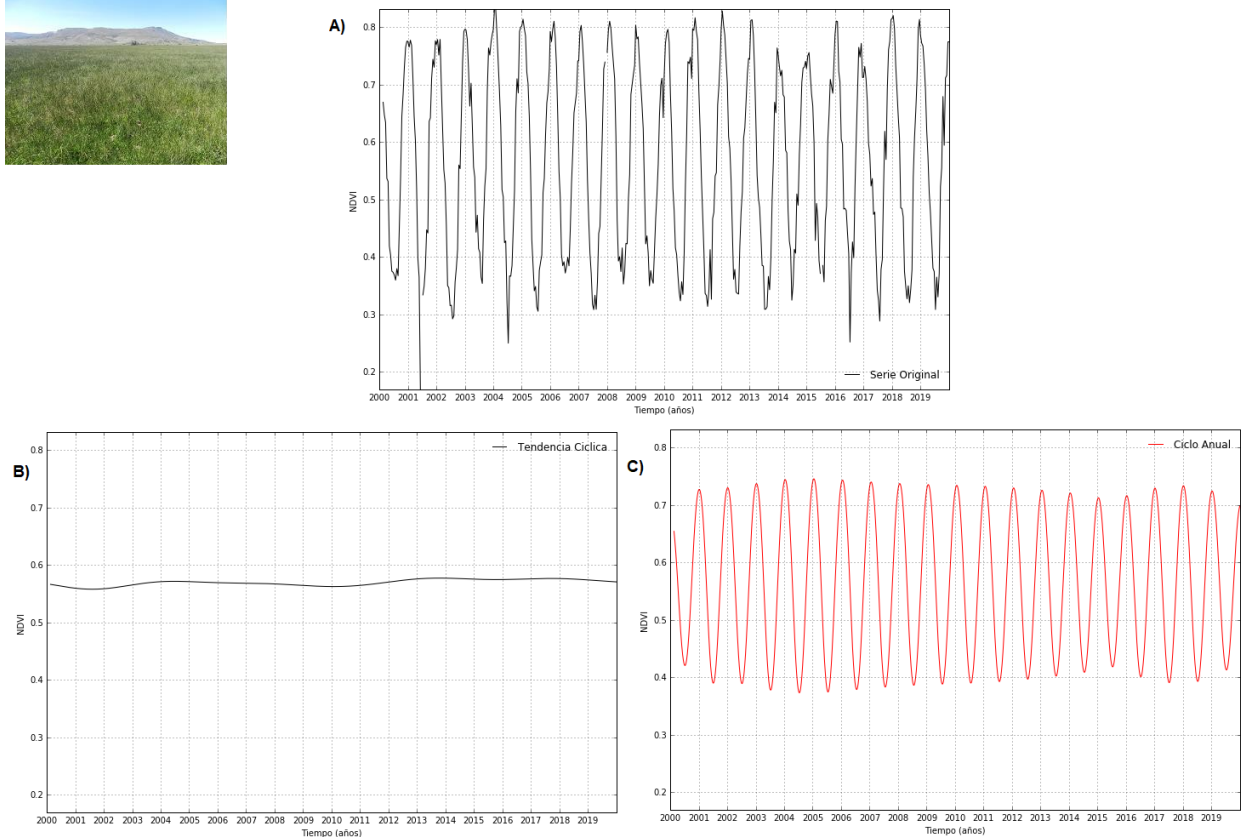


Fig. 7. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #4, zona centro-oeste, Ñorquín: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: SIN CAMBIOS (Fig. 7B). La tendencia y la amplitud del ciclo anual se mantuvieron totalmente estable durante todo el período (Fig. 7C). Los valores estivales de los años 2017 y 2018 se ubicaron un 7% por encima, mientras que el 2019 se ubica en niveles similares a los de los años 2013, 2014 y 2016 (Fig. 7A).

#5.CENTRO-OESTE, Loncopué. Mallín subhúmedo-húmedo

VEGETACIÓN: Praderas gramíneas de 70-90% de cobertura vegetal. Las especies más abundantes son junco, pasto mallín y diente de león. En menor cobertura suelen estar presentes chacay (*Discaria trinervis*), *Carex gayana*, cola de chivo de mallín, cola de zorro, entre otras.

PRODUCTIVIDAD FORRAJERA: 1500 - 3000 Kg MS/ha/año

SUELO: neutro a moderadamente alcalinos, no salinos, con bajo contenido de materia orgánica. El riesgo de inundación es ocasional.

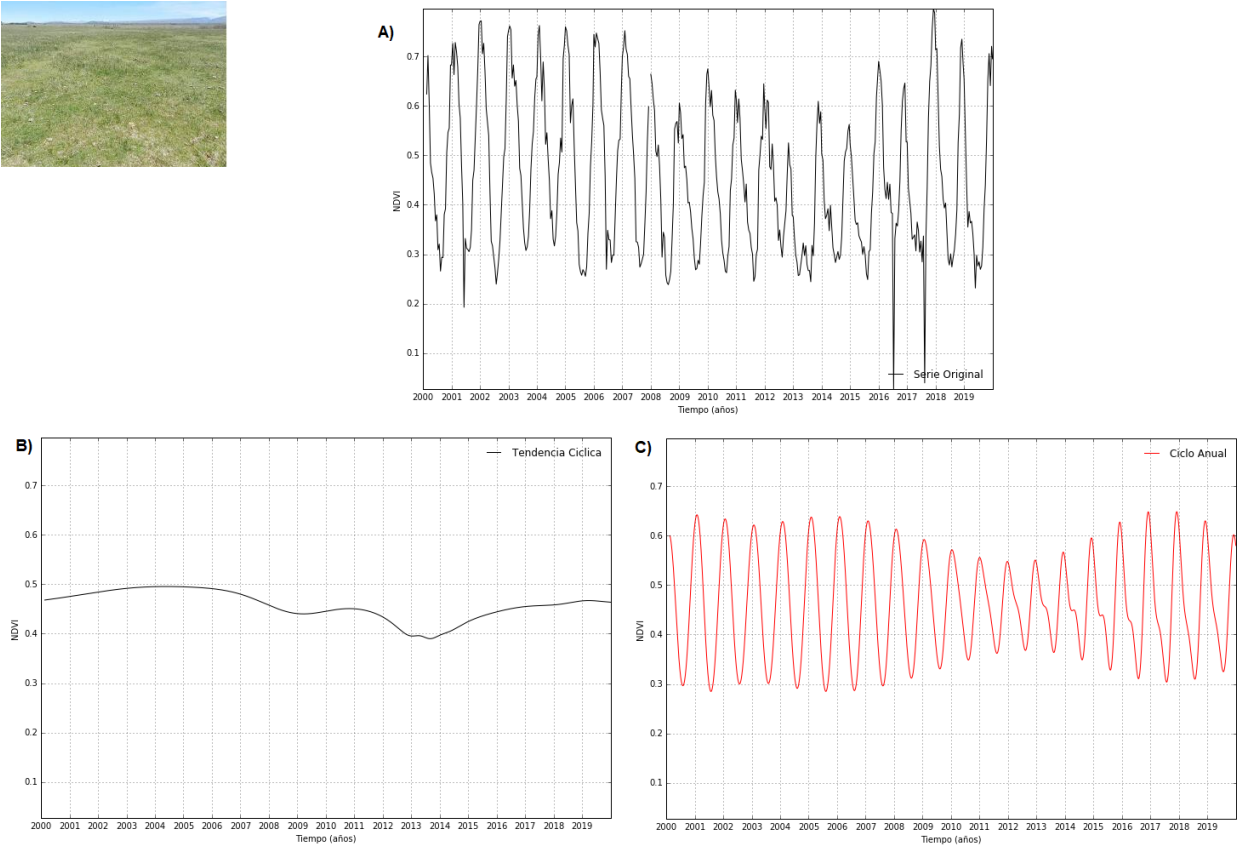


Fig. 8. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #5, zona centro-oeste de Loncopué: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: **RECUPERACIÓN INICIAL.** La tendencia cíclica osciló entre un máximo en el año 2004 hacia un mínimo en el año 2013, recuperando posteriormente entre 2014 y 2019, pero aún con valores menores a los de la década pasada (Fig. 8B). La amplitud del ciclo anual fue máxima en el período 2005-2006, disminuyendo a valores mínimos entre 2012-2013, ampliándose de nuevo con posterioridad (Fig. 8C), en conjunción con el incremento de la tendencia. Los valores estivales de los años 2016 y 2017 se ubicaron en torno a los máximos registrados en los 20 años, un 18% por encima de los valores entre 2012-2015. Los valores estivales de 2018-2019 y 2019-2020 registran niveles descendentes, pero aún en niveles altos respecto de la serie analizada (Fig. 8A).

#6-CENTRO-OESTE, Loncopué. Mallín seco-degradado

VEGETACIÓN: Praderas gramíneas de 50-80% de cobertura vegetal. Las especies más abundantes son junco, pasto mallín y diente de león. En menor cobertura suelen estar presentes chacay, cola de chivo de mallín, trébol blanco y especies propias de sitios secos e indicadoras de degradación como cebadilla anual (*Bromus tectorum*), lengua de vaca (*Rumex crispus*) y vinagrillo (*Rumex acetosella*).

PRODUCTIVIDAD FORRAJERA: menor a 200 Kg MS/ha/año

SUELO: ligera a moderadamente alcalinos, no salinos, con escaso contenido de materia orgánica.

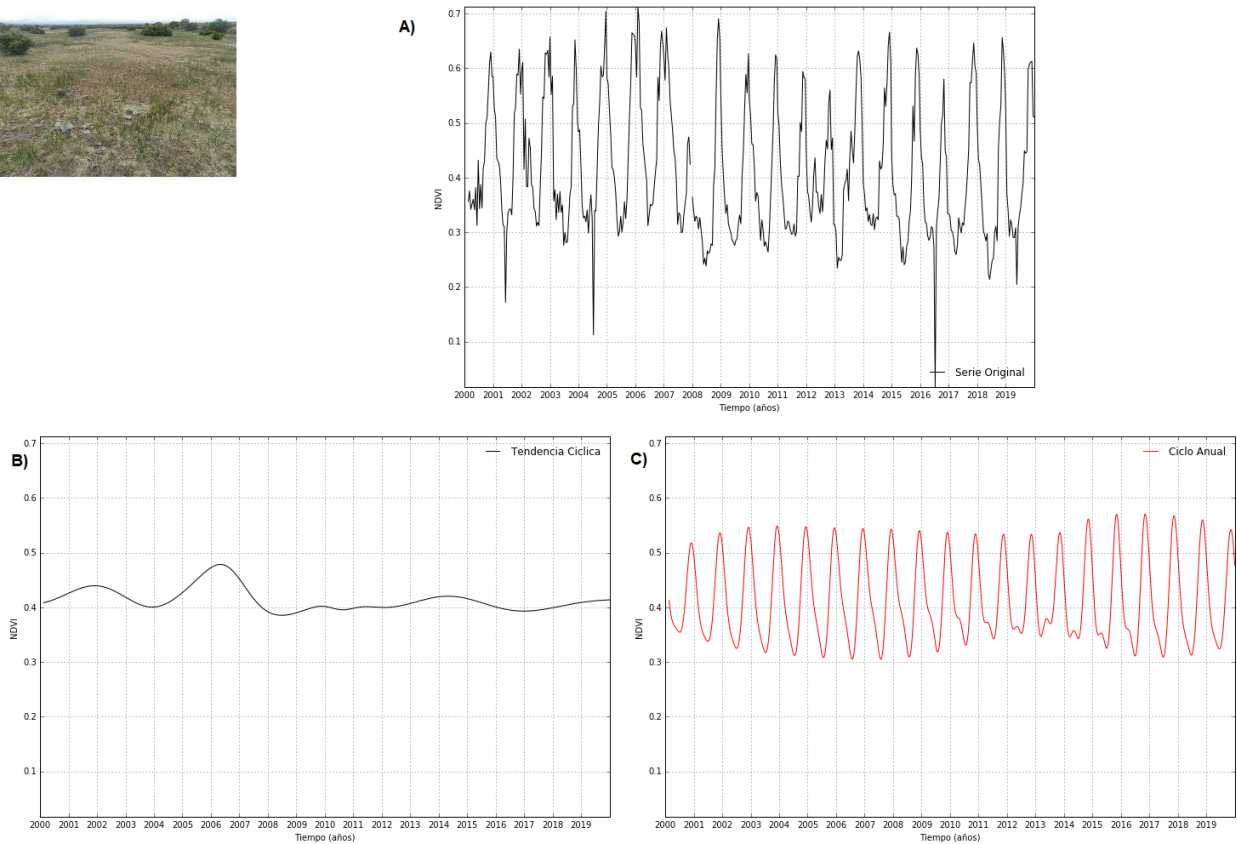


Fig. 9. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #6, zona centro-oeste, Loncopué: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECUPERACIÓN INICIAL. La tendencia cíclica osciló entre un máximo en el año 2006 hacia un mínimo en el año 2016, recuperando posteriormente entre 2017 y 2019, pero aún con valores menores a los de la década pasada (Fig. 9B). La amplitud del ciclo anual fue mínima entre 2012-2013, ampliándose con posterioridad (Fig. 9C), en conjunción con el incremento de la tendencia. El valor estival del último año se ubicó en niveles similares a los años previos, pero un 15% por debajo de los registrados entre 2004 y 2006 (Fig. 9A).

#7-NORTE, Ñorquín. Mallín muy húmedo

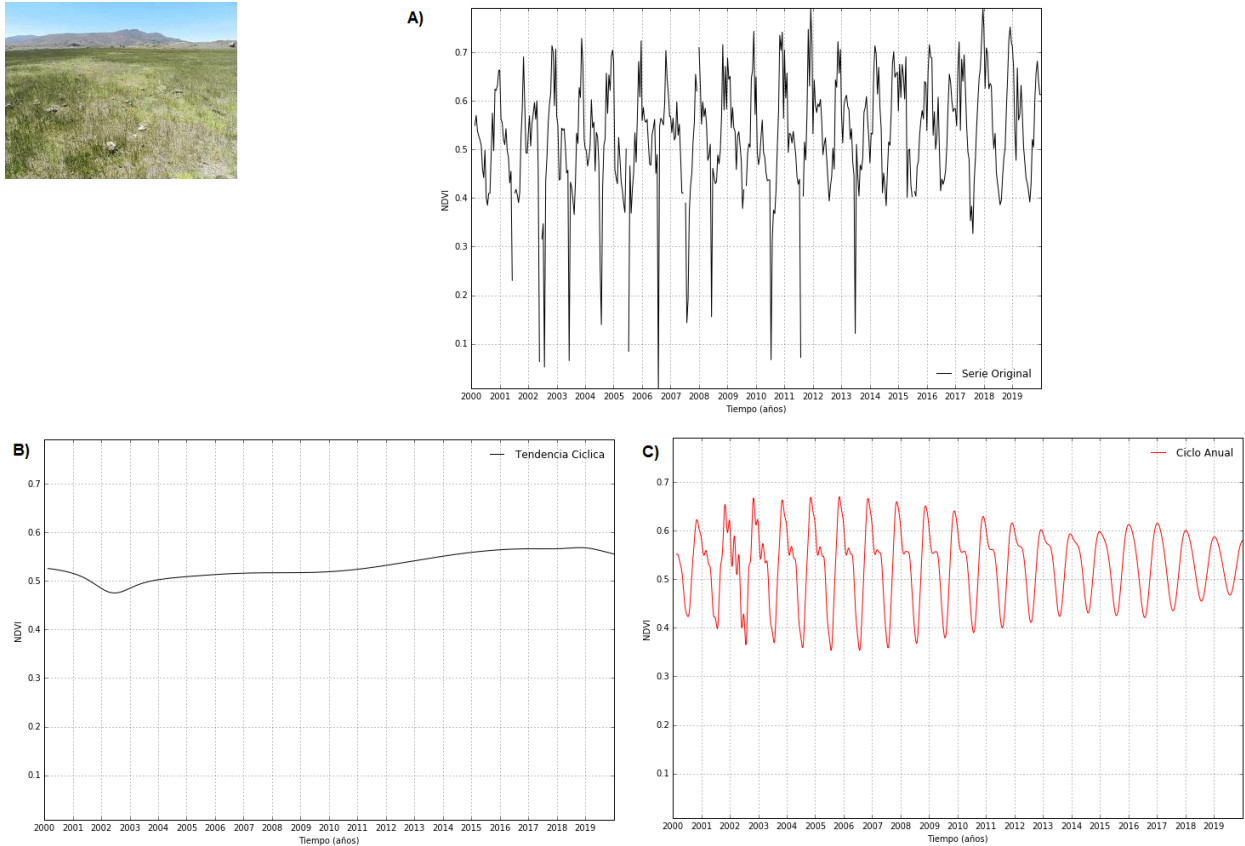


Fig. 10. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #7, zona Ñorquín: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECAÍDA INICIAL. La tendencia cíclica osciló entre un mínimo en el año 2002 hacia un máximo en el año 2018, con un cambio incipiente de dirección en el año 2019, pero aún con valores máximos respecto a toda la serie (Fig. 10B). La amplitud del ciclo anual fue máxima en el período 2005-2006, disminuyendo a valores mínimos entre 2014-2015, ampliándose muy levemente de nuevo con posterioridad (Fig. 10C). Los valores estivales de los últimos dos años se ubicaron en valores más bajos, similares a los registrados entre 2012 y 2015 (Fig. 10A), y la amplitud del ciclo anual fue también menor.

#8-NORTE, Ñorquín. Mallín subhúmedo-seco

VEGETACIÓN: Praderas gramíneas de 60-80% de cobertura vegetal. Las especies más abundantes son junco, pasto mallín y diente de león, acompañadas por cola de chivo de mallín, cola de zorro, trébol blanco, pelo de chanco (*Distichlis sp.*) y leña de piedra.

PRODUCTIVIDAD FORRAJERA: 500-1500 Kg MS/ha/año

SUELO: neutros a moderadamente alcalinos, no salinos, con escaso contenido de materia orgánica. Riesgo ocasional de inundación.

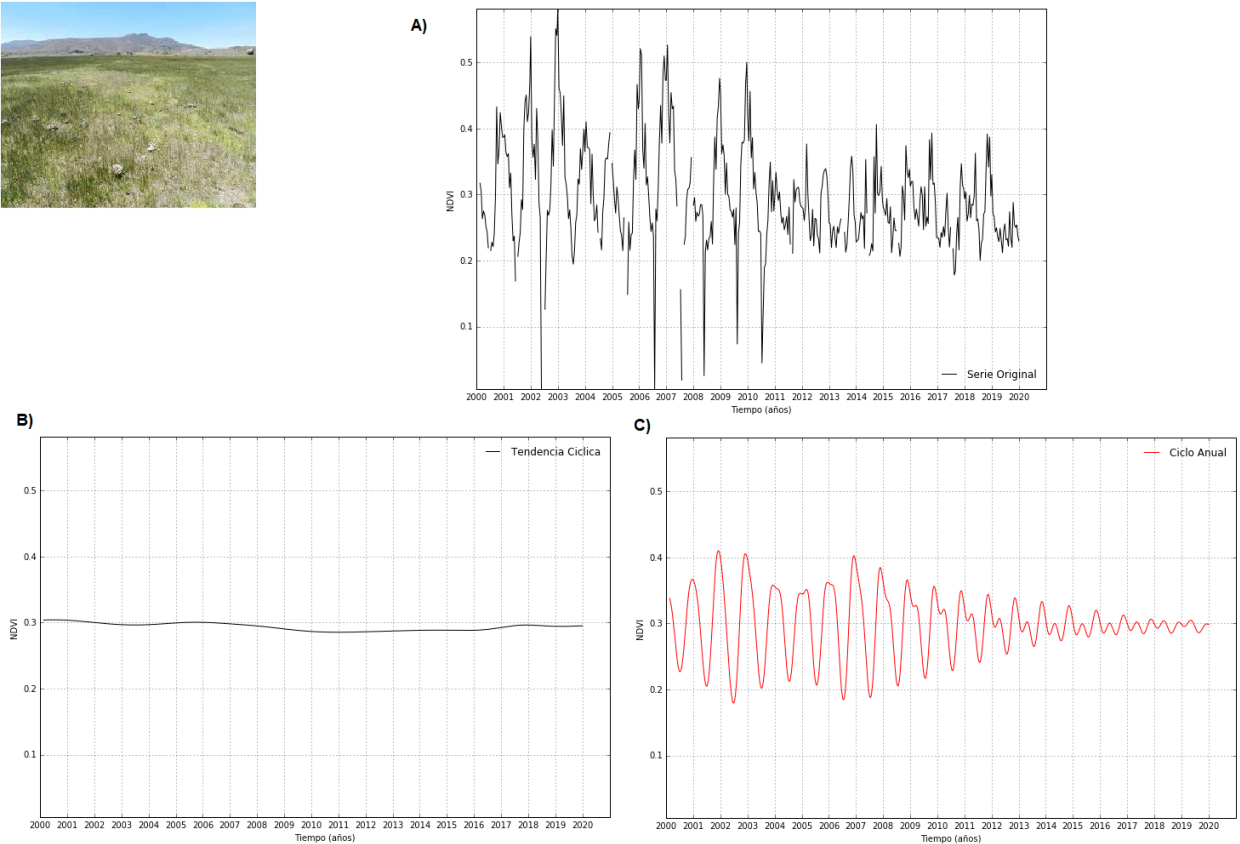


Fig. 11. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #8, zona Ñorquín: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: SIN CAMBIOS, pero con cambios significativos en la amplitud del ciclo anual. La tendencia se mantuvo prácticamente estable durante todo el período (Fig. 11B). Sin embargo, la amplitud del ciclo anual tuvo valores máximos durante 2002-2008, presentando un cambio abrupto en la amplitud y dinámica anual a partir del año 2009, con una reducción progresiva y significativa hasta el año 2019, y un cambio desde una dinámica estacional bien marcada (invierno-verano) hacia una dinámica bimodal (con dos picos, en verano y otoño) (Fig. 11C). Los valores estivales de los últimos dos años se ubicaron un 20-25% por debajo al de los años 2007-2008 (Fig. 11A). El cambio en el ciclo anual sugiere la probabilidad de que este mallín haya sido sometido a factor de modificación de la dinámica, a partir del año 2010, por ejemplo, asociado a aspectos de manejo pastoril o cambios significativos en la disponibilidad de agua.

ZONA CENTRO – Zapala

#9-CENTRO, Zapala. Mallín subhúmedo-seco

VEGETACIÓN: estepas gramíneas de 60-80% de cobertura vegetal. Las especies más abundantes son coirón amargo (*Pappostipa major*), leña de piedra, pelo de chanco, diente de león, cola de zorro y junco.

PRODUCTIVIDAD FORRAJERA: 500-1500 Kg MS/ha/año

SUELO: moderadamente alcalinos, no salinos a levemente salinos, con moderado contenido de materia orgánica. Riesgo ocasional de inundación.

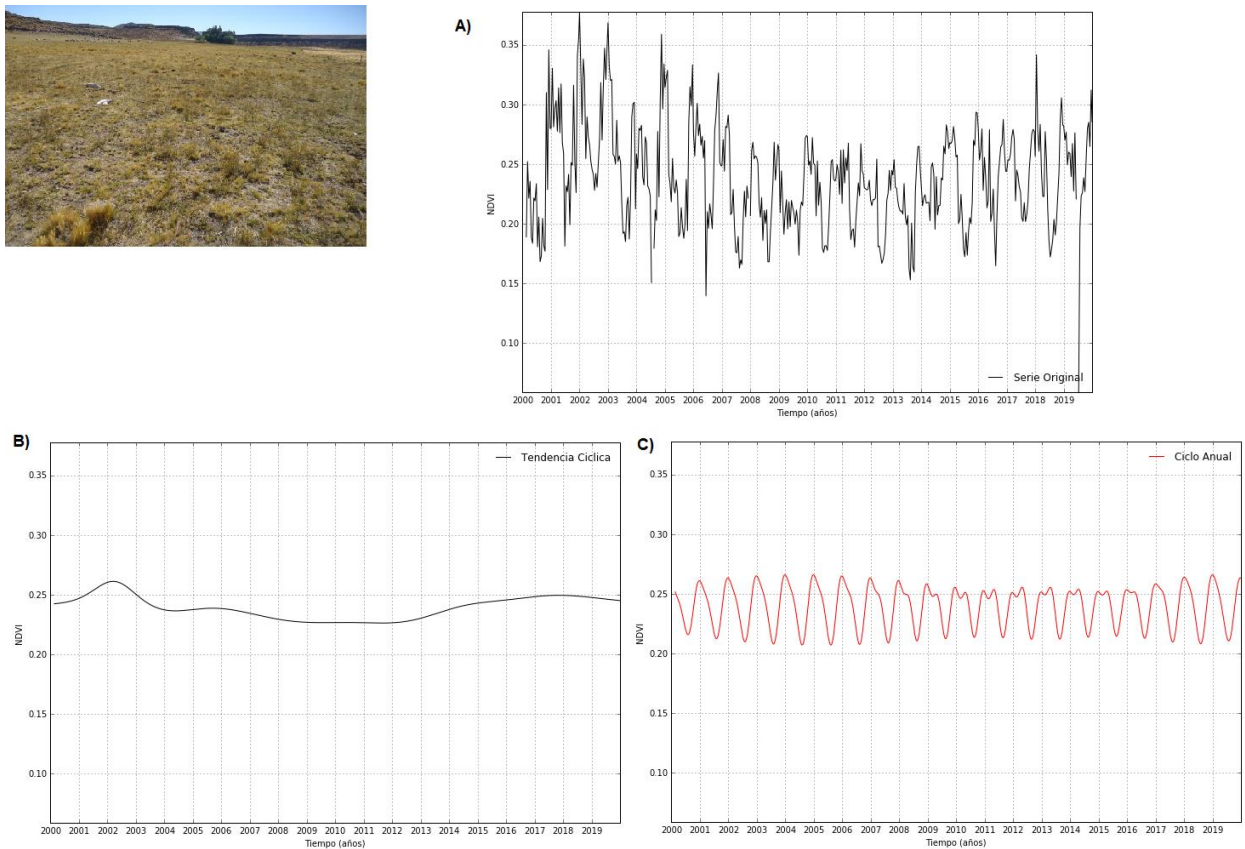


Fig. 12. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #9, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: Fase positiva > RECAÍDA INICIAL. La tendencia osciló entre un mínimo entre 2008 y 2013 hacia un máximo en el año 2017-2018, con un cambio de dirección entre 2018 y 2019, pero aún con valores máximos respecto a toda la serie (Fig. 12B). La amplitud del ciclo anual se fue incrementando desde valores levemente menores entre 2010-2016, alcanzando máxima amplitud en el período 2018-2019 (Fig. 12C). La estacionalidad del ciclo anual fue marcada, y los valores estivales de los últimos tres años se ubicaron en valores mayores a los de años anteriores, pero un 15% debajo de los años 2003-2004 (Fig. 12A).

#10-CENTRO, Zapala. Mallín/cortaderal húmedo

VEGETACIÓN: estepas gramíneas de 90-100% de cobertura vegetal. La especie dominante es la cortadera (*Cortadera araucana*) y las zonas restantes están ocupadas por junco acompañado de otras especies como *Carex gayana*, cola de chivo de mallín, diente de león, trébol y pasto fino de mallín.

PRODUCTIVIDAD FORRAJERA: 3000-5000 Kg MS/ha/año en los sectores de junco.

SUELO: levemente ácidos a neutros, no salinos, con abundante contenido de materia orgánica. Riesgo frecuente de inundación.

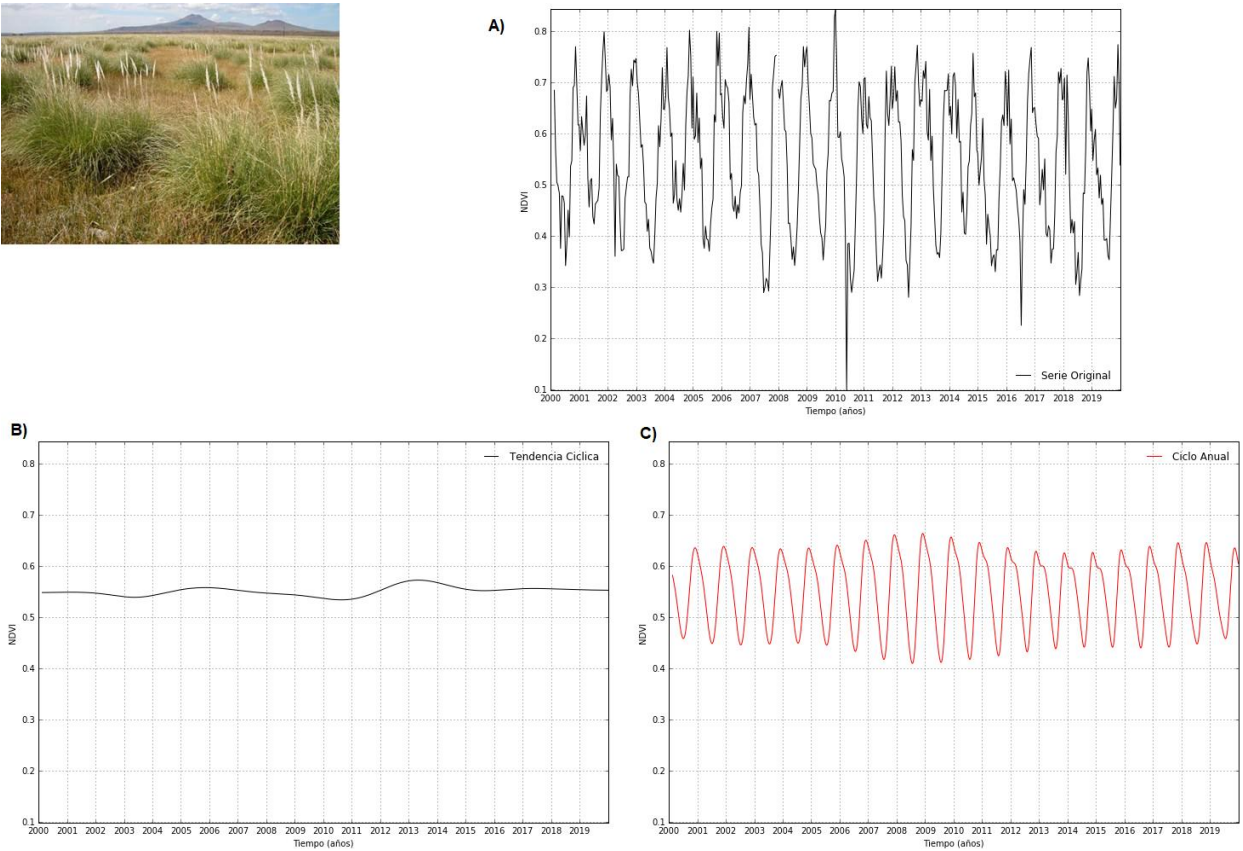


Fig. 13. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #10, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: SIN CAMBIOS. La tendencia se mantuvo estable durante todo el período (Fig. 13B). De igual manera, la amplitud del ciclo anual se mantuvo estable y con una marcada estacionalidad (invierno-verano) (Fig. 13C). Los valores máximos se registraron entre 2008-2010, siendo menores en 2014-2015. Los valores estivales de los últimos dos años se ubicaron en niveles similares a los de los últimos 8 años, un 6% por debajo de los registrados en 2007-2008 y 2008-2009 (Fig. 13A).



4. Dinámica de la productividad de estepas en zonas con monitores MARAS

Se seleccionaron 13 sitios correspondientes a estepas de las zonas sur, centro y norte de la provincia de Neuquén, ubicados en sitios con monitores instalados de MARAS (Tabla 1, Oliva et al. 2019). Para cada sitio, se presentan indicadores de la dinámica de la vegetación durante el período 2000-2019 (serie original, tendencia cíclica y ciclo anual).

Tabla 2. Ubicación geográfica de los monitores de MARAS (Oliva et al. 2019), utilizados para seleccionar los píxeles de imágenes satelitales para analizar las series de NDVI.

Referencia estepa	Identificación	Longitud	Latitud
Monitor #NQ-009. La Fortaleza. Zona Sureste	#NQ-009	-69,983500000	-39,827222222
Monitor #NQ-024. Los Remolinos. Zona Sur	#NQ-024	-70,702638889	-39,715555556
Monitor #NQ-023. Calcatre. Zona Sur	#NQ-023	-70,455277778	-39,662777778
Monitor #NQ-026. Sihuen. Zona Sur	#NQ-026	-70,915833333	-39,899166667
Monitor #NQ-031. La Porteña. Zona Centro-oeste	#NQ-031	-70,291111111	-38,580277778
Monitor #NQ-028. Bajo La Guanaca. Zona Centro	#NQ-028	-69,845000000	-38,818416667
Monitor #NQ-011. Sucesión Flia Cortez. Zona Centro-este	#NQ-011	-69,107777778	-39,193888889
Monitor #NQ-015. Agua la Argolla. Zona Centro-noreste	#NQ-015	-69,257222222	-38,135361111
Monitor #NQ-014. Aguada Grande. Zona Norte	#NQ-014	-69,585472222	-38,050333333
Monitor #NQ-029. Pampa del Salado. Zona Norte	#NQ-029	-70,082222222	-38,186388889
Monitor #NQ-034. Alvarez. Zona Norte	#NQ-034	-70,390000000	-37,669083333
Monitor #NQ-030. El Condor. Zona Noroeste	#NQ-030	-70,659722222	-37,987777778
Monitor #NQ-037. Curaco. Zona Norte	#NQ-037	-69,969722222	-37,511111111

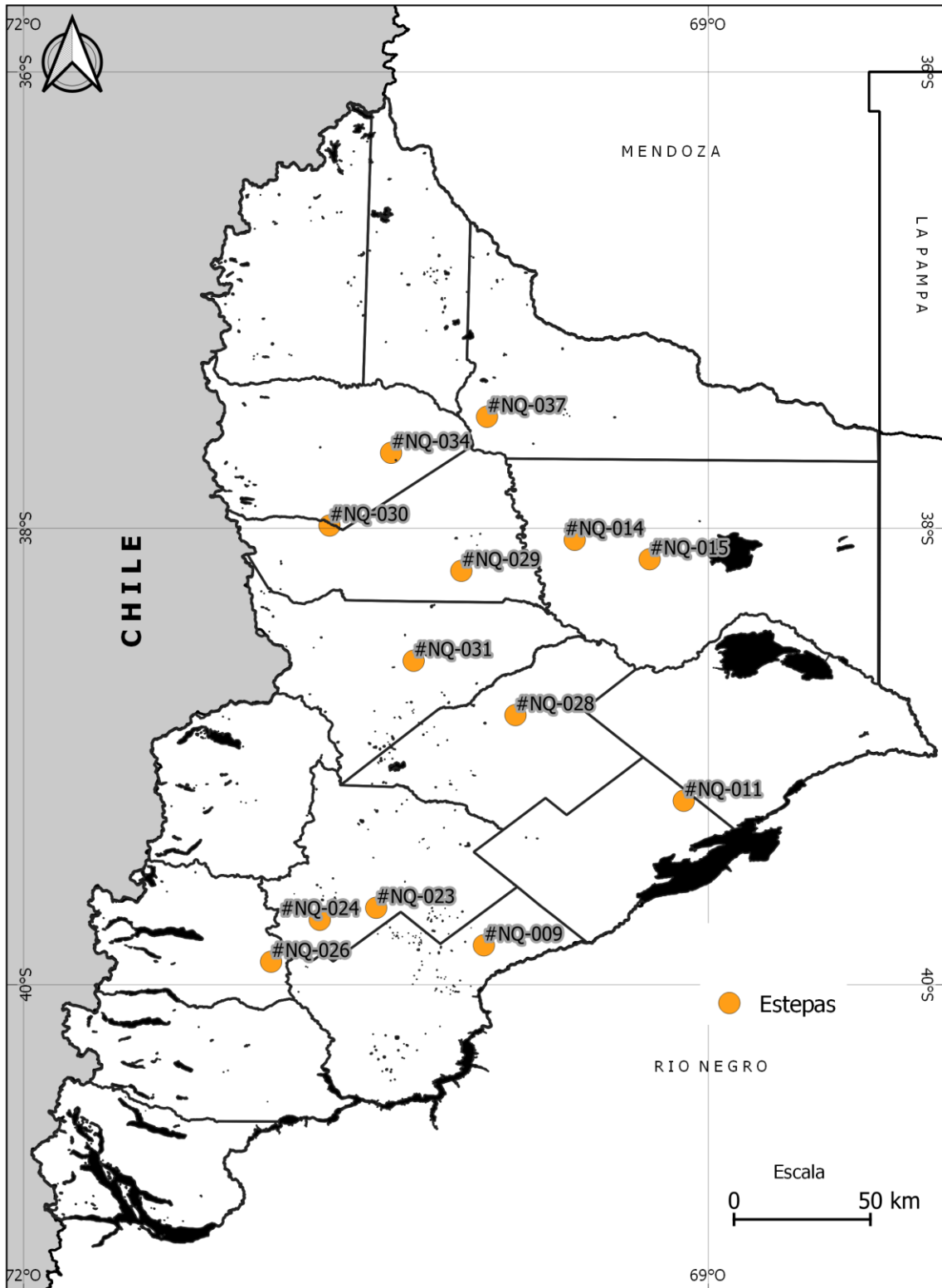


Fig. 14. Ubicación geográfica de las estepas seleccionadas en áreas con monitores de MARAS instalados, provincia de Neuquén (ver detalle en Tabla 2).

ZONA SUR

1. Monitor #NQ-009. La Fortaleza. Zona Sureste (Santo Tomás)

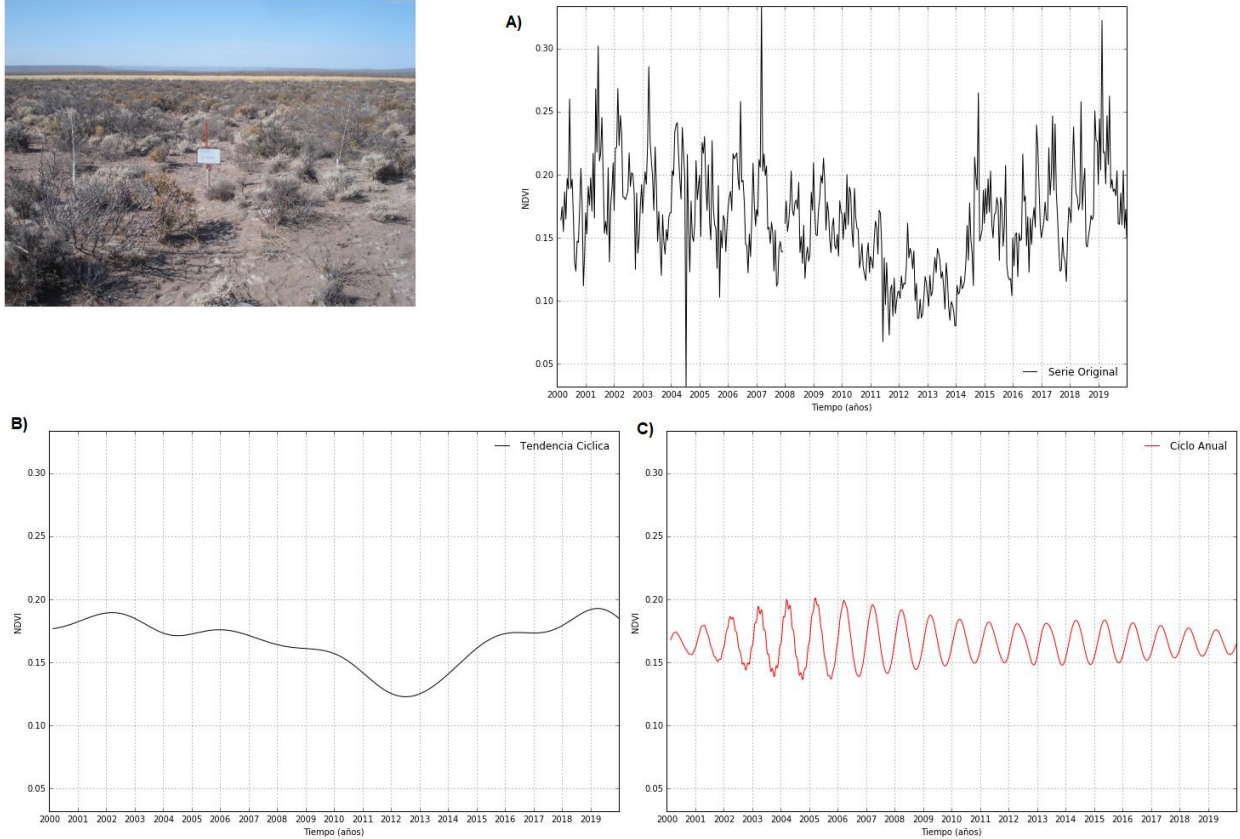
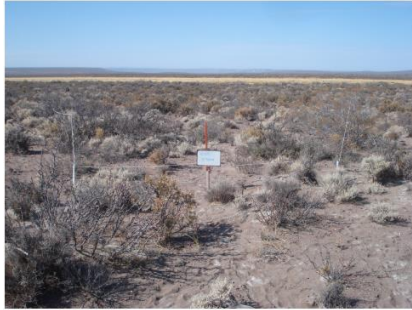


Fig. 15. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel asociado a la ubicación del Monitor #NQ-009, zona sureste: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECAÍDA INICIAL. La tendencia cíclica muestra una recaída incipiente desde valores máximos registrados en 2019, luego de una recuperación sostenida desde mínimos en el año 2012 (período 2011-2013) (Fig. 15B). El ciclo anual muestra una estacionalidad marcada a lo largo de toda la serie, con máximos en otoño y mínimos en primavera, aunque la amplitud ha disminuido progresivamente a partir del año 2007 (Fig. 15C). Los valores máximos del otoño 2019 se ubicaron entre los máximos de la serie analizada (Fig. 15A).

2. Monitor #NQ-024. Los Remolinos. Zona Sur (Catan Lil)

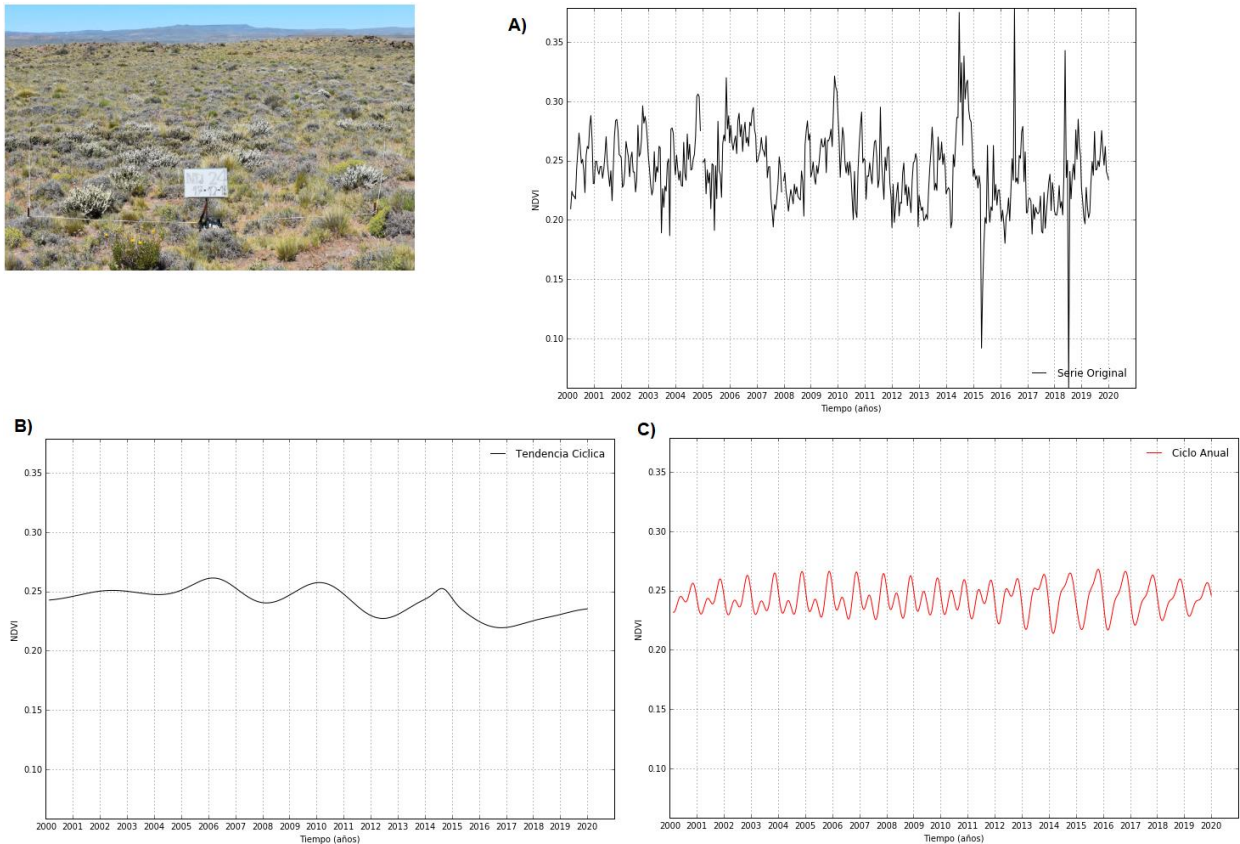


Fig. 16. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel asociado a la ubicación del Monitor #NQ-024, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECUPERACIÓN AVANZADA. La tendencia cíclica muestra un comportamiento oscilatorio y descendente en términos generales desde valores máximos registrados en 2006. Los últimos años registran una recuperación avanzada desde valores mínimos registrados en 2016-2017 (Fig. 16B). El ciclo anual muestra un cambio en la dinámica desde un comportamiento bimodal (doble pico en primavera y otoño, entre 2000 y 2012) hacia un patrón estacional, con picos en primavera y mínimos en fines de verano (2014-2019), cuya transición ocurrió en el período 2012-2013 (Fig. 16C). Los valores estivales máximos ocurrieron en 2014 y los de los últimos dos años están cercanos a un rango promedio (Fig. 16A).

3. Monitor #NQ-023. Calcatre. Zona Sur

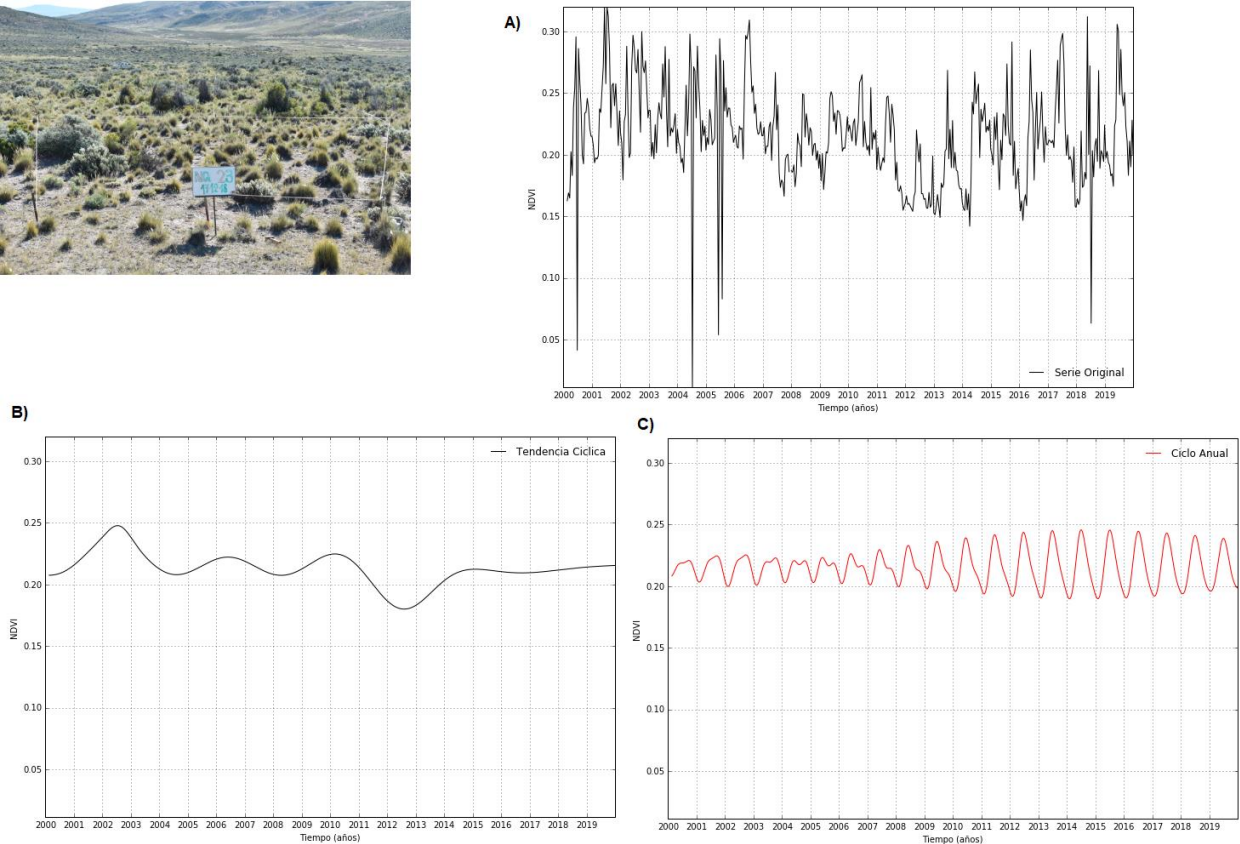


Fig. 17. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel asociado a la ubicación del Monitor #NQ-023, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECUPERACIÓN INCIPIENTE. La tendencia cíclica muestra un comportamiento oscilatorio y descendente en términos generales desde valores máximos registrados en 2002 hacia mínimos en 2012. Los últimos seis años registran una recuperación incipiente desde valores mínimos (Fig. 17B). El ciclo anual muestra un crecimiento de la amplitud y mayor estacionalidad a partir del año 2006, con máximos en otoño-invierno y mínimos en verano (Fig. 17C). Los valores estivales máximos de los últimos tres años se ubicaron entre los máximos de la serie analizada, igualando a los obtenidos a principios de la década pasada (Fig. 17A).

4. Monitor #NQ-026. Sihuen. Zona Sur

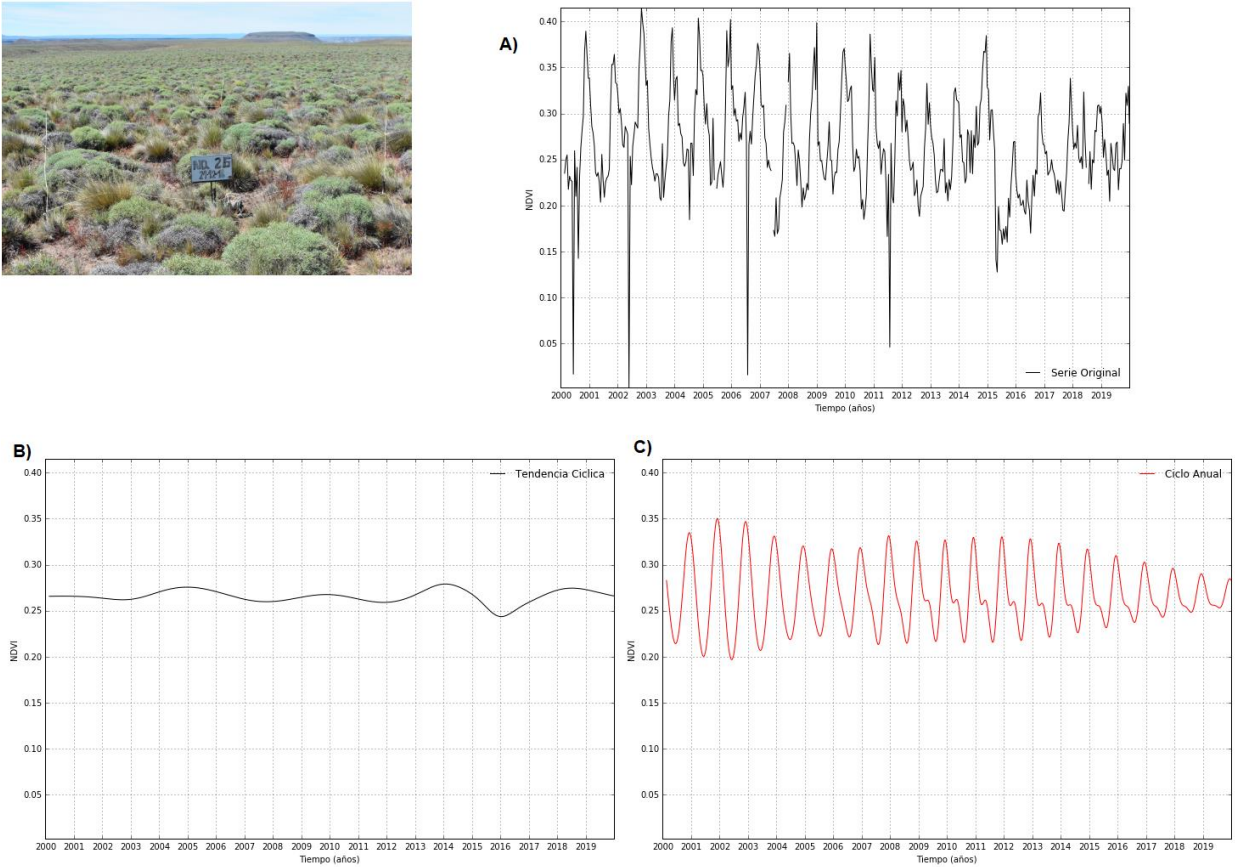


Fig. 18. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel asociado a la ubicación del Monitor #NQ-026, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECAÍDA INCIPIENTE. La tendencia cíclica muestra un comportamiento levemente oscilatorio, registrando un mínimo en 2015-2016, seguido de una recuperación que alcanzó un techo en 2018 y comenzó a recaer en 2019 (Fig. 18B). El ciclo anual muestra una amplitud máxima a principios de la década pasada, con un decrecimiento progresivo a partir de 2013, registrando la menor amplitud en 2019 (Fig. 18C). Los valores estivales máximos se registraron entre 2002 y 2006, y los últimos cuatro años se ubicaron por encima del mínimo de 2016, pero un 18% por debajo de aquellos máximos (Fig. 18A).

ZONA CENTRO

5. Monitor #NQ-031. La Porteña (centro-oeste).

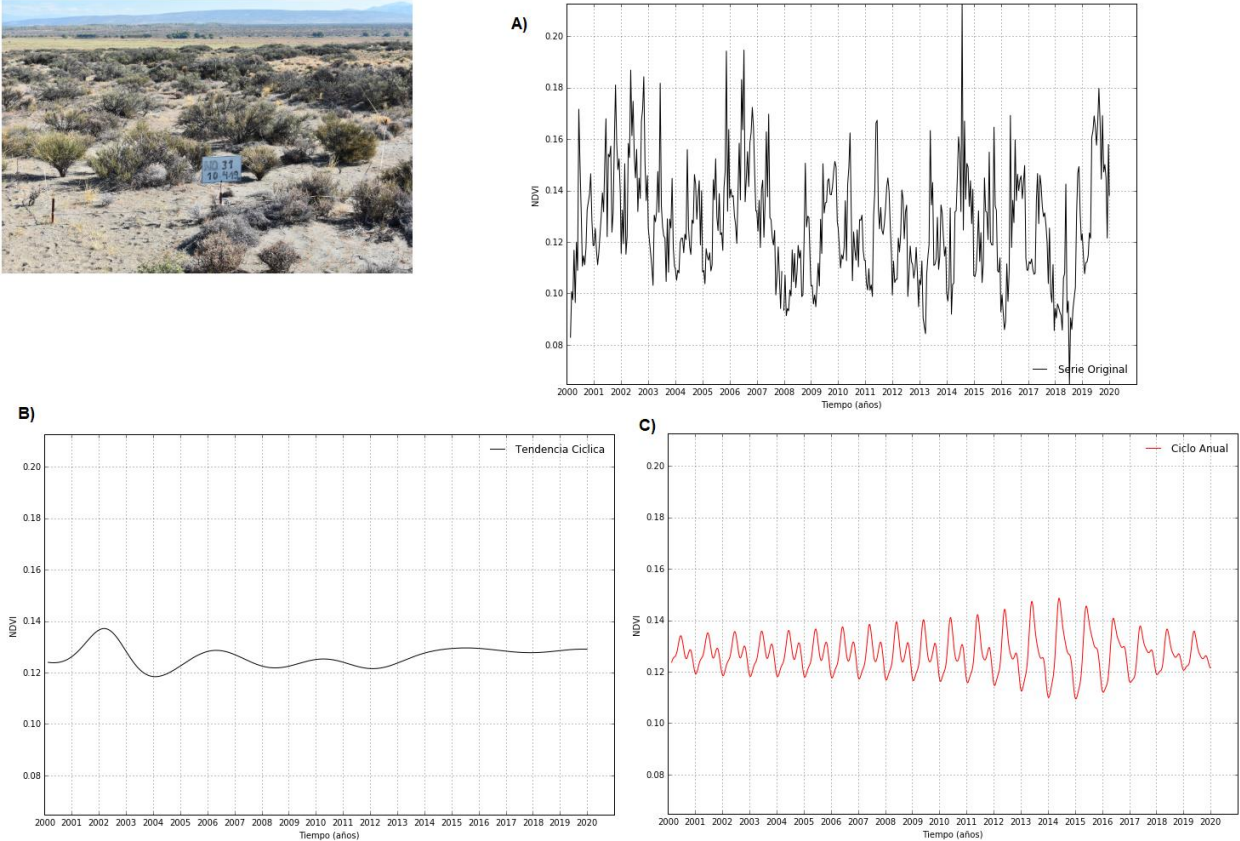


Fig. 19. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel asociado a la ubicación del Monitor #NQ-031, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECUPERACIÓN INCIPIENTE. La tendencia cíclica muestra un comportamiento levemente oscilatorio en la década pasada, registrando un mínimo en 2004 luego de un máximo en 2002. El último valor mínimo se registró en 2012, a partir del cual se viene recuperando (Fig. 19B). El ciclo anual muestra una amplitud máxima entre 2013 y 2015, con un decrecimiento progresivo a partir de 2016 hasta 2019. La dinámica del ciclo anual fue bimodal (doble pico, otoñal y primaveral) entre el 2000 y 2012, modificándose a estacional a partir de 2013 (pico en otoño y valores mínimos en verano) (Fig. 19C). Los valores primaverales máximos del año 2019 se ubicaron por encima de los registrados entre 2008 y 2018 (Fig. 19A).

6. Monitor #NQ-028. Bajo La Guanaca (Este de Zapala).

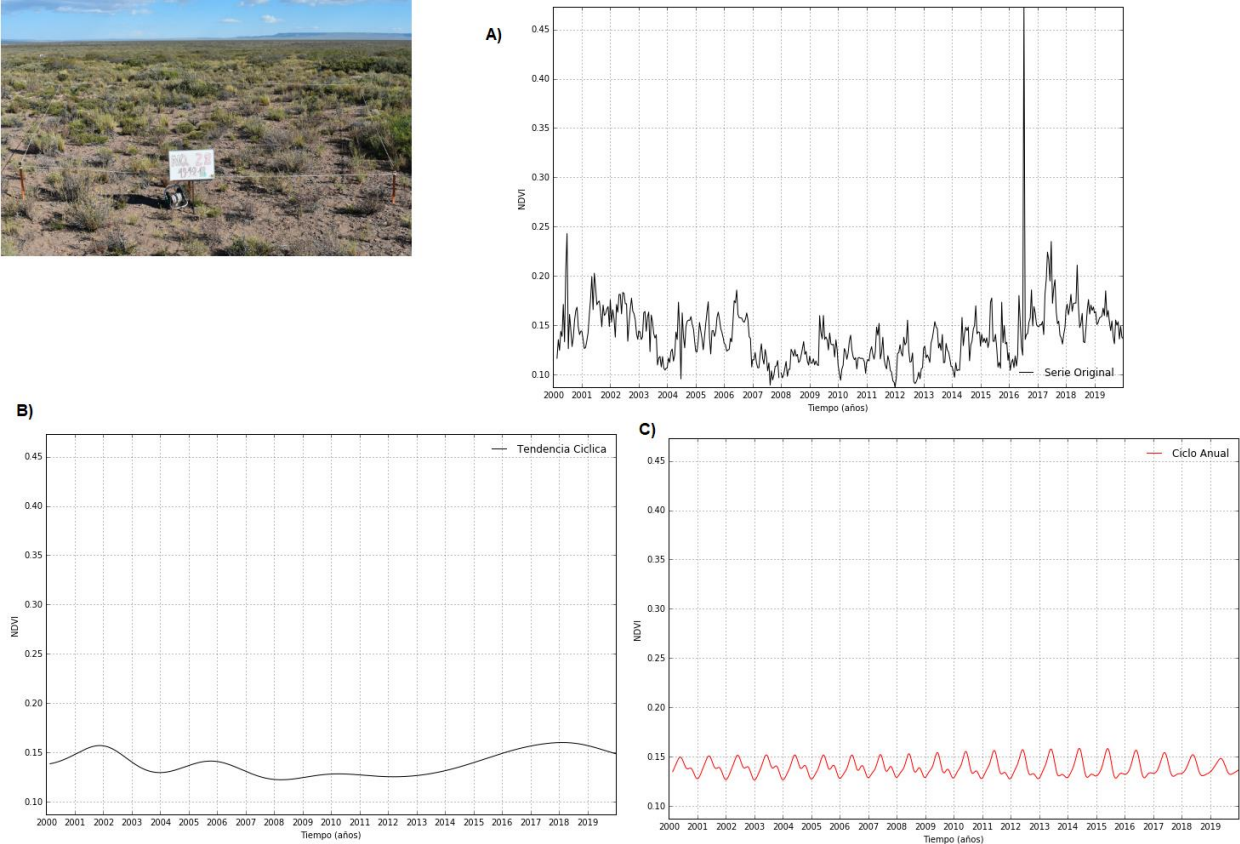


Fig. 20. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel asociado a la ubicación del Monitor #NQ-028, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECAÍDA AVANZADA. La tendencia cíclica muestra un comportamiento levemente oscilatorio y descendente entre 2000 y 2008, hasta valores mínimos entre 2008 y 2012. Posteriormente, se registra una recuperación que alcanzó un máximo en 2018 y comenzó a recaer en 2019 (Fig. 20B). El ciclo anual muestra una amplitud homogénea a lo largo de toda a serie, con una dinámica bimodal entre 2000 y 2009 (doble pico en otoño y primavera), cambiando a estacional a partir de 2010, con un pico en otoño y mínimos en primavera-verano (Fig. 20C). Los valores otoñales máximos se registraron entre 2017, descendiendo en los años siguientes y registrando en 2019 aproximadamente un nivel un 30% menor que dicho pico máximo, aunque aún por encima de los mínimos del período 2008-2012 (Fig. 20A).

7. Monitor #NQ-011. Sucesión Flia Cortez (Chocón Norte).

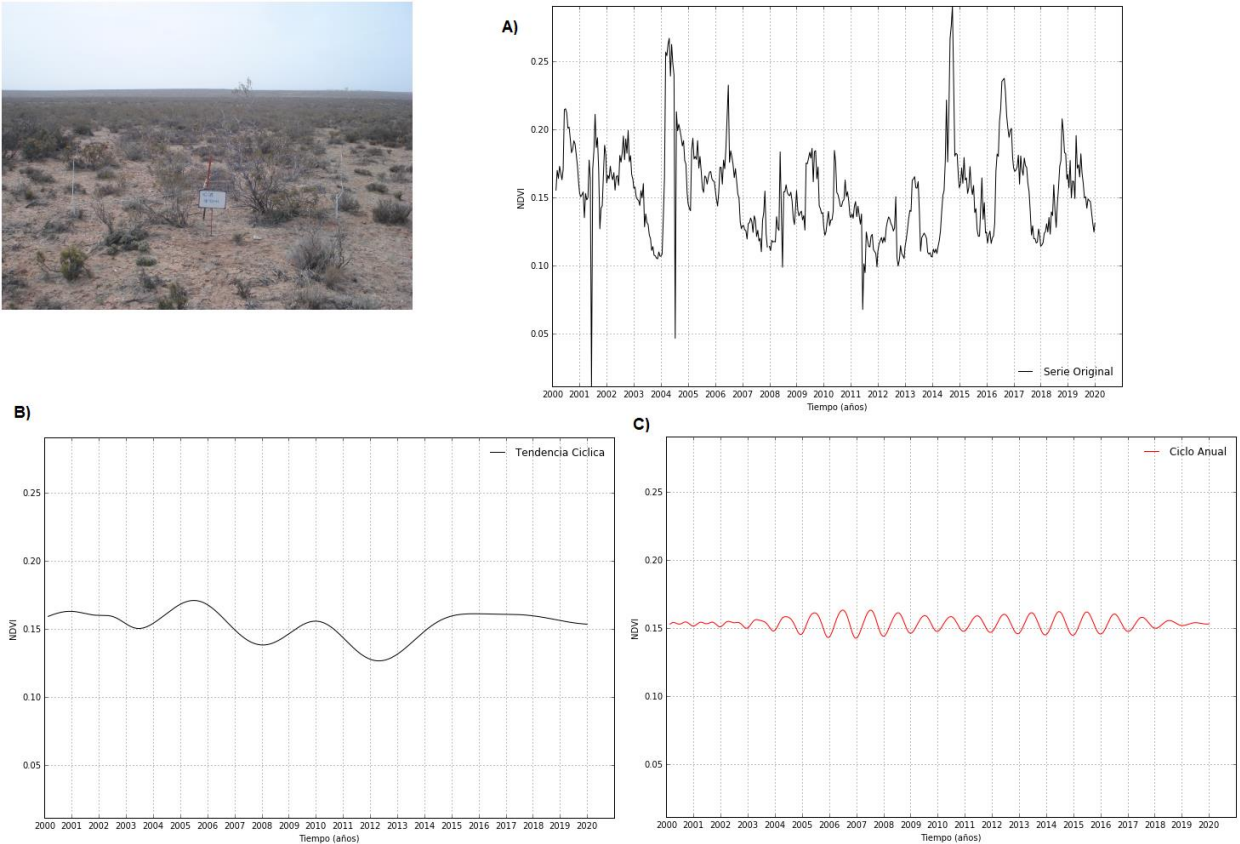
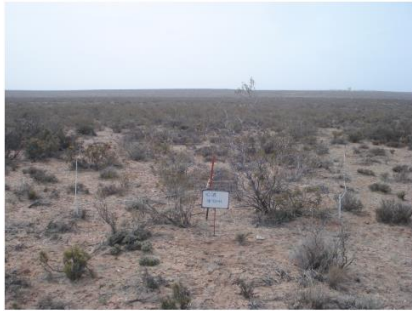


Fig. 21. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel asociado a la ubicación del Monitor #NQ-011, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECAÍDA INCIPIENTE. La tendencia cíclica muestra un comportamiento oscilatorio y descendente entre 2000 y 2012, registrando un máximo en el año 2005 y un mínimo en 2012, seguido de una recuperación que alcanzó un techo entre 2015 y 2017, a partir del cual comenzó a recaer (Fig. 21B). El ciclo anual muestra una baja amplitud a lo largo de toda la serie, con una estacionalidad entre invierno y verano, en términos de máximos y mínimos anuales, respectivamente (Fig. 21C). Los valores máximos otoño-invernales ocurrieron en 2004, 2014 y 2016, mientras que los valores de 2019 se ubicaron por debajo de dichos picos (un 17% por debajo del último pico de 2016) (Fig. 21A).

8. Monitor #NQ-015. Agua la Argolla (sureste de Chihuidos).

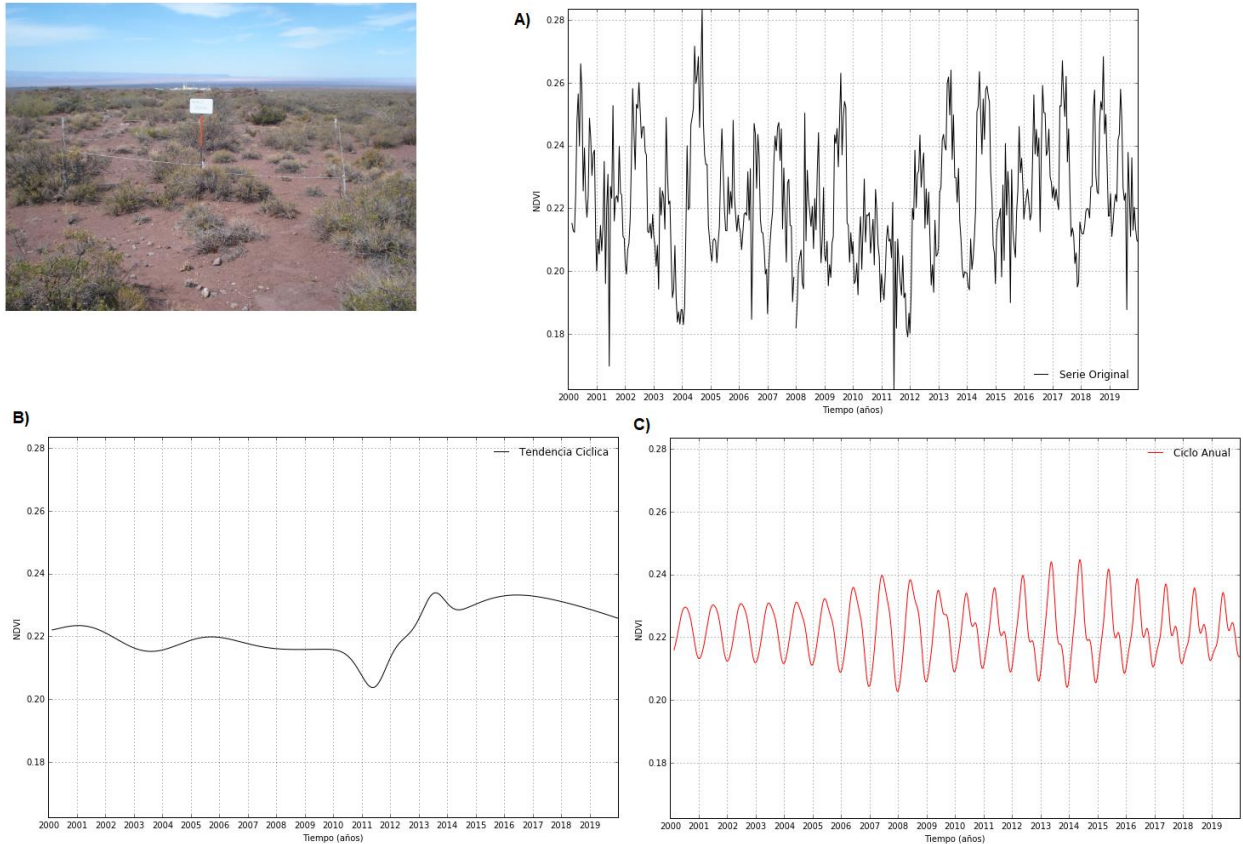


Fig. 22. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel asociado a la ubicación del Monitor #NQ-015, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECAÍDA AVANZADA. La tendencia cíclica muestra una recaída avanzada desde valores máximos registrados en 2016, luego de una recuperación sostenida desde mínimos en el año 2011 (Fig. 22B). El ciclo anual muestra una estacionalidad marcada a lo largo de toda la serie, con máximos en otoño y mínimos en verano. La amplitud ha disminuido progresivamente a partir del año 2015, y a partir de ese año se ha incorporado un segundo pico primaveral, aunque mucho más pequeño que el otoñal (Fig. 22C).

ZONA NORTE

9. Monitor #NQ-014. Aguada Grande (Meseta Chihuidos).

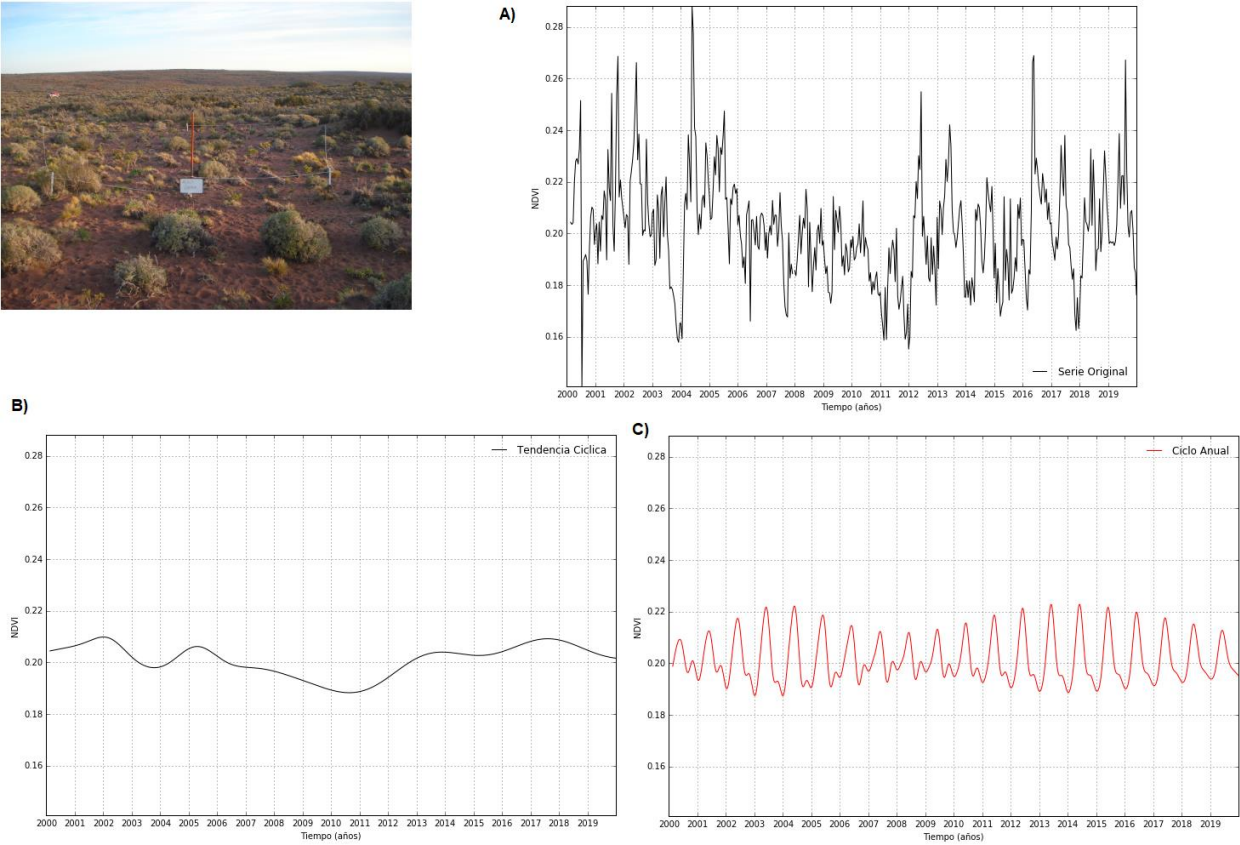
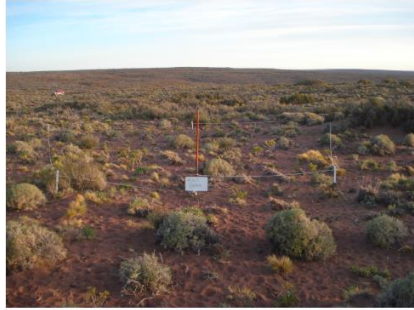


Fig. 23. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel asociado a la ubicación del Monitor #NQ-014, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECAÍDA AVANZADA. La tendencia cíclica muestra un comportamiento levemente oscilatorio y descendente entre 2000 y 2010, hasta valores mínimos en 2010-2011. Posteriormente, se registra una recuperación que alcanzó un máximo en 2017 y comenzó a recaer a partir de 2018 (Fig. 23B). El ciclo anual muestra una amplitud que osciló a lo largo de toda a serie, con una dinámica bimodal en algunos tramos (entre 2005 y 2012, doble pico en otoño y primavera), cambiando a estacional a partir de 2013, con un pico en otoño y mínimos en verano (Fig. 23C). Los valores otoñales máximos se registraron en 2004, 2016 y 2019 (Fig. 23A).

10. Monitor #NQ-029. Pampa del Salado (norte de Río Agrio).

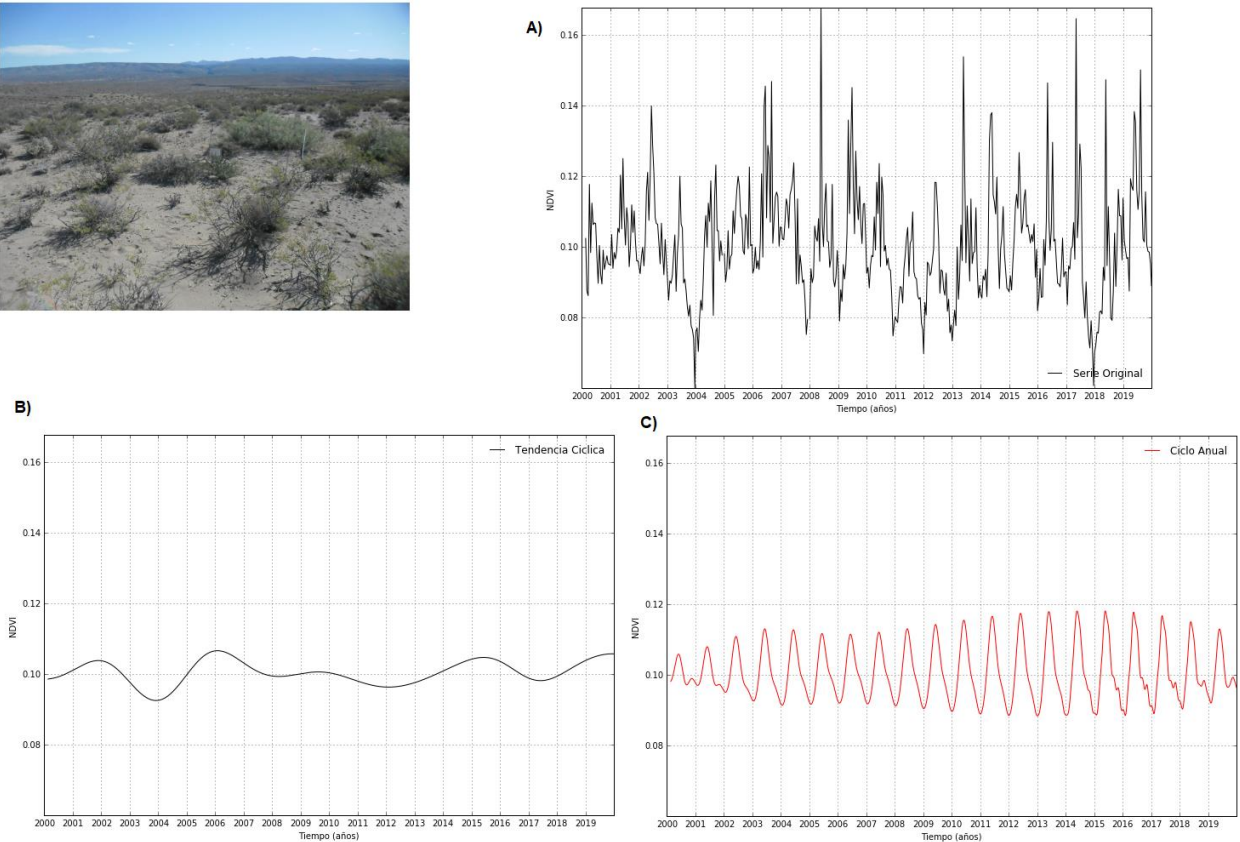


Fig. 24. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel asociado a la ubicación del Monitor #NQ-029, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECUPERACIÓN AVANZADA. La tendencia cíclica muestra un comportamiento oscilatorio a lo largo de la serie, registrando un mínimo en 2004 y luego un máximo en 2006. El último valor mínimo se registró en 2017, a partir del cual se viene recuperando (Fig. 24B). El ciclo anual muestra una amplitud creciente, con máximos entre 2011 y 2016, con un decrecimiento progresivo a partir de 2016 hasta 2019. La dinámica del ciclo anual fue marcadamente estacional, con un máximo en otoño y un mínimo en verano. Los últimos años muestran un segundo pico en la primavera (de mucho menor nivel) (Fig. 24C). Los valores máximos de 2019 se encuentran entre los más altos de la serie (Fig. 24A).

11. Monitor #NQ-034. Alvarez (sur de Colipilli).

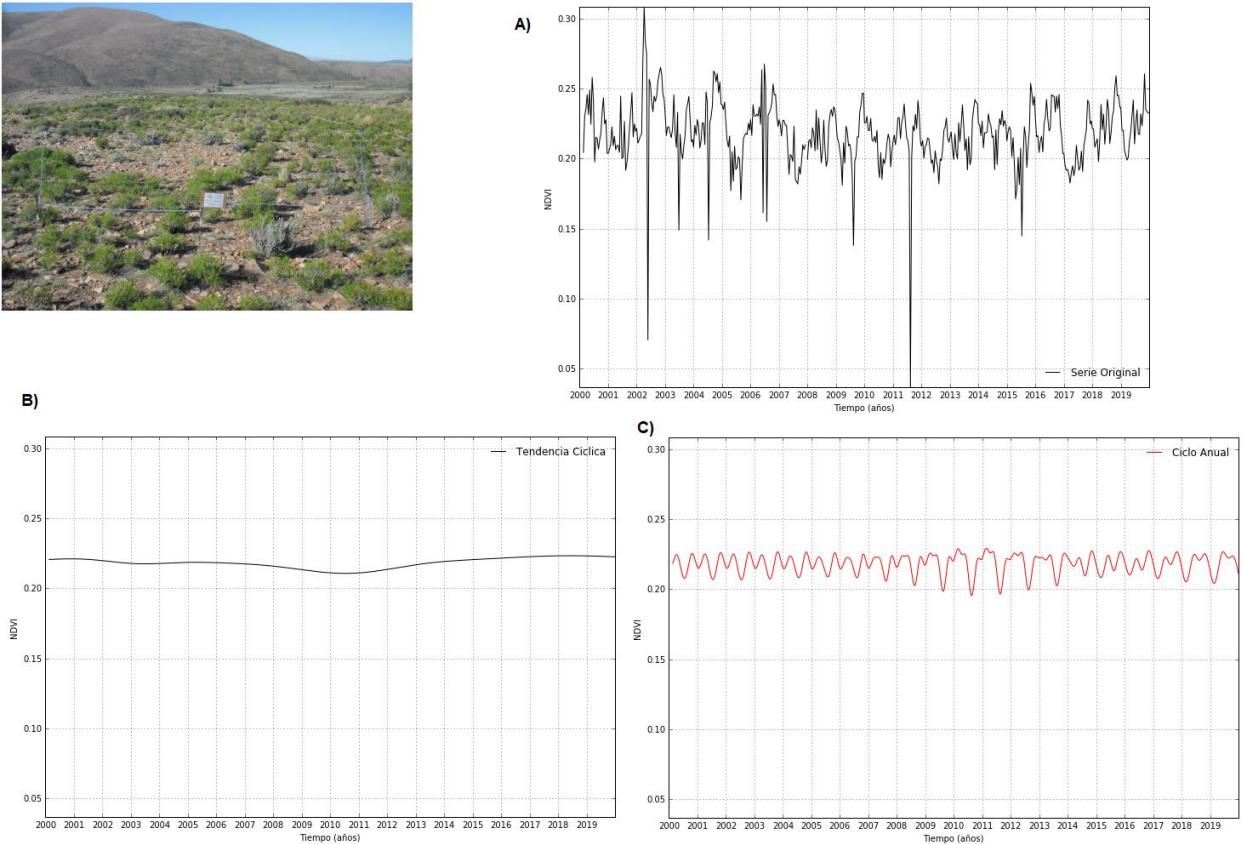
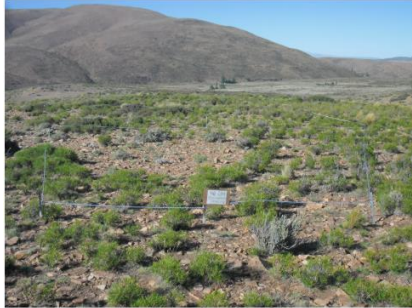


Fig. 25. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel asociado a la ubicación del Monitor #NQ-034, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECAÍDA INCIPIENTE. La tendencia cíclica muestra un comportamiento levemente oscilatorio, registrando un mínimo en 2010, alcanzando luego un máximo en 2017-2018, a partir del cual comienza una recaída (Fig. 25B). La dinámica del ciclo anual fue bimodal en prácticamente toda la serie (doble pico, otoñal y primaveral), a excepción del período 2009-2013 en el cual la merma de verano no se registra y se mantiene en una meseta de pulso anual positivo entre primavera y otoño, cayendo luego durante el invierno (Fig. 25C). Los picos de 2019 se ubicaron entre los máximos de la serie, con niveles similares a los de inicio de la década pasada (Fig. 25A)

12. Monitor #NQ-030. El Condor (zona Loncopué).

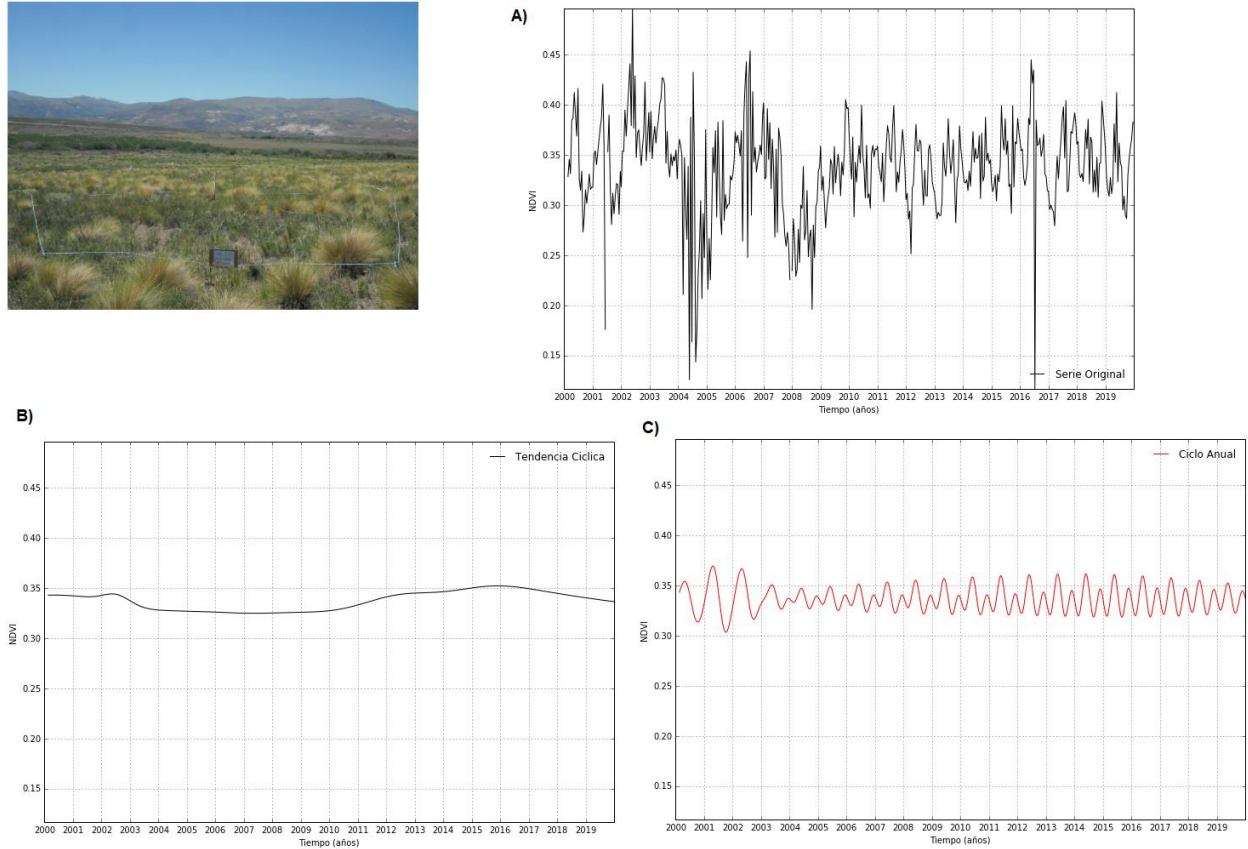
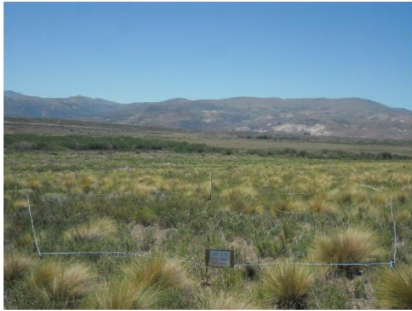


Fig. 26. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel asociado a la ubicación del Monitor #NQ-030, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECAÍDA AVANZADA. La tendencia cíclica muestra un comportamiento oscilatorio, registrando una retracción entre 2003 y 2009, con un mínimo en 2007, recuperando con posterioridad hasta un máximo en 2016, a partir del cual comienza una recaída que al 2019 es avanzada (Fig. 26B). La dinámica del ciclo anual fue bimodal en prácticamente toda la serie (doble pico, otoñal y fin de primavera), a excepción de un breve período 2000-2003 en el cual el comportamiento fue marcadamente estacional (Fig. 26C). Los picos de 2019 se ubican en niveles intermedios entre los máximos de principios de la década pasada y los mínimos registrados entre 2003 y 2009 (Fig. 26A).

13. Monitor #NQ-037. Curaco.

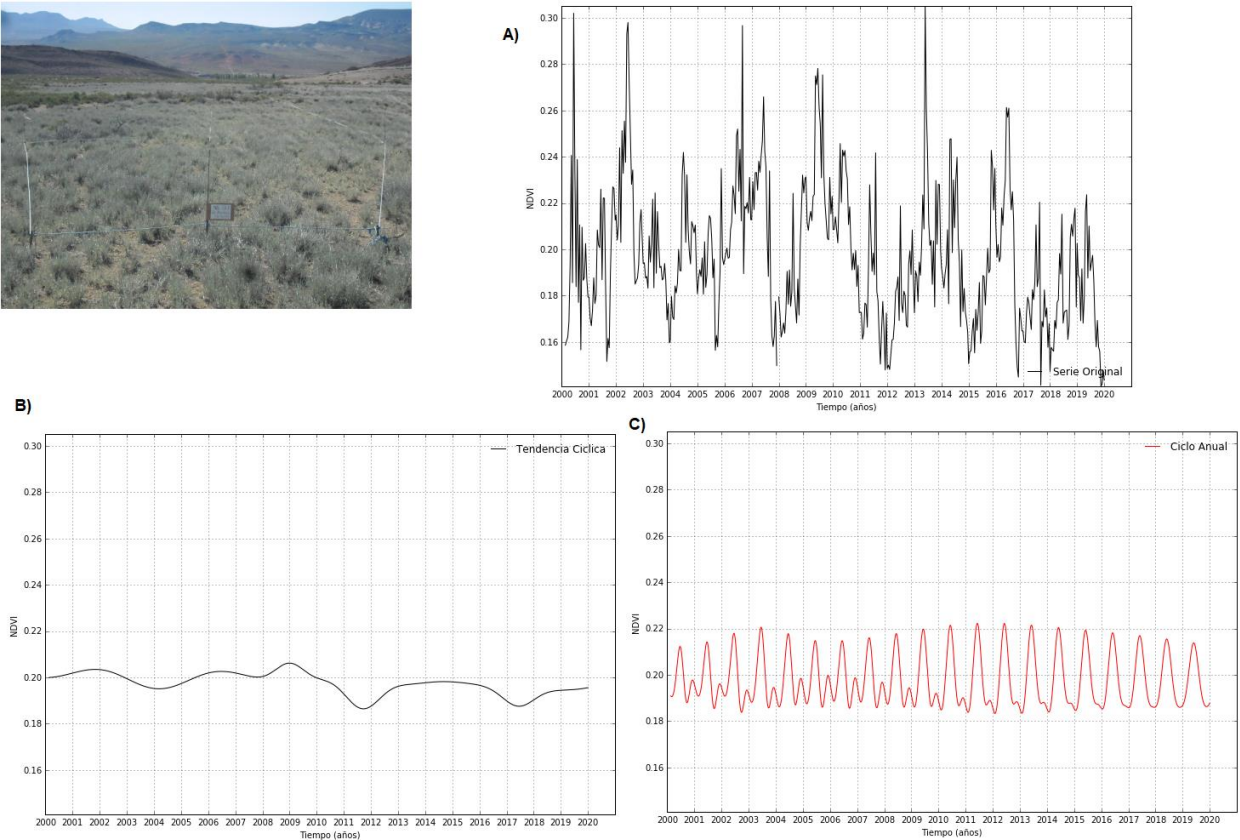


Fig. 27. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel asociado a la ubicación del Monitor #NQ-037, zona centro, Zapala: A) Datos originales, B) Tendencia cíclica (tendencia a largo plazo + ciclos > 4 años), C) Ciclo anual.

Dinámica de la vegetación. Tendencia cíclica: RECUPERACIÓN AVANZADA. La tendencia cíclica muestra un comportamiento oscilatorio, registrando una retracción entre 2009 y 2017, con dos mínimos (2011 y 2017), recuperando entre 2018 y 2019, pero aún con niveles menores a los de la década pasada (Fig. 27B). La dinámica del ciclo anual fue bimodal durante la primera década de la serie (doble pico, otoñal y fin de primavera), cambiando a un comportamiento marcadamente estacional en los últimos cinco años (máximo en otoño y mínimo en verano), con un período de transición entre 2012 y 2014 (Fig. 27C). Los valores máximos de los últimos tres años se ubicaron un 15% por debajo del valor de 2016 (último máximo reciente), y entre los más bajos de toda la serie analizada (Fig. 27A).



5. Metodología

El uso de datos obtenidos por sensores remotos para el monitoreo ambiental ha crecido enormemente en las últimas décadas (Karl et al. 2017). Desde estos abordajes, la dinámica de la productividad de los pastizales naturales puede ser evaluada mediante el uso de series de datos satelitales como el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI en inglés, Bai et al. 2008). El comportamiento de la productividad de los pastizales puede ser descrito a través del ciclo anual y estacional (quizá el más utilizado para el manejo ganadero), pero también por ciclos interanuales que incluyen fases de sequía y fases de mayor humedad que pueden durar varios años. La productividad a largo plazo de los pastizales puede ser analizada mediante la tendencia y perturbaciones puntuales, pero de alta magnitud mediante cambios abruptos en la dinámica, como el caso de caída y depósito de cenizas volcánicas.

El modelo auto-regresivo de wavelet, como método aplicado al estudio de tendencias de NDVI permite capturar cambios cíclicos de largo plazo (Easdale et al. 2018). Para incrementar la sensibilidad del análisis, se propone la integración de ciclos de baja frecuencia asociados a la tendencia del NDVI (Hastings y Wysham 2010). La Tendencia Cíclica es un método que permite representar una versión suavizada de una serie temporal desestacionalizada, el cual es utilizado usualmente por los economistas ya que proporciona información sobre los movimientos a largo plazo, pero que incluye cambios en la dirección subyacente a la serie. En otras palabras, permite integrar los movimientos de largo plazo (tendencias) y las fluctuaciones temporales que generan recaídas o recuperación en el mediano plazo (ciclos interanuales, Nelson 2010), provocados por sequías o disturbios ambientales como la caída de cenizas volcánicas, o fases de mayor humedad por incremento de precipitaciones.

El objetivo de esta sección del trabajo fue analizar la dinámica del NDVI en Neuquén para el período 2000-2019, como elemento diagnóstico de la dinámica de la productividad de la vegetación en las últimas dos décadas. Dicho análisis incluye los siguientes indicadores: ii) Tendencia Cíclica (movimiento a largo plazo, que incluye fluctuaciones de mediano plazo, >4 años; ver clasificación en Fig. 28), iii) Ciclo Anual (cambios estacionales, haciendo foco en la amplitud anual entre los valores máximos y mínimos, Fig. 31), iv) fluctuaciones corrientes (datos originales, donde enfatizamos la posición de los valores mínimos y máximos recientes respecto de la serie histórica analizada).

Finalmente, se estimó la proyección de valores futuros de NDVI, basado en el cálculo de las derivadas primera y segunda del punto final de la función de Tendencia Cíclica, denominado Ritmo de Cambio (Fig. 30). La información que brinda refiere al signo (positivo, negativo o neutro) y a la tasa de cambio (positiva, negativa o neutra) de dicha función, y su ubicación actual respecto del promedio histórico de toda la serie analizada. Por ejemplo, una función que crece puede estar haciéndolo con sentido positivo y tasa positiva (lo cual implica que dicho crecimiento se mantendrá en el futuro, azul en el mapa si los valores están por encima del promedio), o puede estar haciéndolo con sentido positivo, pero tasa negativa (lo cual implica que dicho crecimiento se estaría compensando y estabilizando). Si el sentido es negativo y la tasa también es negativa (rojo o amarillo en el mapa, si los valores están por debajo o por encima del promedio, respectivamente), significa que una caída en los valores de NDVI dominaría la dinámica futura.

La información fue analizada para todo el territorio provincial y se presentan mapas con la Tendencia Cíclica y el Ritmo de Cambio. Por otro lado, se seleccionaron píxeles representativos de diferentes estaciones de muestreo realizadas a campo, y ubicados en mallines y en estepas donde se encuentran instalados monitores de MARAS. Para dichos píxeles se presentan figuras de la serie de NDVI con una descripción de la dinámica tomando los indicadores mencionados arriba, incluyendo una interpretación de la dinámica, respectivamente.



Fuente de datos

Se utilizaron datos de imágenes MODIS (producto MODIS13Q1) para el período temporal 2000-2019 (frecuencia de datos cada 16 días y píxel de resolución espacial de 6,25ha), para todo el territorio de la provincia de Neuquén. Se calculó el IVN (o NDVI, en inglés) mediante la siguiente ecuación (Ec.1):

$$IVN = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R)$$

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 series de NDVI

Se definieron siete clases de Tendencia Cíclica, estadísticamente significativas, en función de la posición del punto final de la función matemática, respecto de los máximos y/o mínimos recientes de la serie filtrada (Fig. 28). Los umbrales de cambio de una clase a la otra (por ejemplo, de recuperación inicial a recuperación avanzada, o de recaída incipiente a recaída avanzada) fueron definidos por ¼ de la amplitud total entre el valor máximo y mínimo absolutos de toda la serie analizada.

La secuencia temporal de los ciclos de tendencia conforma 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. 29).

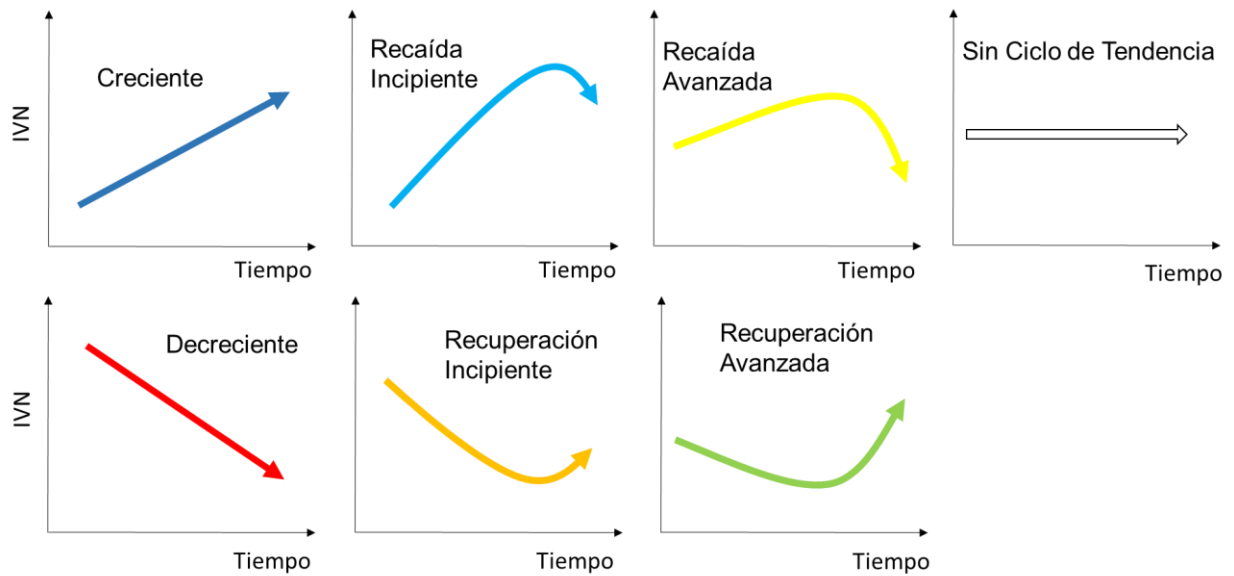


Fig. 28. Clases de Ciclo de Tendencia de NDVI. El color de la flecha identifica el color usado para cada clase en el mapa provincial.

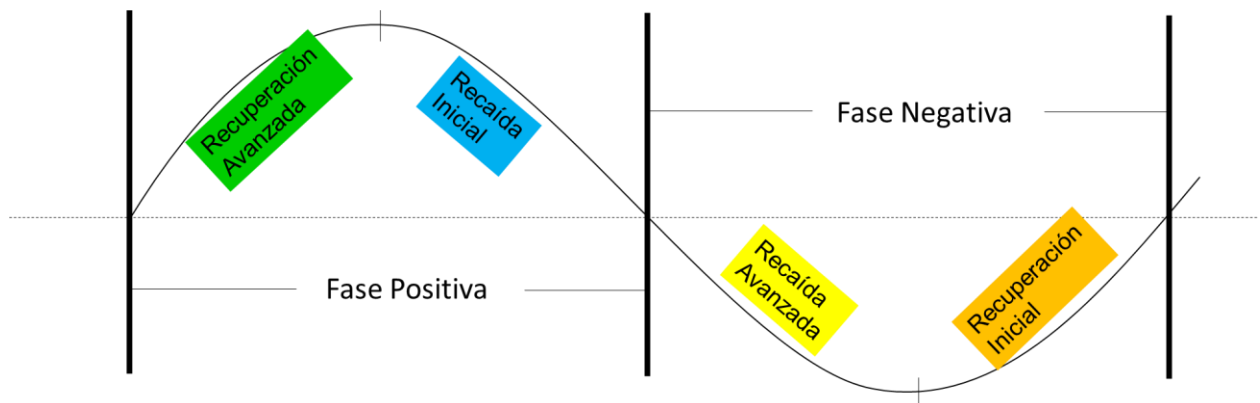


Fig. 29. Fases de Ciclo de Tendencia: Positiva, conformada por Recuperación Avanzada y Recaída Inicial; Negativa, conformada por Recaída avanzada y Recuperación inicial.

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 cinco clases generales: 1. Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva), 2. Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa), 3. Sin cambios (sentido neutro y tasa de cambio neutro), 4. Declive lento (sentido negativo y con tasa positiva), 5. Declive acelerado (sentido negativo y con tasa negativa). Dichas clases fueron referenciadas con la posición respecto al promedio histórico de la serie analizada (Fig. 30).

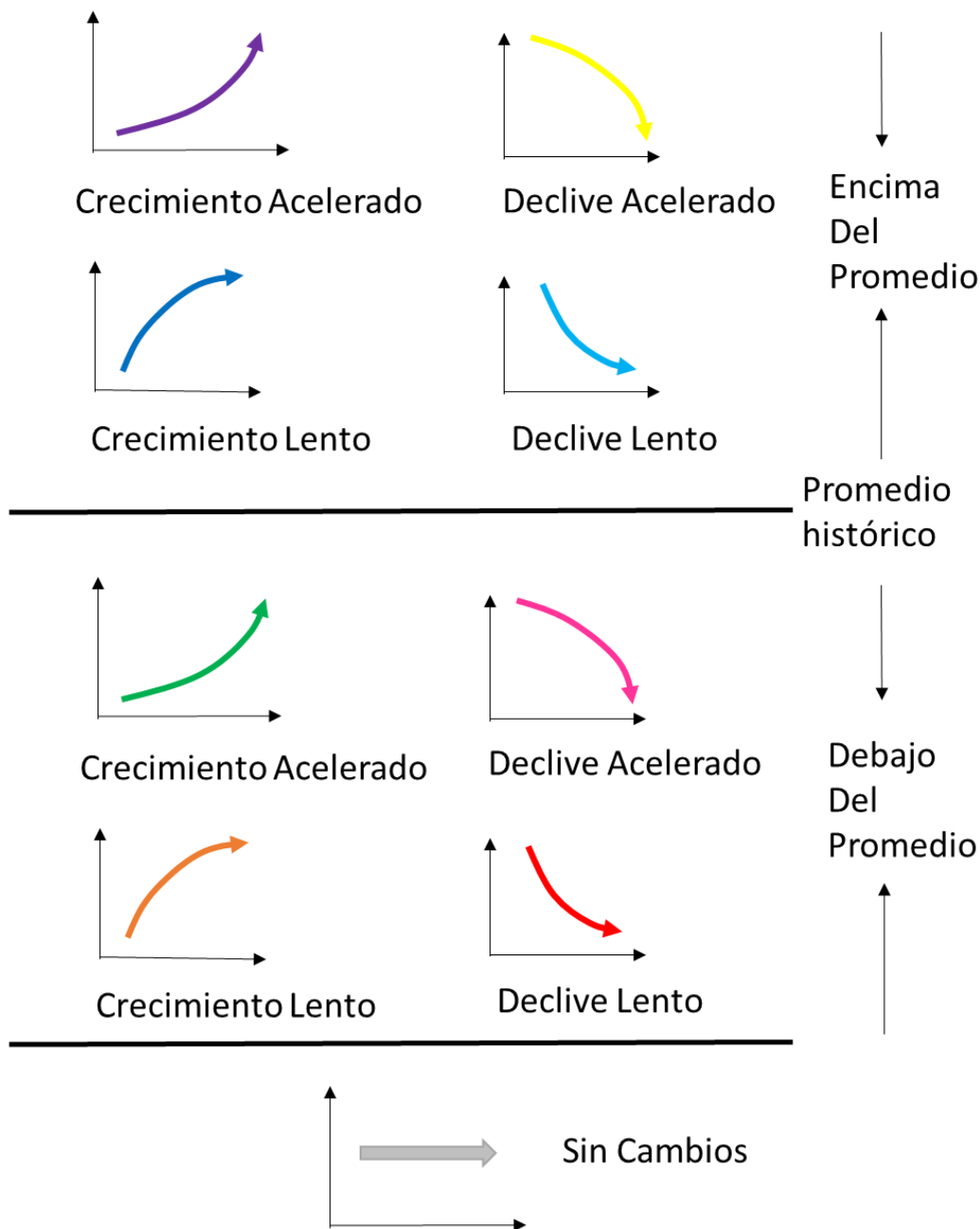


Fig. 30. Clases de Ritmo de Cambio de la Tendencia Cíclica. Referencias: 1. Valores por encima del promedio: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, violeta ■), Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa, azul ■), Declive lento (sentido negativo y con tasa positiva, 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 ■).

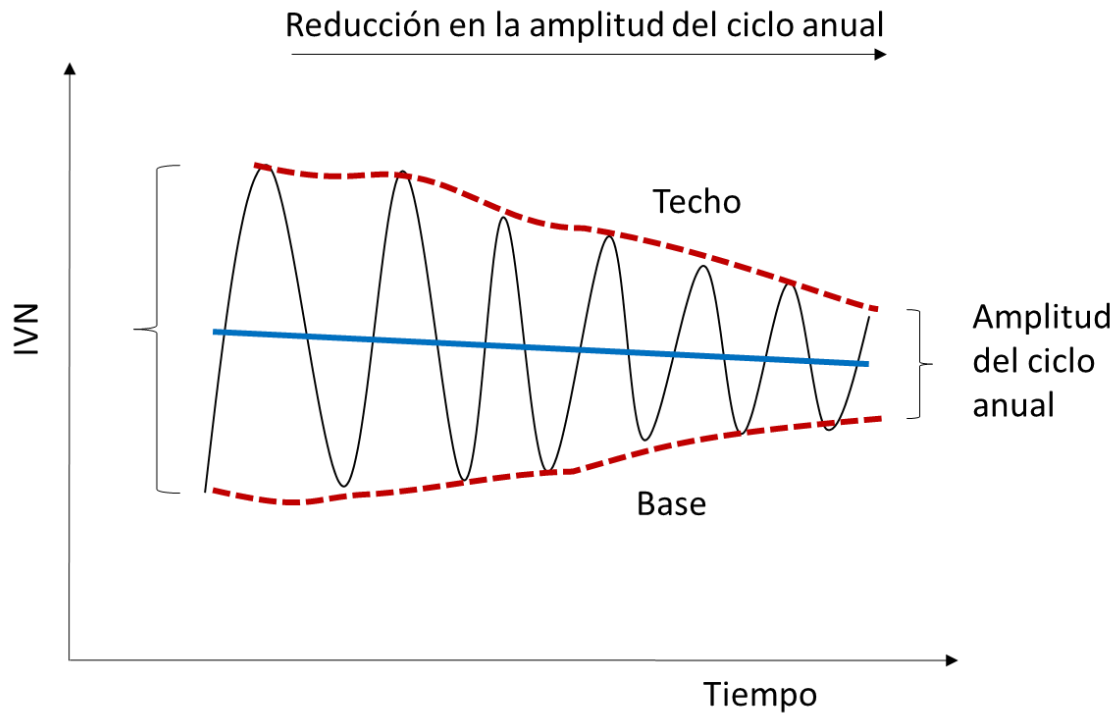


Fig. 31. Ejemplo esquemático de ciclo anual de una serie de NDVI (línea negra), utilizado en la dinámica de pixeles asociados a mallines y estepas, seleccionados en áreas piloto y sitios de MARAS, respectivamente. Se indica el techo y la base de la amplitud del ciclo anual (líneas punteadas marrones), en un comportamiento de reducción de dicha amplitud con el paso del tiempo. La tendencia se indica con la línea entera azul.



6. Bibliografía

- Bai ZG, Dent DL, Olsson L, Schaepman ME. 2008. Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use and Management* 24(3): 223–234.
- Bran, D, Ayesa, J y López, C 2002. Áreas Ecológicas de Neuquén. Comunicación Técnica, Área de Recursos Naturales. INTA, EEA Bariloche, 8pp.
- 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 MH, 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
- Gaitán, JJ., D. Bran, F. Raffo, J. Ayesa, F. Umaña. 2015. Evaluación y cartografía de mallines de la zona de Junín de los Andes, provincia del Neuquén. Comunicación técnica nº 130 INTA EEA Bariloche.
- Gaitán, JJ., D. Bran, F. Raffo, J. Ayesa, F. Umaña. 2015. Evaluación y cartografía de mallines de la zona de Loncopué y Chos Malal, provincia del Neuquén. Comunicación técnica nº 131 INTA EEA Bariloche.
- Gaitán, JJ., C. Lopez, J. Ayesa, G. Siffredi, F. Umaña. 2009. Reconocimiento, cartografía y evaluación de mallines Área Zapala- Neuquén. Comunicación técnica nº 125 INTA EEA Bariloche.
- Hastings A, Wysham DB 2010. Regime shifts in ecological systems can occur with no warning. *Ecology Letters*, 13, 464–472.
- Karl JW, Herrick JE, Pyke DA. 2017. Rangeland Systems. En: Briske DD (ed.), *Rangeland Systems*, Springer Series on Environmental Management, 527-567.
- Oliva G, Bran D, Gaitán J, Ferrante D, Massara V, Martínez GG, Adema E, Enrique M, Dominguez E, Paredes P. 2019. Monitoring drylands: The MARAS system. *Journal of Arid Environments*, 161, pp.55-63.