

Series:
Comunicaciones Técnicas
ISSN 1667-4014

COMUNICACIÓN TÉCNICA N°142
Área Recursos Naturales
Pastizales Naturales

**Dinámica y Prospectiva de la productividad de
la vegetación en la provincia de Neuquén
(2000-2020)**

Febrero 2021

*Easdale, M.; Bruzzone, O.; Umaña, F.; Marciani, S.N.; Navedo,
R.; Valiña, P.; Gazzotti, I.*

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

**Dinámica y prospectiva de la productividad de la vegetación en la
provincia de Neuquén (2000-2020)**

FEBRERO 2021

**Easdale M.H., Bruzzone O., Umaña F., Marciani S., Navedo R., Valiña, P.,
Gazzotti, I.**

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 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 el período 2000-2020, observaciones a campo y soporte con información hidrometeorológica (AIC, 2020). Se diferenciaron cuatro zonas a escala provincial. Para identificar detalles locales, se seleccionaron 10 sitios correspondientes a mallines de las zonas sur, centro y norte provincial y 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 2000-2020: Serie original, Media móvil anual, Movimiento de Mediano y Largo plazo. 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 predomina un escenario en fase positiva en gran parte del Monte y Sierras y Mesetas (Fig. 1), pero en una transición negativa hacia una fase de menor productividad. Las circunstancias de recuperación avanzada están modificándose hacia escenarios de recaída, y en algunas zonas la situación es de alerta. Esto denota que el pulso positivo que tuvo la productividad de los pastizales en los últimos años a escala regional (período 2014-2018) se está agotado, dominando actualmente una transición hacia una fase negativa, la cual se ha profundizado en 2019 y 2020. Por otro lado, el eje longitudinal cordillerano (con foco en el centro-norte provincial) registra todavía valores bajos de productividad de la vegetación, denotando una situación general aún desfavorable, aunque con un proceso reciente de recuperación (Fig. 1). Dicha recuperación se registra lenta en zona de veranadas y un poco más acelerada en zona de invernadas, pero aún el escenario general sigue siendo adverso.

El ritmo de cambio de la productividad permite diferenciar las siguientes zonas:

Situación de Alerta, en recuperación inicial (Zona A1; Fig. 2). Zonas de invernada, que registran niveles de productividad bajos, aunque en proceso de recuperación incipiente (color verde). Las mismas se ubican en la zona centro, una franja que bordea el Cordón del Chachill desde Las Coloradas, Laguna Blanca hasta Pino Hachado. En el norte, con situaciones comparativamente más desfavorables, en invernadas de la cuenca del río Curi Leuvú, Chos Malal y Curaco-El Lechugal (ver Fig. 27), invernadas de la cuenca del río Neuquén en departamento Minas, una franja entre El Huecú y Loncopué (ver Fig. 25), y la franja Barrancas-Buta Ranquil. Una situación análoga se registra en la región centro, en el departamento Confluencia y sureste de Añelo, aunque la recuperación es más incipiente aún (color verde y rojo). A su vez, las zonas de veranadas registran una recuperación más lenta en el centro-norte provincial, asociadas al Cordón del Chachill, Cordillera de los Andes y del Viento, y eje Domuyo-Tromen (color marrón, Fig. 2). A escala regional, las precipitaciones acumuladas entre 2019 y 2020 estuvieron por debajo de valores promedio, especialmente en las cuencas de los ríos Collón Curá y Neuquén (ver Anexo, Fig. A.2 y A.4), y el derrame de ambos ríos confirma una clasificación hidrológica correspondiente a un escenario seco (Fig. A.3 y A.5; AIC, 2020).

Situación de Alerta, en recuperación (zona A2; Fig. 2). Zonas de invernada que registran un mayor nivel de recuperación de productividad, aunque aún por debajo del promedio histórico. Las mismas se ubican en áreas de sierras y mesetas en la región sur, en un triángulo entre Junín de los Andes, Rinconada y Las Coloradas (ver Fig. 16, 18). Por otro lado, para el período 2019-2020, el río Limay presentó un régimen pluviométrico en torno al promedio histórico (Fig. A.6), aunque el derrame del río también se ubica en un escenario seco (Fig. A.7) (AIC, 2020).



En ambas zonas (A1 y A2), en general, los mallines húmedos y sub-húmedos registran un patrón regular estable, con buenos niveles de productividad y en una fase positiva de largo plazo, ayudada por pulsos positivos ocurridos en los últimos años (ver Fig. 4 y 5 en Junín de los Andes; Fig. 7 y 8 en Loncopué). En cambio, en los mallines subhúmedos, secos y degradados, la productividad se encuentra en una fase negativa de mediano plazo y en movimiento decreciente, registrando en algunos casos valores mínimos de los últimos 20 años (ver Fig. 9 en Loncopue; Fig. 11 en Chos Malal; Fig. 13 en Zapala). Esta situación podría estar corroborando la interacción negativa que se genera cuando confluye un escenario más seco y un manejo histórico inconveniente de ecosistema pastoriles más vulnerables (como los mallines subhúmedos y secos), intensificando el problema.

Situación en fase positiva, pero con evidencias de transición negativa o recaída acelerada (Zona B, color amarillo; Fig. 2). Zonas que se encuentran en los departamentos centro-este de Picunches (Fig. 19), sureste de Loncopué (Fig. 24), Pehuenches, y centro-noroeste de Añelo (Fig. 22, 23).

Situaciones en fase positiva, aunque en transición negativa lenta, con algunas zonas de mayor aceleración en la caída o iniciando el cruce de un umbral (promedio histórico), hacia una fase negativa (Zona C, color turquesa; Fig. 2). Estas zonas se ubican en los departamentos del centro-sur provincial. En particular Zapala (Fig. 20), Picún Leufú (Fig. 21), centro-noreste de Collón Curá (Fig. 15) y centro-este de Catan Lil (Fig. 17).

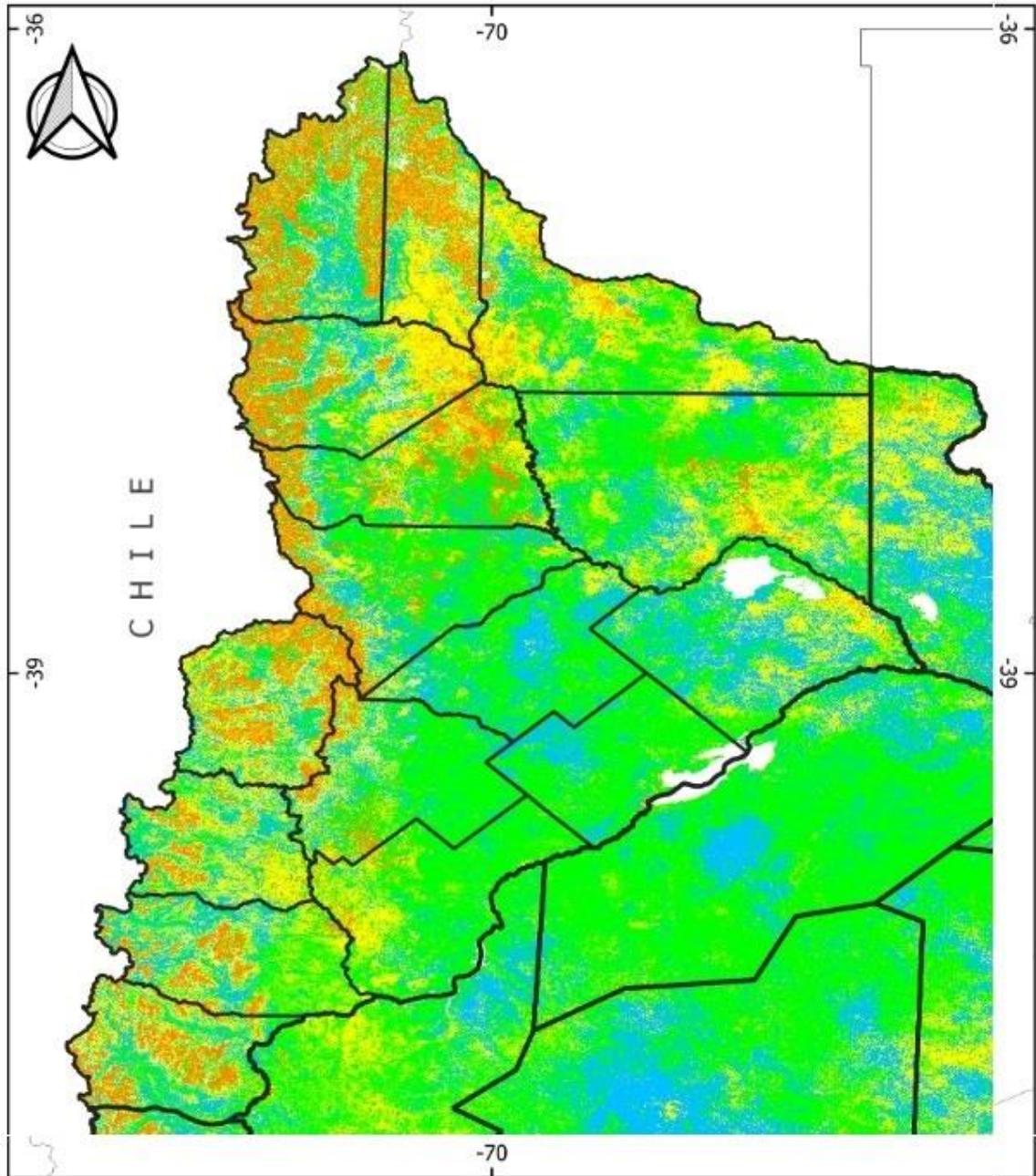


Fig. 1. Tendencia cíclica en la provincia de Neuquén. Las líneas negras identifican límites de departamentos. Referencia de colores de Ciclos de Tendencia: Creciente (azul ■), Recaída Incipiente (turquesa ■), Recaída Avanzada (amarillo ■), Decreciente (rojo ■), Recuperación Incipiente (naranja ■), Recuperación Avanzada (verde ■), Sin Ciclo de Tendencia (blanco) (ver metodología). El color blanco indica cuerpos de agua.

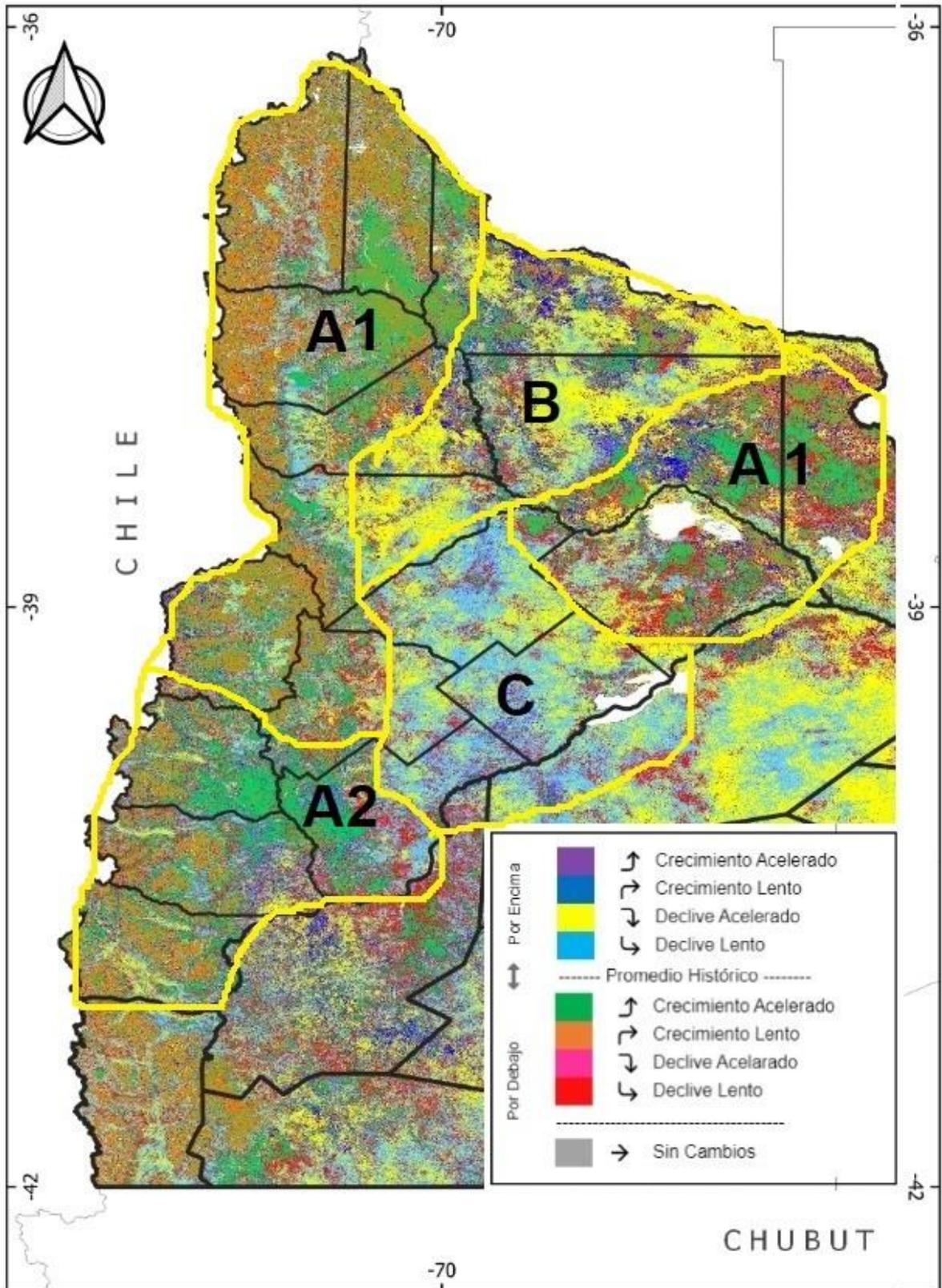




Fig. 2. Ritmo de cambio de la tendencia cíclica en la provincia de Neuquén. Las líneas negras identifican límites de departamentos. Referencias: 1. Valores por encima del promedio: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, violeta ■), Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa 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 blanco indica cuerpos de agua.

2. 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 2000-2020 (serie original, media móvil mediano y largo plazo).

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).

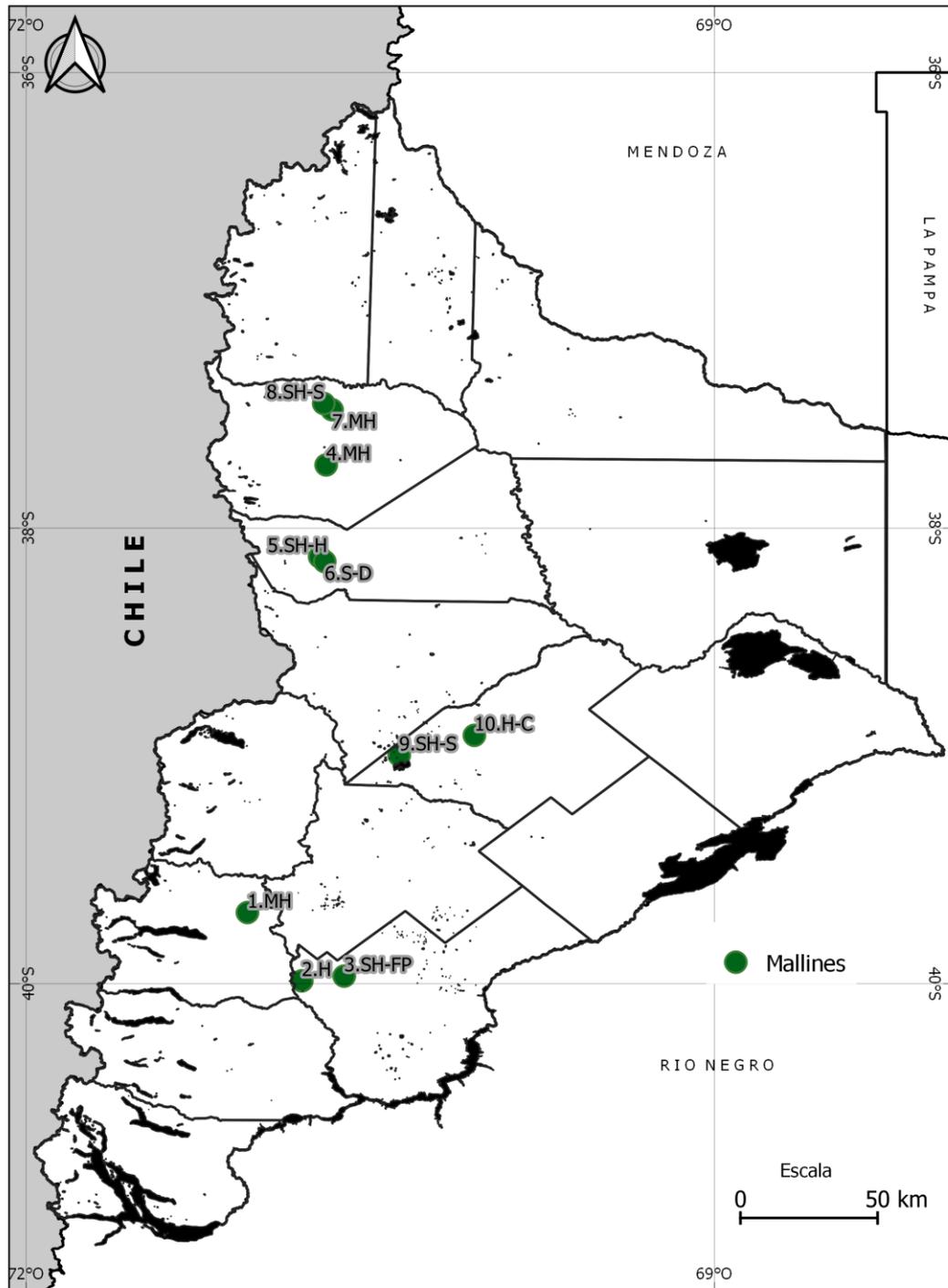


Fig. 3. Ubicación geográfica de los mallines seleccionados en áreas piloto, provincia de Neuquén (ver detalle en Tabla 1).

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.

La serie muestra un patrón anual regular, con valores actuales levemente superiores a los registrados en la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos positivos de productividad en 2014-2015 y en 2018-2019, ocurriendo una caída entre ambos, con mínimos en el año 2016. Los últimos dos años (2019 y 2020) registran una transición negativa desde el último pulso positivo. Sin embargo, la productividad se encuentra en una fase positiva de largo plazo, ayudada por la magnitud del último pulso positivo.

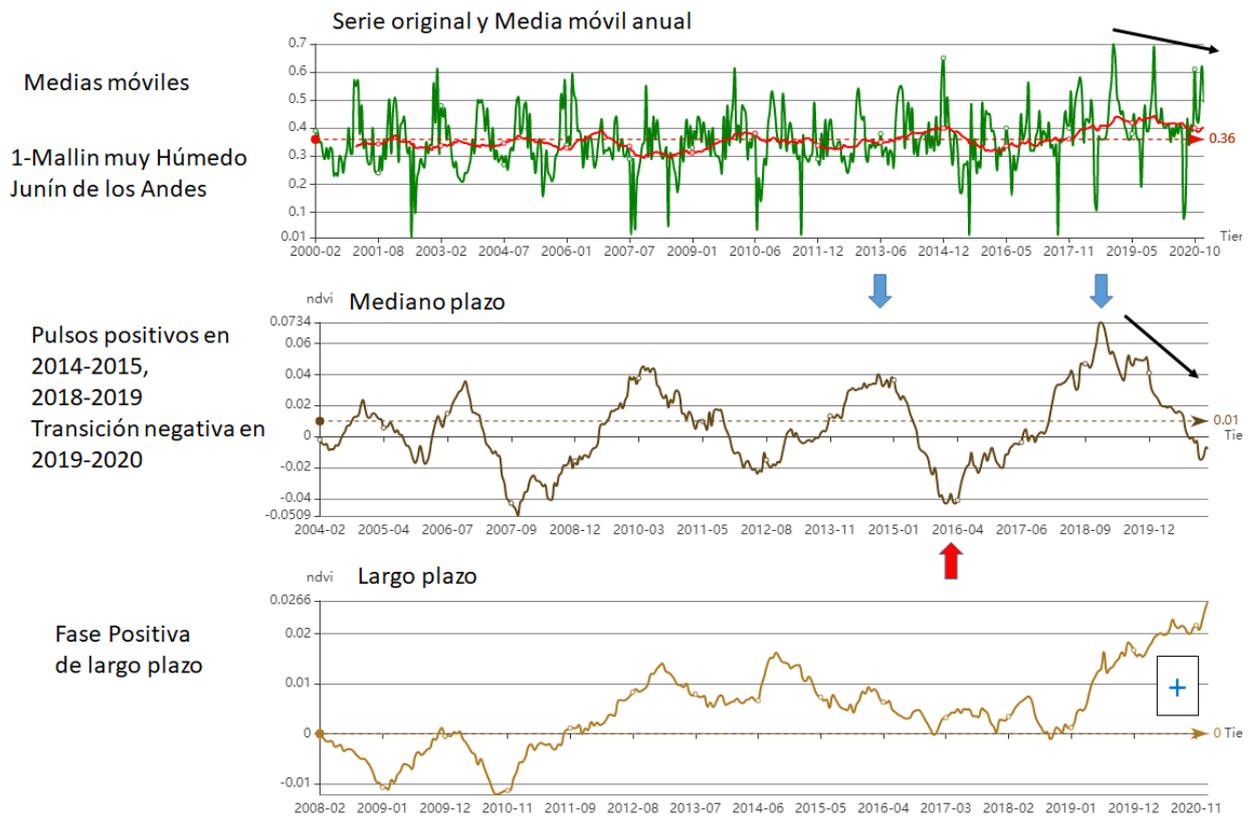


Fig. 4. Mallín muy húmedo #1 (Tabla 1). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.



#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.

La serie muestra un patrón anual muy regular, con valores actuales levemente inferiores a los registrados en la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos negativos en el período 2007-2013, cambiando a pulsos positivos de productividad durante el período 2016-2018. Los últimos dos años (2019 y 2020) registran una transición negativa desde el último pulso positivo, que permitió generar una recuperación a largo plazo, a partir del año 2014. Actualmente, la productividad se encuentra en una fase positiva de largo plazo, ayudada por la magnitud del último período de pulsos positivos, en niveles estabilizados. Debido al movimiento negativo de mediano plazo, es de esperar que provoque en el movimiento de largo plazo un cambio de dirección y el ingreso en una transición negativa. Esto significa que la recuperación se habría frenado y es probable evidenciar un descenso en los niveles de productividad en próximos ciclos productivos.

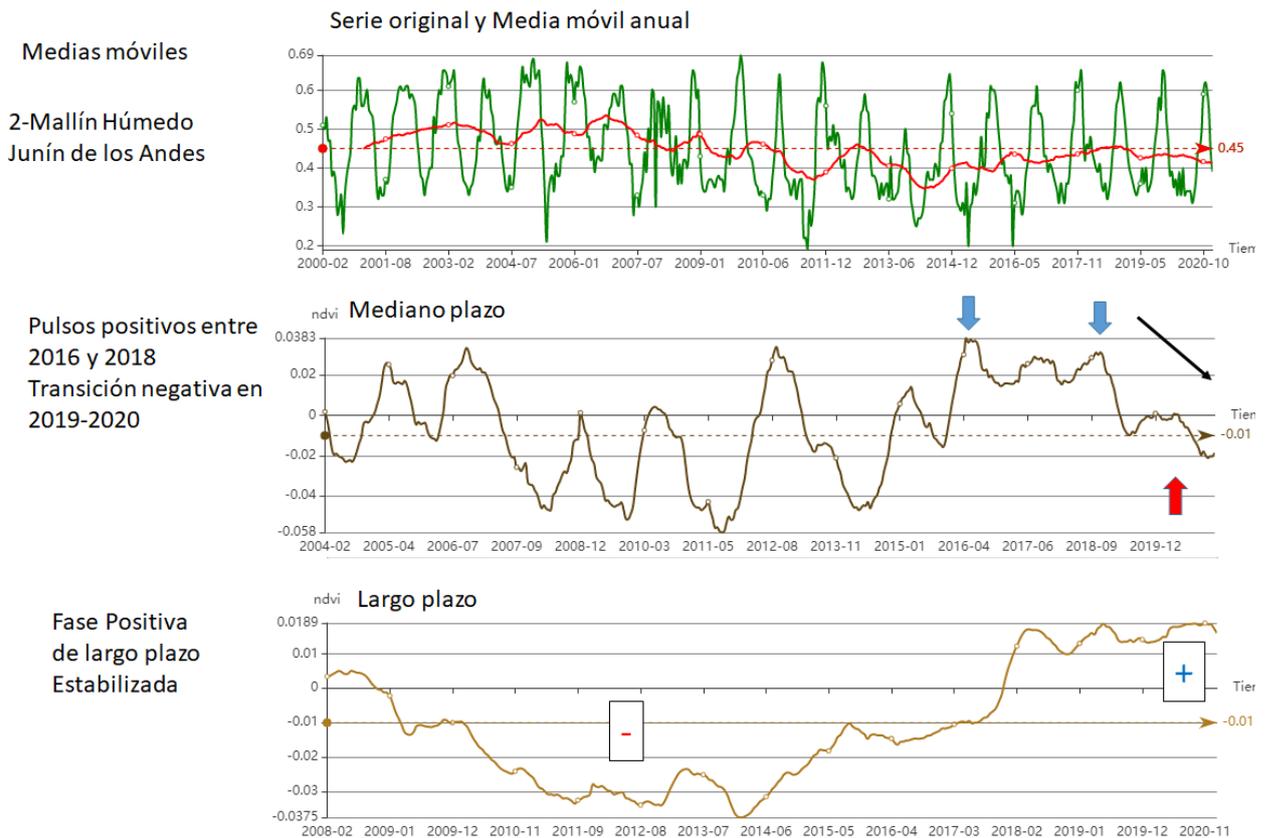


Fig. 5. Mallín húmedo #2 (Tabla 1). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.



#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.

La serie muestra un patrón anual regular, con valores actuales levemente inferiores a los registrados en la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos negativos con mínimos en 2012-2013 y 2015-2016, registrando pulsos positivos de productividad en 2014-2015 y durante el período 2016-2018. Los últimos dos años (2019 y 2020) registran una transición negativa desde el último pulso positivo que permitió generar una recuperación a largo plazo. Actualmente, la productividad se encuentra en una fase positiva de largo plazo, ayudada por la magnitud del último período de pulsos positivos, en niveles estabilizados. Debido al movimiento negativo de mediano plazo, es de esperar que provoque en el movimiento de largo plazo un cambio de dirección y el ingreso en una transición negativa. Esto significa que la recuperación se habría frenado y es probable evidenciar un descenso en los niveles de productividad en próximos ciclos productivos.

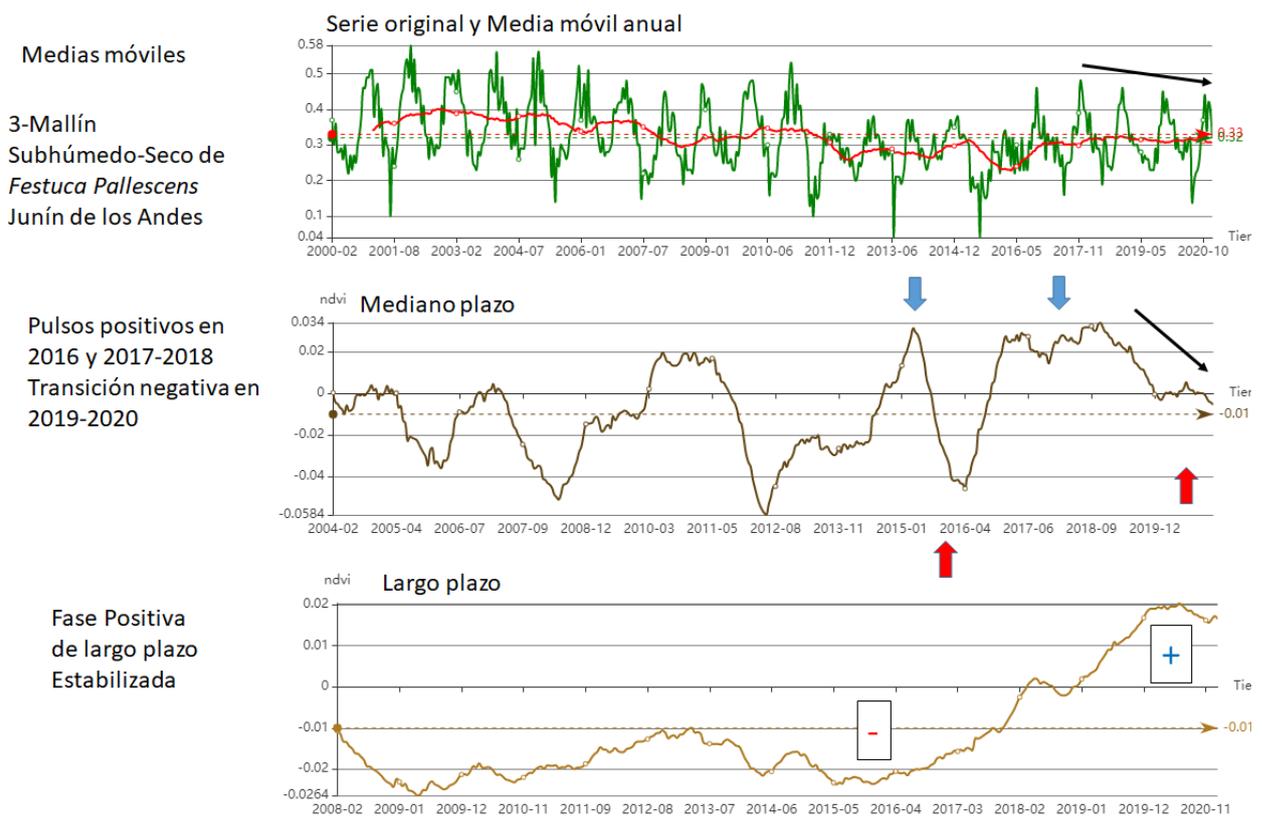


Fig. 6. Mallín subhúmedo-seco de *Festuca Pallescens* #3 (Tabla 1). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.

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.

La serie muestra un patrón anual muy regular, con valores de productividad muy elevados y constantes a lo largo de toda la serie, sin cambios en la tendencia. En el mediano plazo, se registra un pulso actual positivo, tanto de mediano como de largo plazo.

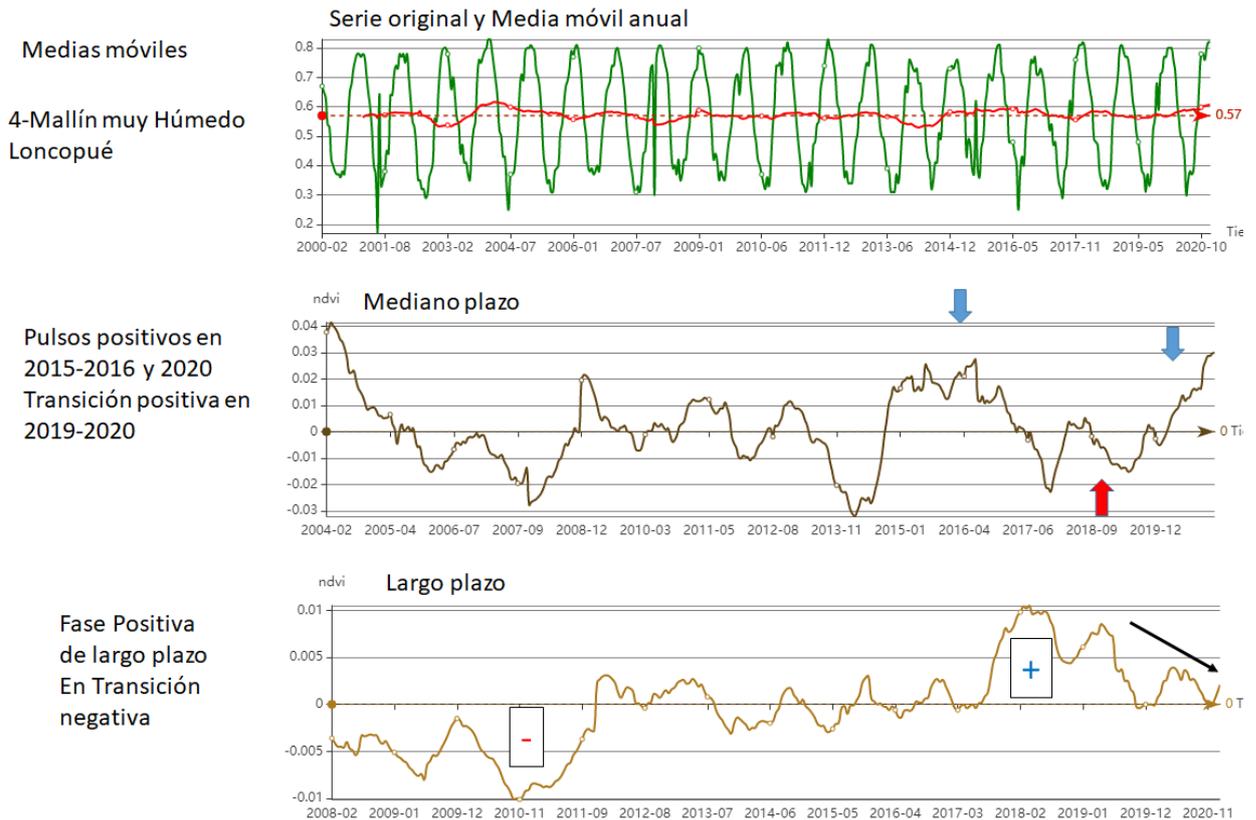


Fig. 7. Mallín muy húmedo #4 (Tabla 1). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.



#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.

La serie muestra un patrón anual muy regular, con valores actuales similares a los registrados en la década del 2000. En el mediano plazo, se registró un pulso negativo con mínimos en 2013, seguido de una serie de pulsos positivos de productividad en 2016, 2018 y 2020. Esto permitió generar una recuperación a largo plazo, iniciada en 2017. Actualmente, la productividad se encuentra en una fase positiva de largo plazo, ayudada por la magnitud del último período de pulsos positivos, en niveles estabilizados. El proceso de recuperación se estaría frenando, pero en niveles de productividad elevados.

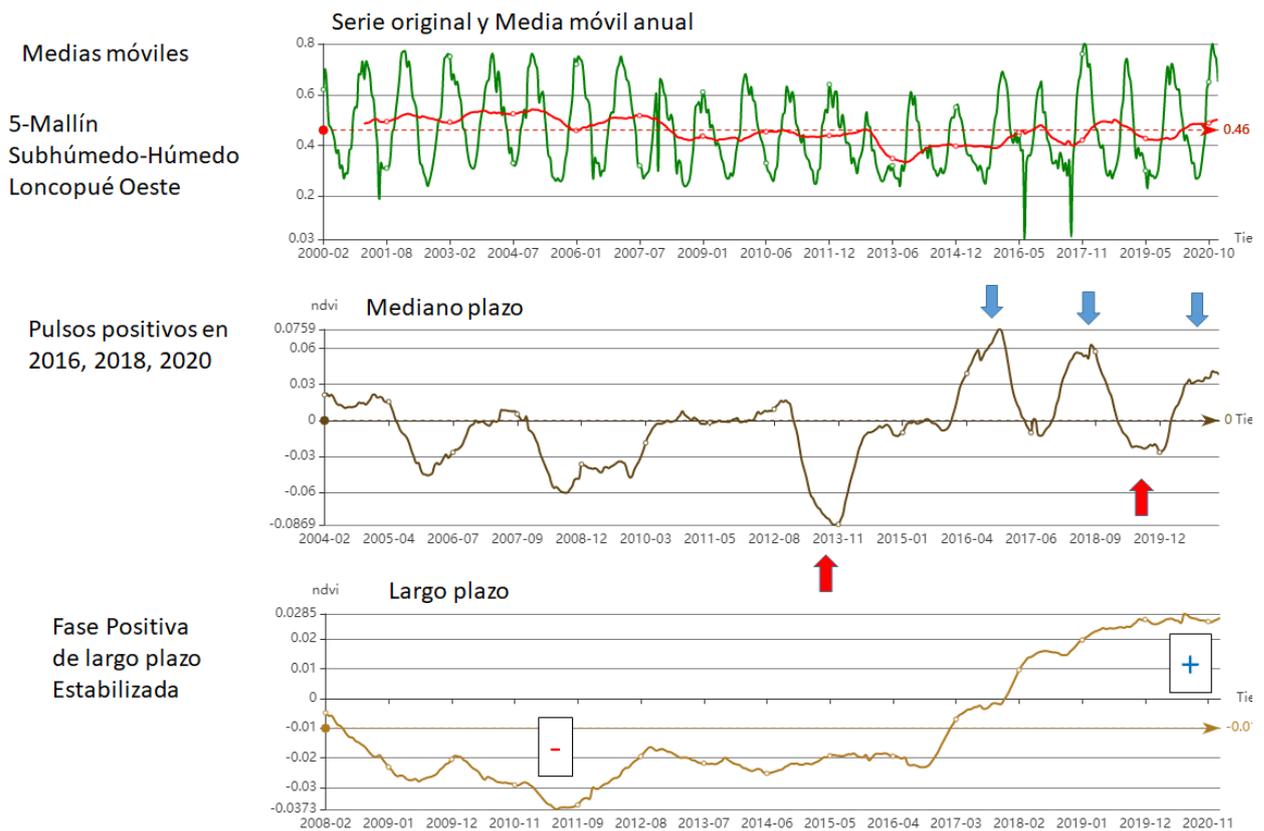


Fig. 8. Mallín subhúmedo-húmedo #5 (Tabla 1). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.

#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.

La serie muestra un patrón anual muy regular, con valores actuales levemente inferiores a los registrados a mediados de la década del 2000. En el mediano plazo, se registró un pulso negativo con mínimos en 2008 que redujo los niveles de productividad, y otro de menor magnitud en 2017. Una serie de pulsos positivos de productividad ocurrieron en 2013 y 2019-2020. Sin embargo, no fueron suficientes para generar una recuperación a largo plazo. Actualmente, la productividad se encuentra en una fase negativa de largo plazo, con transición levemente positiva, ayudada por el último período de pulsos positivos. El proceso de recuperación se estaría frenando, debido a la transición negativa de mediano plazo.

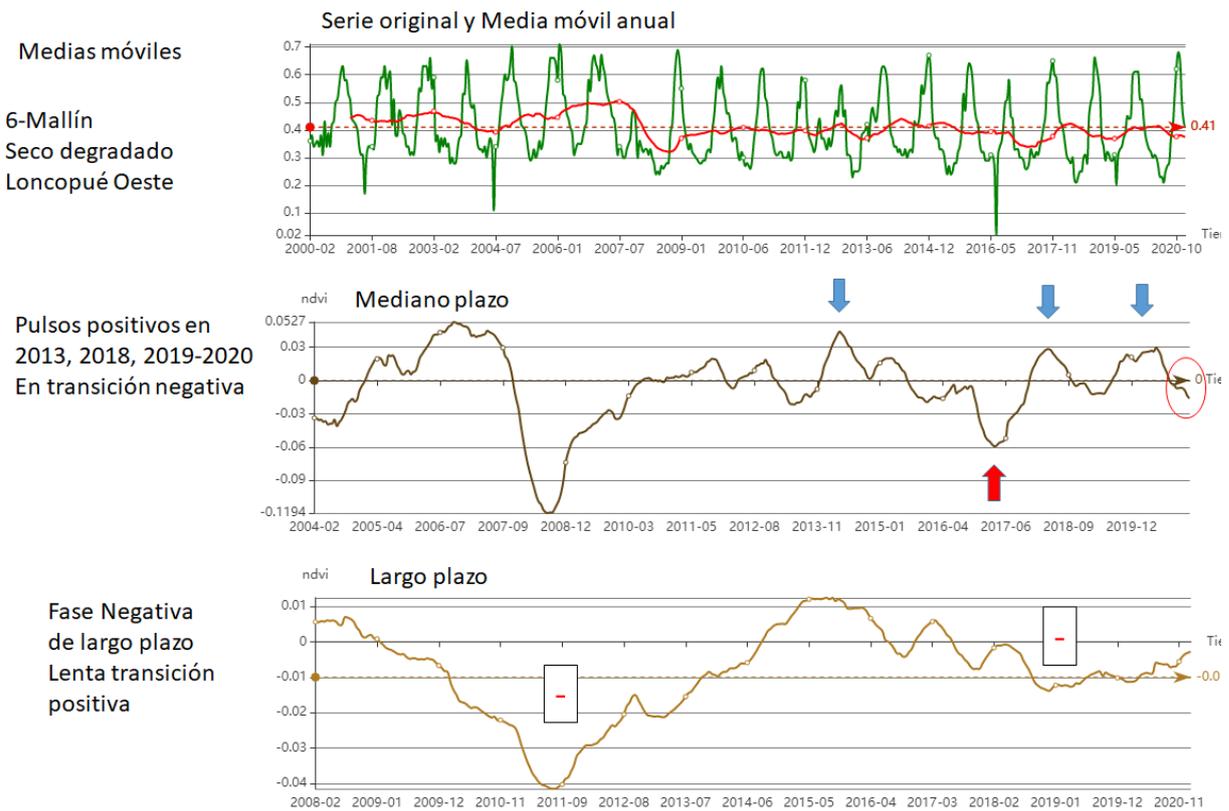


Fig. 9. Mallín seco-degradado #6 (Tabla 1). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.

#7-NORTE, Ñorquín. Mallín muy húmedo

La serie muestra un patrón anual, con valores actuales levemente superiores a los registrados a mediados de la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos positivos de productividad en 2015 y 2017-2018. Actualmente, la productividad se encuentra en una fase positiva de largo plazo, con transición levemente negativa, estabilizada en los últimos años.

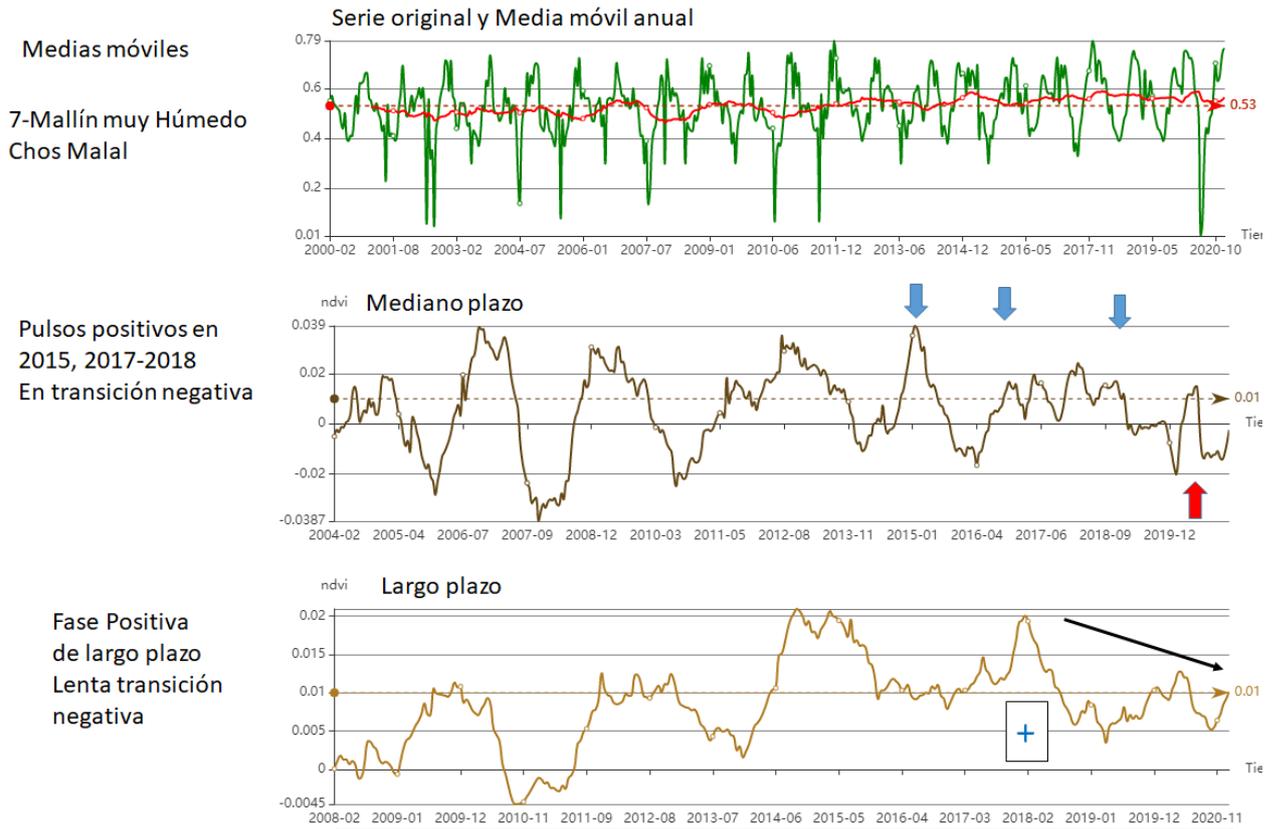


Fig. 10. Mallín muy húmedo #7 (Tabla 1). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.



#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.

La serie muestra un patrón anual regular hasta el año 2010, cambiando su dinámica con posterioridad. Los valores actuales son inferiores a los registrados en la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron leves pulsos positivos en 2016 y 2018 que, si bien permitieron recuperar la situación negativa previa, no lograron consolidar un cambio hacia una fase positiva. Actualmente, la productividad se encuentra en una transición negativa de mediano plazo, que provoca una recaída acelerada en una fase negativa de largo plazo. Los niveles de productividad actuales serían los mínimos de toda la serie y transitando una transición negativa.

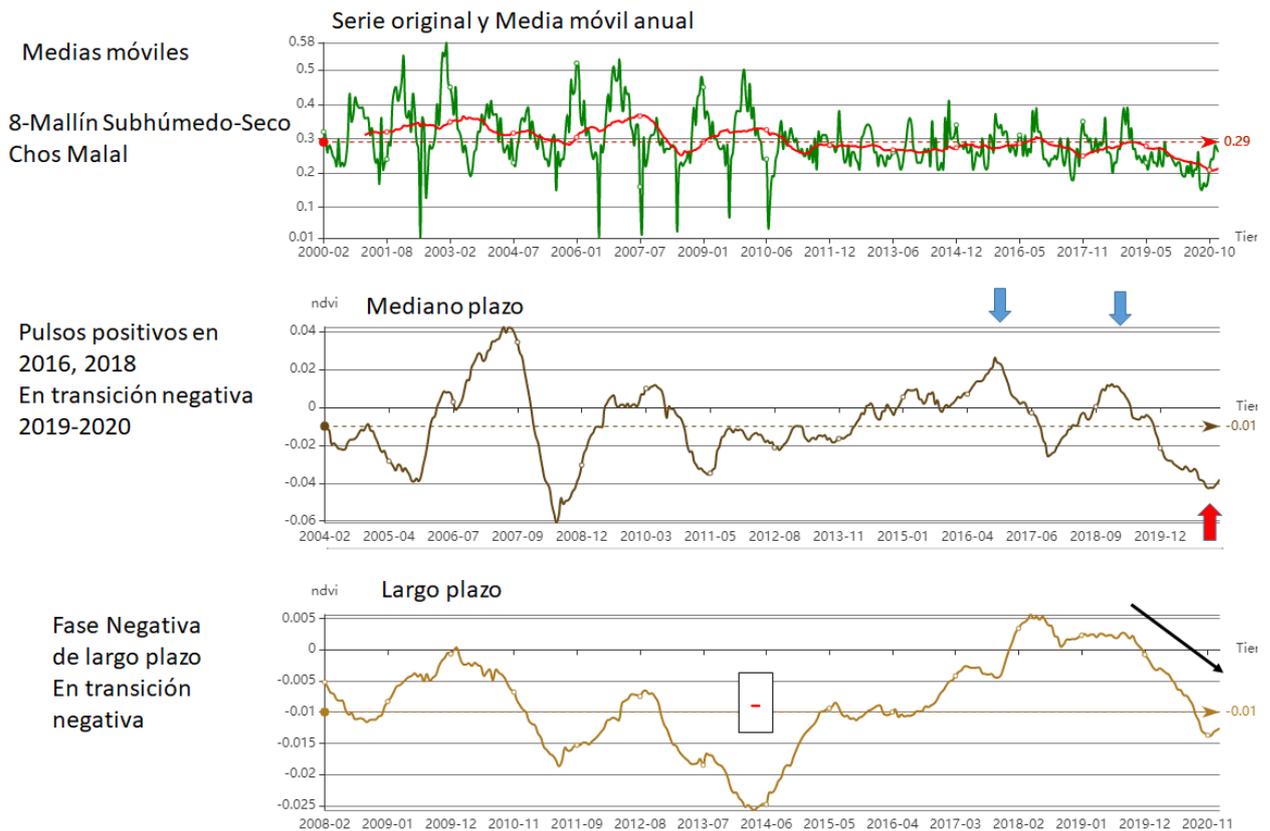


Fig. 11. Mallín subhúmedo-seco #8 (Tabla 1). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.



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.

La serie muestra un patrón anual. Los valores actuales son inferiores a los registrados al inicio de la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos positivos en el período entre 2016 y 2018 que permitieron recuperar la situación negativa previa. Actualmente, la productividad se encuentra en una fase positiva, aunque en lenta transición negativa de mediano plazo. Los niveles de productividad actuales son intermedios, entre los máximos registrados a inicio del 2000 y los mínimos entre 2008-2013. La recuperación se ha frenado y se comienza a evidenciar una lenta transición negativa.

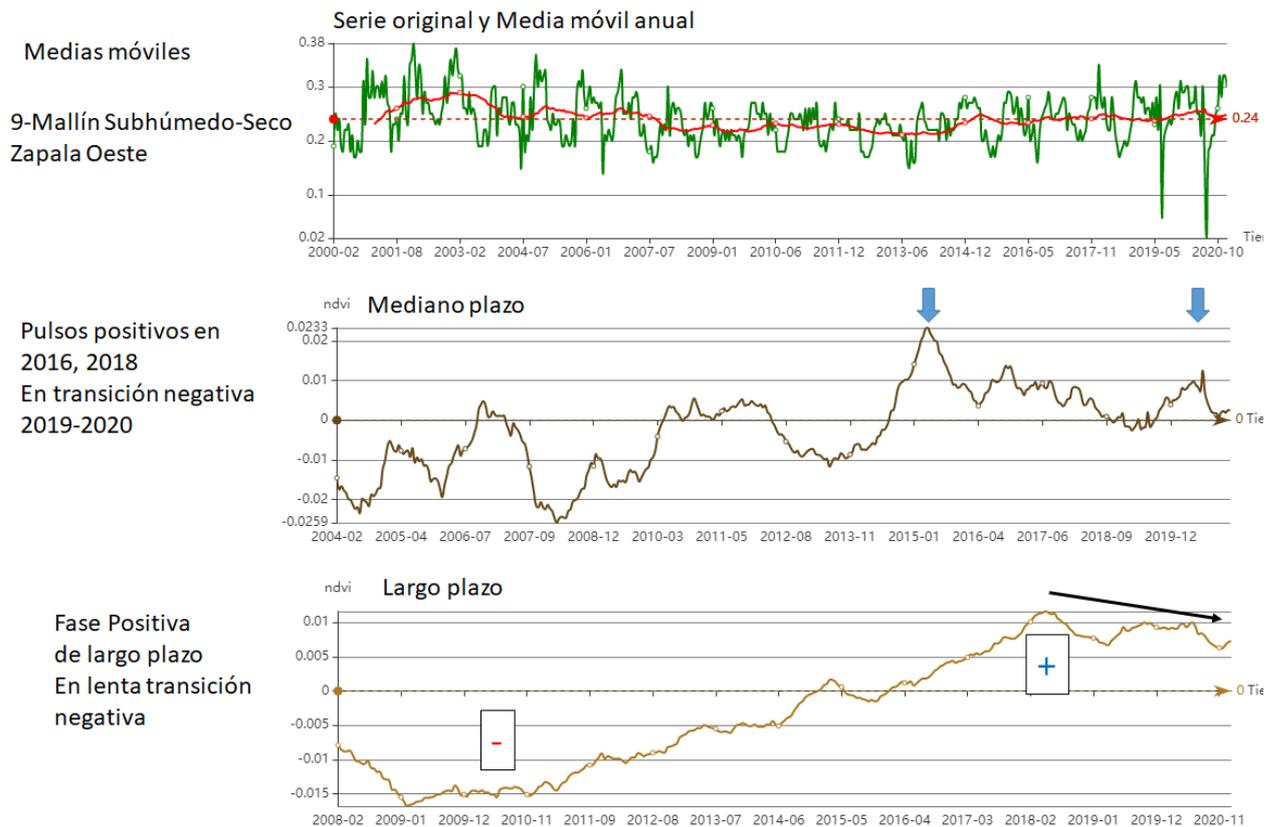


Fig. 12. Mallín subhúmedo-seco #9 (Tabla 1). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.



#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.

La serie muestra un patrón anual regular a lo largo de toda la serie. En el mediano plazo, se registraron leves pulsos positivos en 2016 y 2018 que, si bien permitieron recuperar la situación negativa previa, no lograron consolidar un cambio hacia una fase positiva. Actualmente, la productividad se encuentra en una transición negativa de mediano plazo, que provoca una recaída acelerada en una fase negativa de largo plazo. Los niveles de productividad actuales serían los mínimos de toda la serie y transitando una transición negativa.

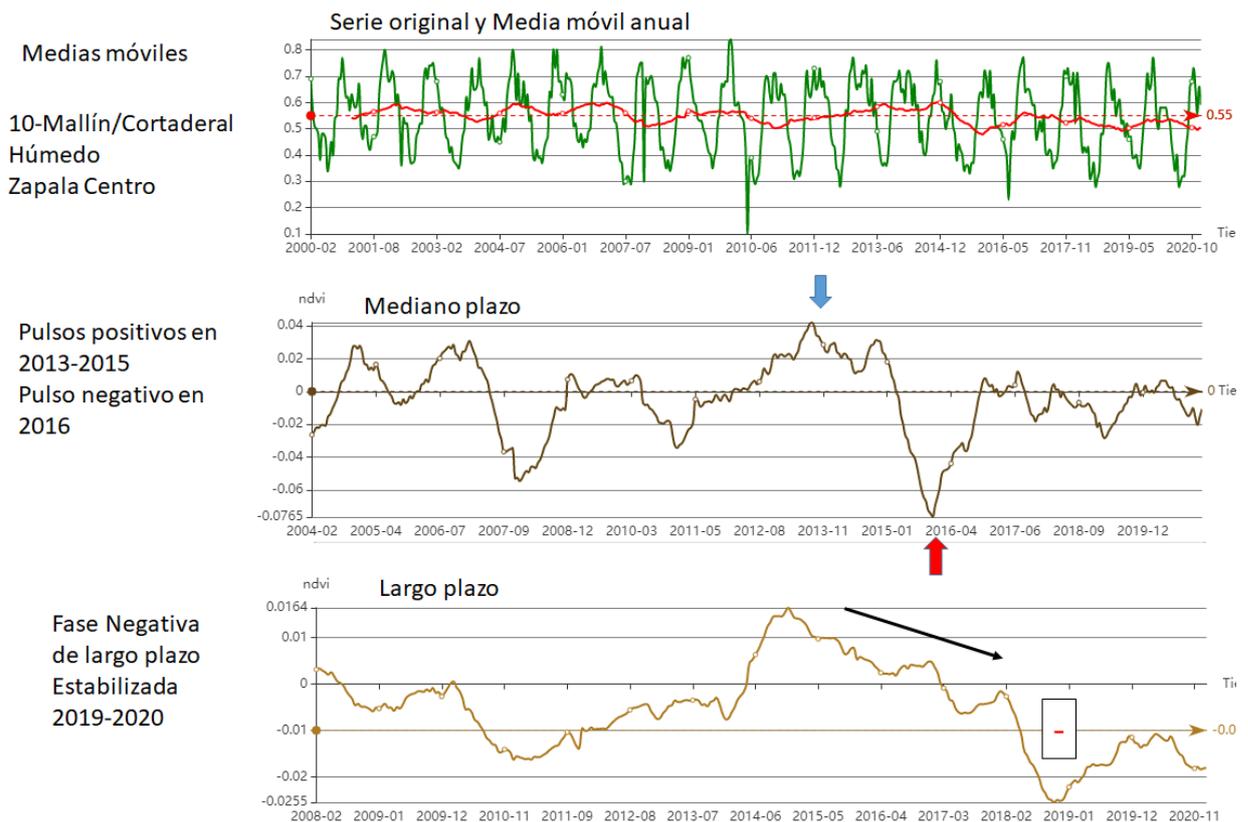


Fig. 13. Mallín/cortaderal húmedo #10 (Tabla 1). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.



3. 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

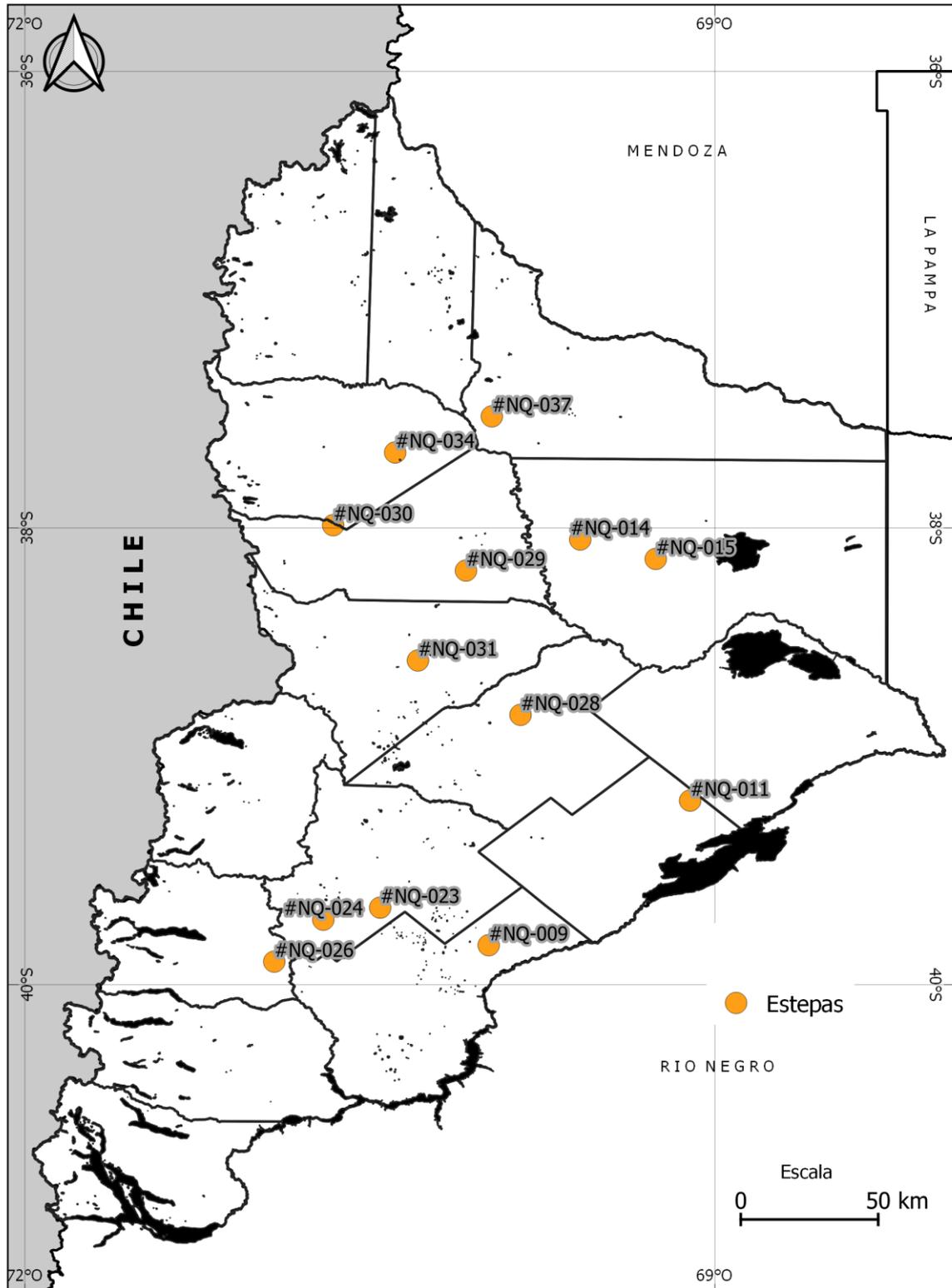


Fig. 14. Ubicación geográfica de las estepas seleccionadas en áreas con monitores de MARAS instalados, provincia de Neuquén (ver detalle en Tabla 2).



ZONA SUR

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

La serie muestra una fuerte oscilación de largo plazo, con una fase claramente negativa, seguida de una fase positiva de recuperación reciente. Los valores actuales son levemente inferiores a los registrados en la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos bianuales positivos en 2015, 2017 y 2019 que permitieron recuperar la situación negativa previa (cuyo mínimo se situó en el año 2012), logrando consolidar un cambio hacia una fase positiva. Actualmente, la productividad se encuentra estabilizada en una fase positiva de largo plazo.

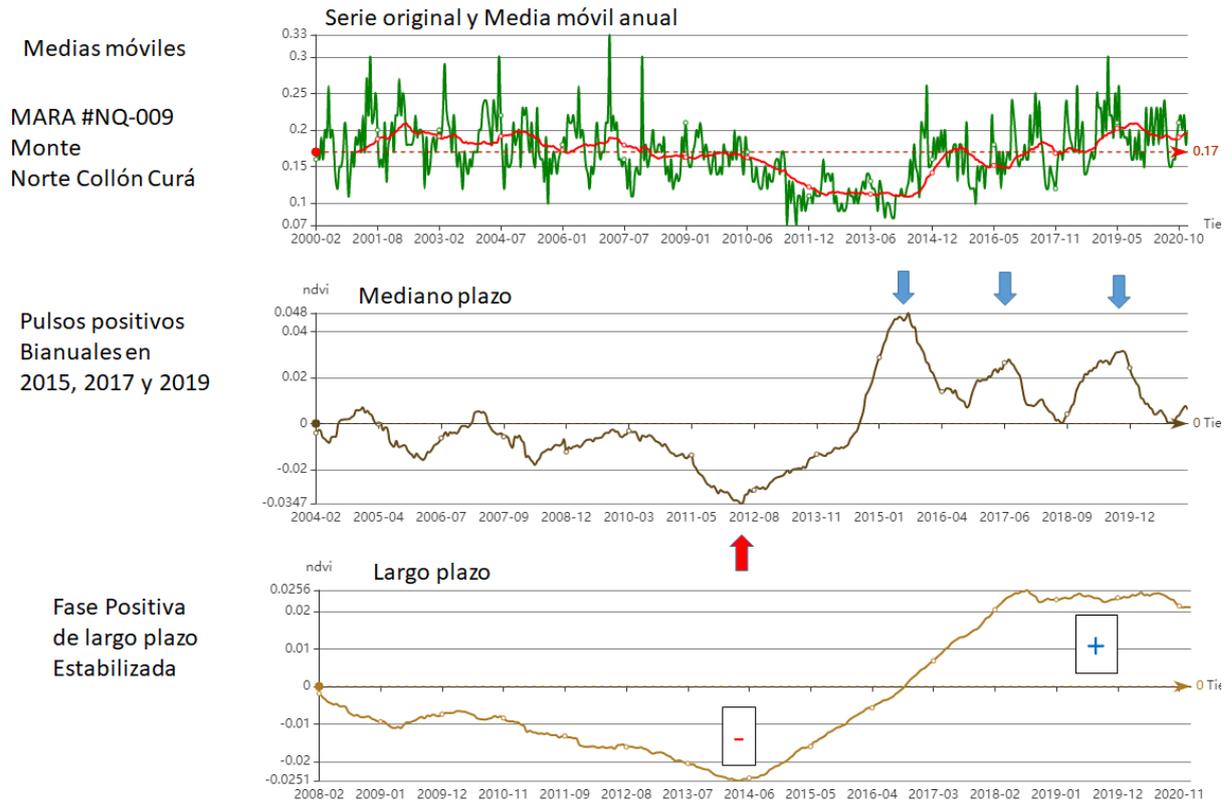


Fig. 15. Monitor MARA #NQ-009 (Tabla 2). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.

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

La serie muestra una oscilación de largo plazo en torno a valores medios, con una tendencia negativa en el último período. Los valores actuales son levemente inferiores a los registrados en la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos muy positivos en 2015, y en 2018-2019 que permitieron amortiguar la caída generalizada, cuyos mínimos se situaron en los años 2008, 2012, 2016 y 2018, sin lograr consolidar un cambio hacia una fase positiva. Actualmente, la productividad se encuentra oscilando en una fase negativa de largo plazo.

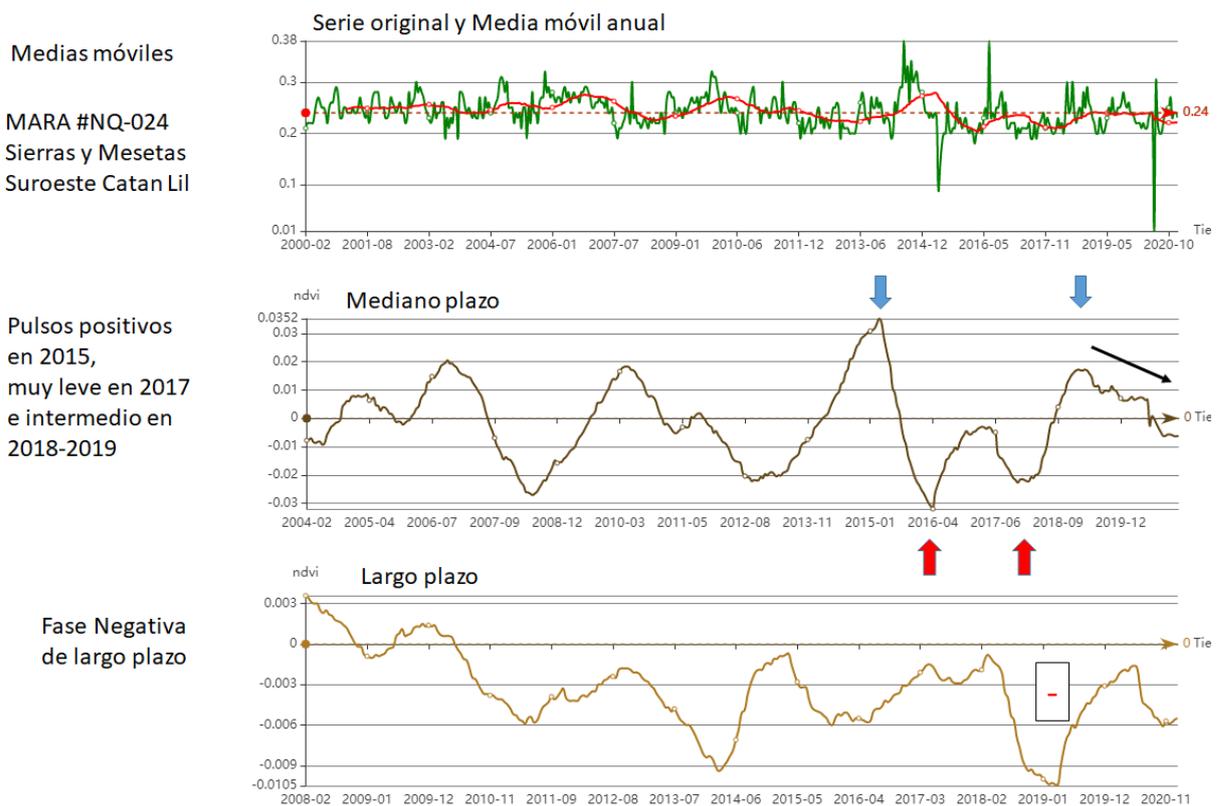


Fig. 16. Monitor MARA #NQ-024 (Tabla 2). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.



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

La serie muestra una fuerte oscilación de largo plazo, con una fase claramente negativa hacia fines de la década del 2000 e inicios de la década del 2010, seguida de una fase positiva de recuperación reciente. Los valores actuales son similares a los registrados a principios de la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos bianuales positivos y decrecientes en 2015, 2017 y 2019 que permitieron recuperar la situación negativa previa (cuyo mínimo se situó en el año 2012), logrando consolidar un cambio hacia una fase positiva. Actualmente, la productividad se encuentra estabilizada en una fase positiva de largo plazo, aunque iniciando una transición negativa, vinculada con la merma de mediano plazo.

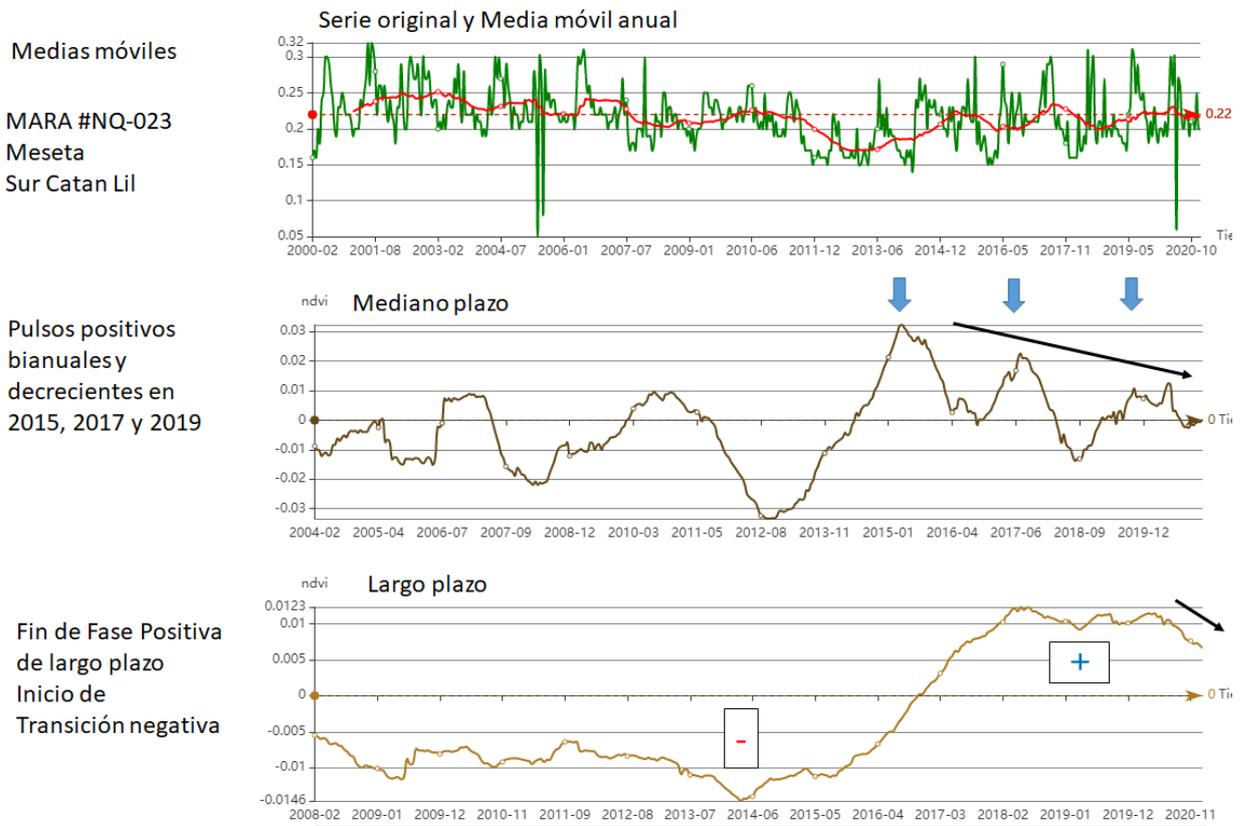


Fig. 17. Monitor MARA #NQ-023 (Tabla 2). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.

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

La serie muestra una fuerte oscilación de largo plazo vinculada con una perturbación intensa en 2015-2016 (posiblemente asociada a la caída de cenizas producto de la erupción del volcán Calbuco en 2015), lo que generó una fase negativa que tuvo una fuerte recuperación posterior. Los valores actuales son inferiores a los registrados durante la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos positivos en 2014-2015 y 2017-2018. Este último pulso permitió recuperar la situación negativa previa, logrando consolidar un cambio hacia una fase positiva, aunque su efecto se estaría agotando. Actualmente, la productividad se encuentra estabilizada en una fase positiva de largo plazo, aunque el inicio de una transición negativa de mediano plazo podría impactar negativamente en el largo plazo.

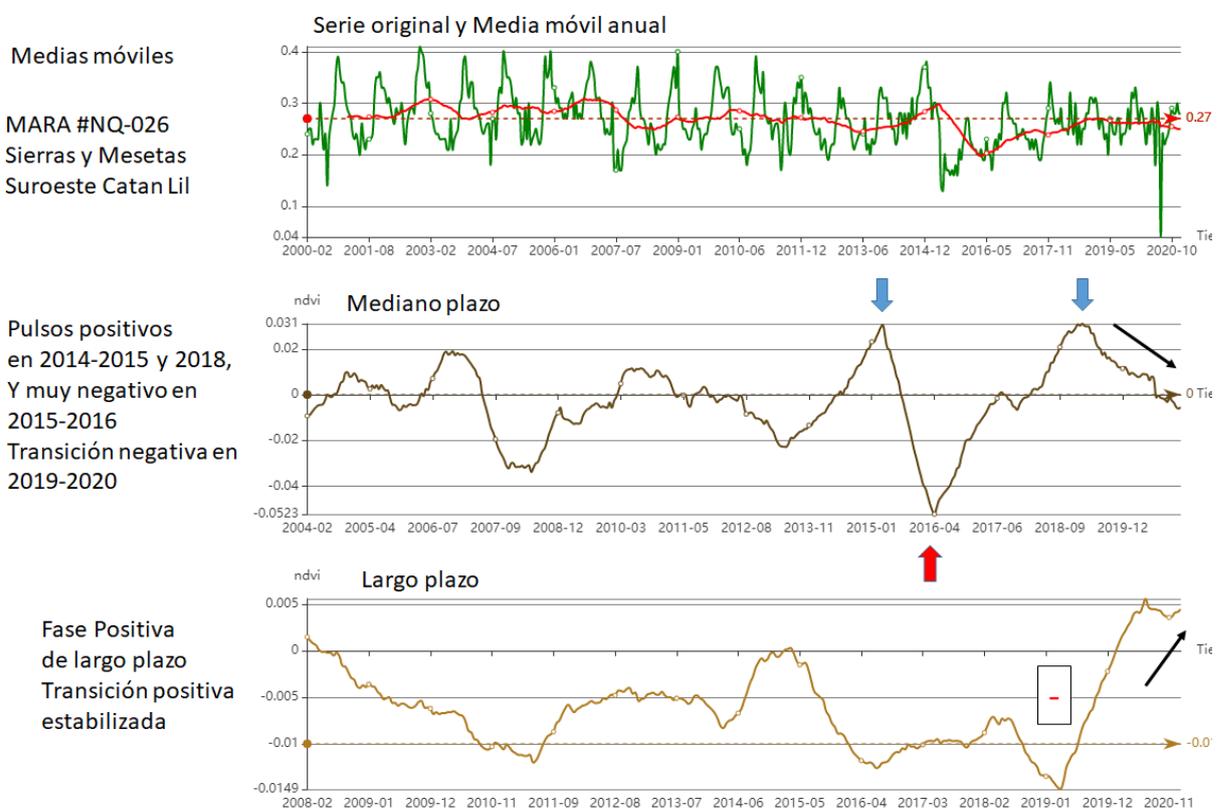


Fig. 18. Monitor MARA #NQ-026 (Tabla 2). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.



ZONA CENTRO

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

La serie muestra una oscilación de largo plazo en torno a valores medios muy bajos, denotando una estepa de baja productividad. Los valores actuales son similares a levemente inferiores a los registrados a principios de la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos positivos en 2015 y 2019-2020, con una retracción en 2018. El último pulso permitió recuperar la situación negativa previa, logrando consolidar un cambio hacia una fase positiva de mediano plazo, la cual se encuentra en acelerada retracción nuevamente. Actualmente, la productividad se encuentra una transición negativa de largo plazo, vinculada con la caída abrupta de mediano plazo.

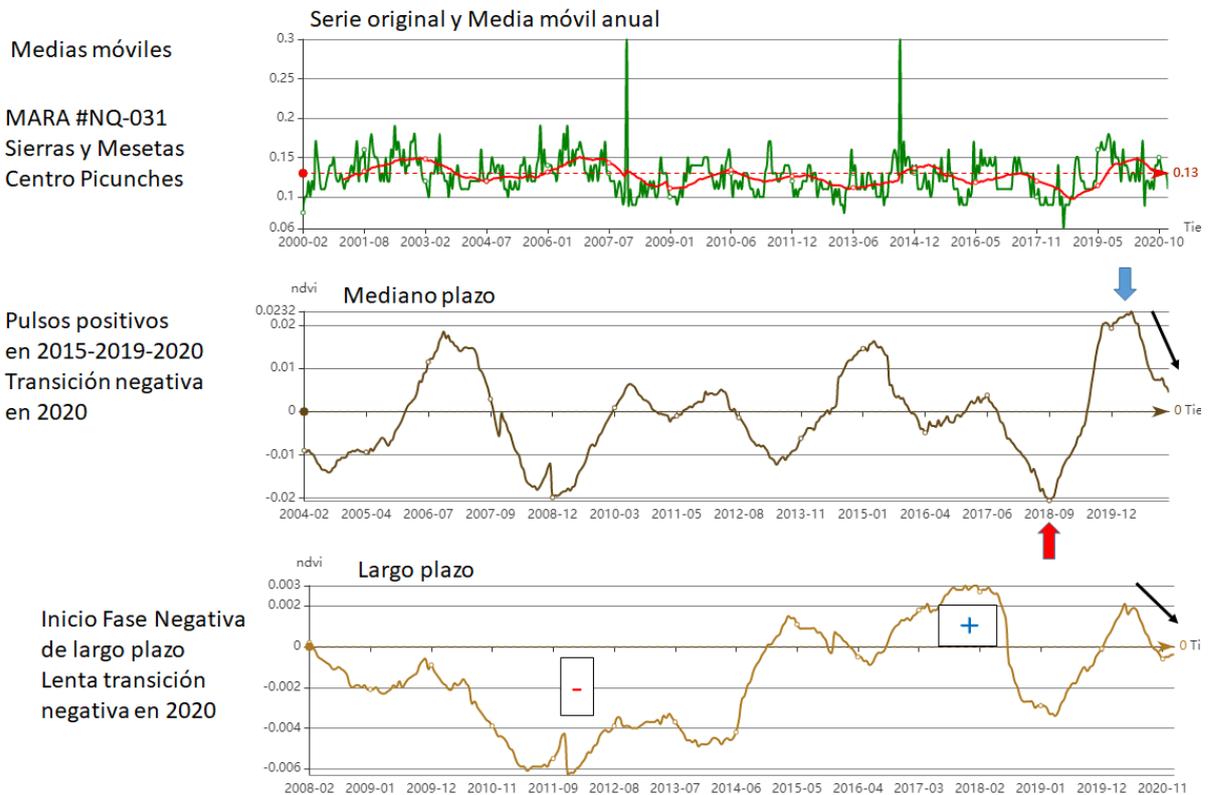


Fig. 19. Monitor MARA #NQ-031 (Tabla 2). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.

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

La serie muestra una fuerte oscilación de largo plazo, con una fase negativa hacia fines de la década del 2000 e inicios de la década de 2010, seguida de una fase positiva de recuperación más reciente. Los valores actuales son levemente inferiores a los registrados a principios de la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos positivos con picos en 2015 y 2017 que permitieron recuperar la situación negativa previa (cuyo mínimo se situó en el año 2007), logrando consolidar un cambio hacia una fase positiva. Actualmente, la productividad se encuentra en una fase positiva de largo plazo, aunque iniciando una transición negativa, vinculada con una acelerada retracción de mediano plazo, que alcanzó en 2020 nuevamente valores mínimos de toda la serie.

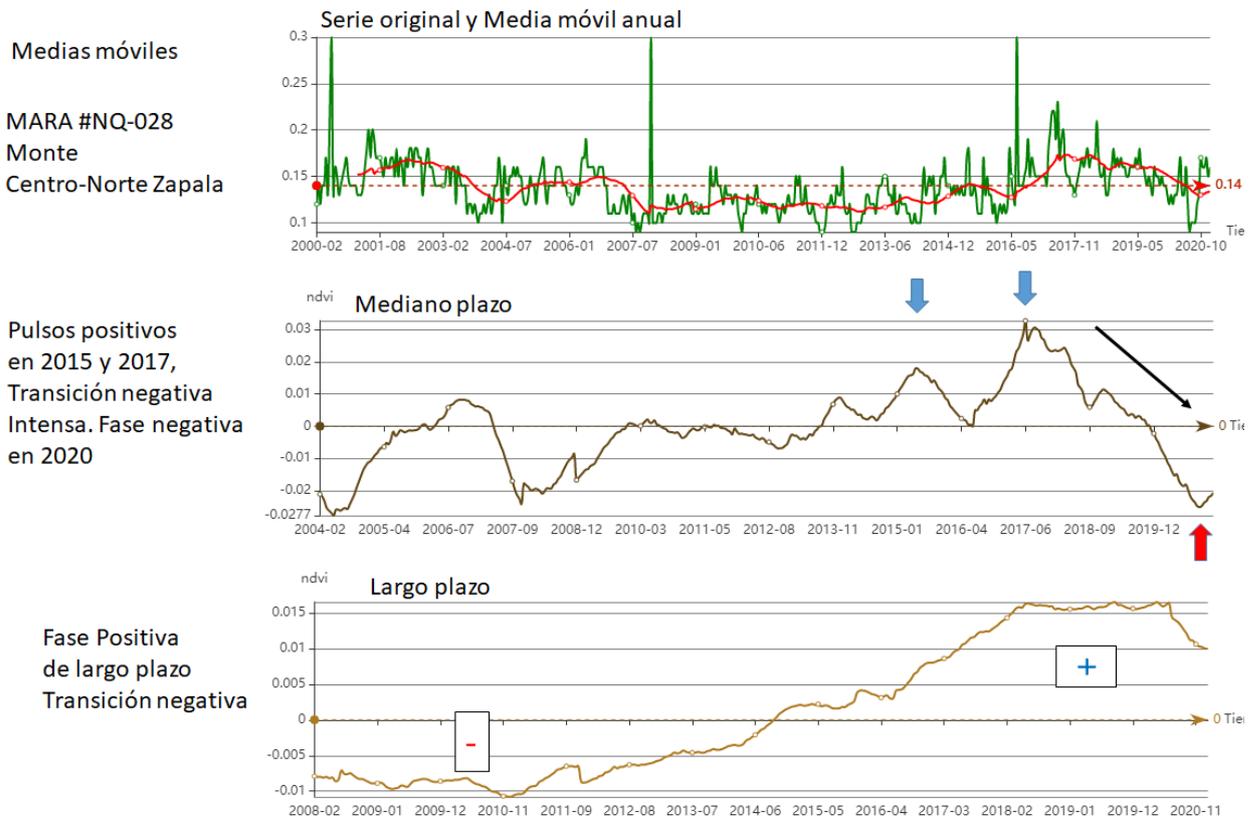


Fig. 20. Monitor MARA #NQ-028 (Tabla 2). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.



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

La serie muestra una fuerte oscilación de mediano y largo plazo, con una fase claramente negativa hacia fines de la década del 2000 e inicios de la década del 2010, seguida de una fase positiva de recuperación reciente. Los valores actuales son inferiores a los registrados a principios de la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos bianuales positivos y decrecientes en 2015, 2017 y 2019 que permitieron recuperar la situación negativa previa (cuyos mínimos se situaron en el año 2007 y 2012), logrando consolidar un cambio hacia una fase positiva. Actualmente, la productividad se encuentra ingresando en una fase negativa de largo plazo, impulsada por una transición negativa, vinculada con la retracción de mediano plazo y al agotamiento de los pulsos positivos anteriores.

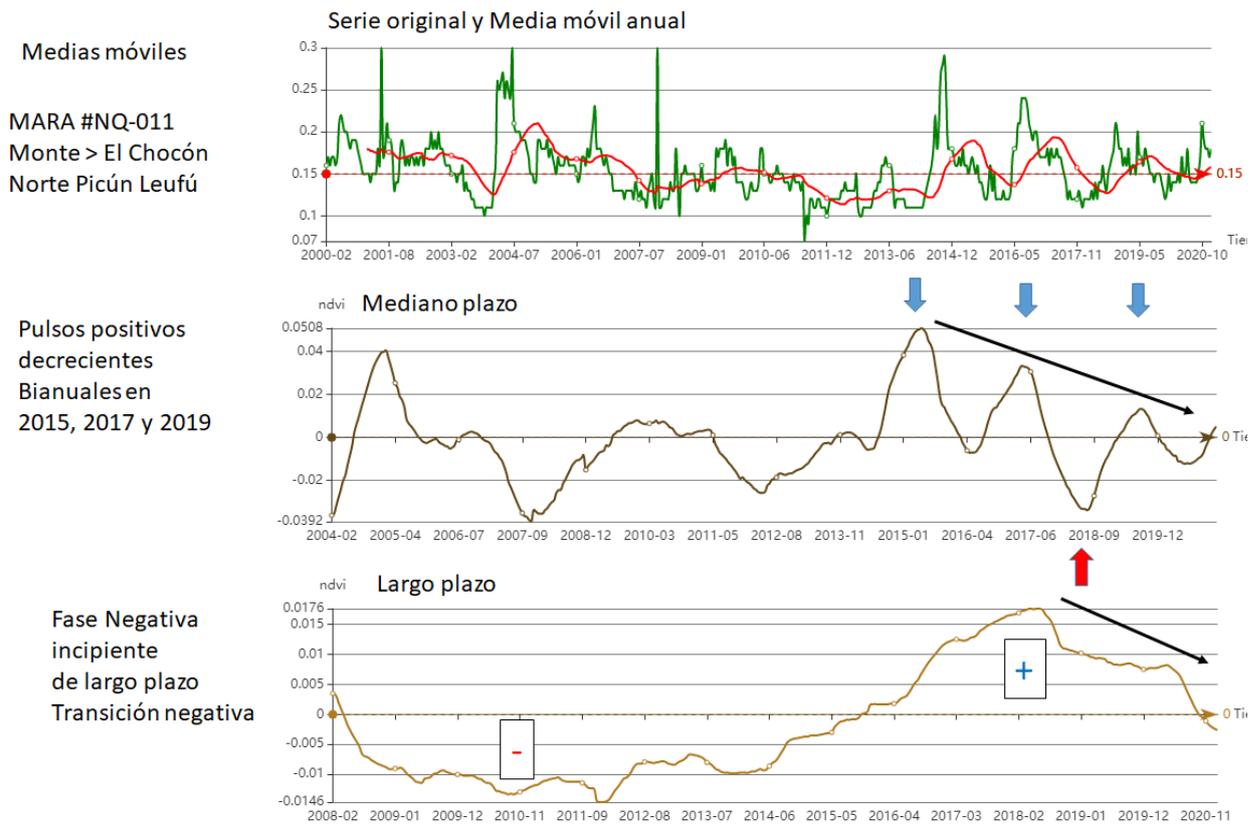


Fig. 21. Monitor MARA #NQ-011 (Tabla 2). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.

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

La serie muestra una fuerte oscilación de mediano y largo plazo, con una fase claramente negativa hacia fines de la década del 2000 e inicios de la década del 2010, seguida de una fase positiva de recuperación reciente. Los valores actuales son levemente inferiores a los registrados en la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos bianuales positivos y decrecientes en 2013, 2015, 2017 y 2019 que permitieron recuperar la situación negativa previa (cuyo mínimo se situó en el año 2011-2012), logrando consolidar un cambio hacia una fase positiva. Actualmente, la productividad se encuentra ingresando en una fase negativa de largo plazo, impulsada por una transición negativa, vinculada con la retracción de mediano plazo y al agotamiento de los pulsos positivos anteriores.

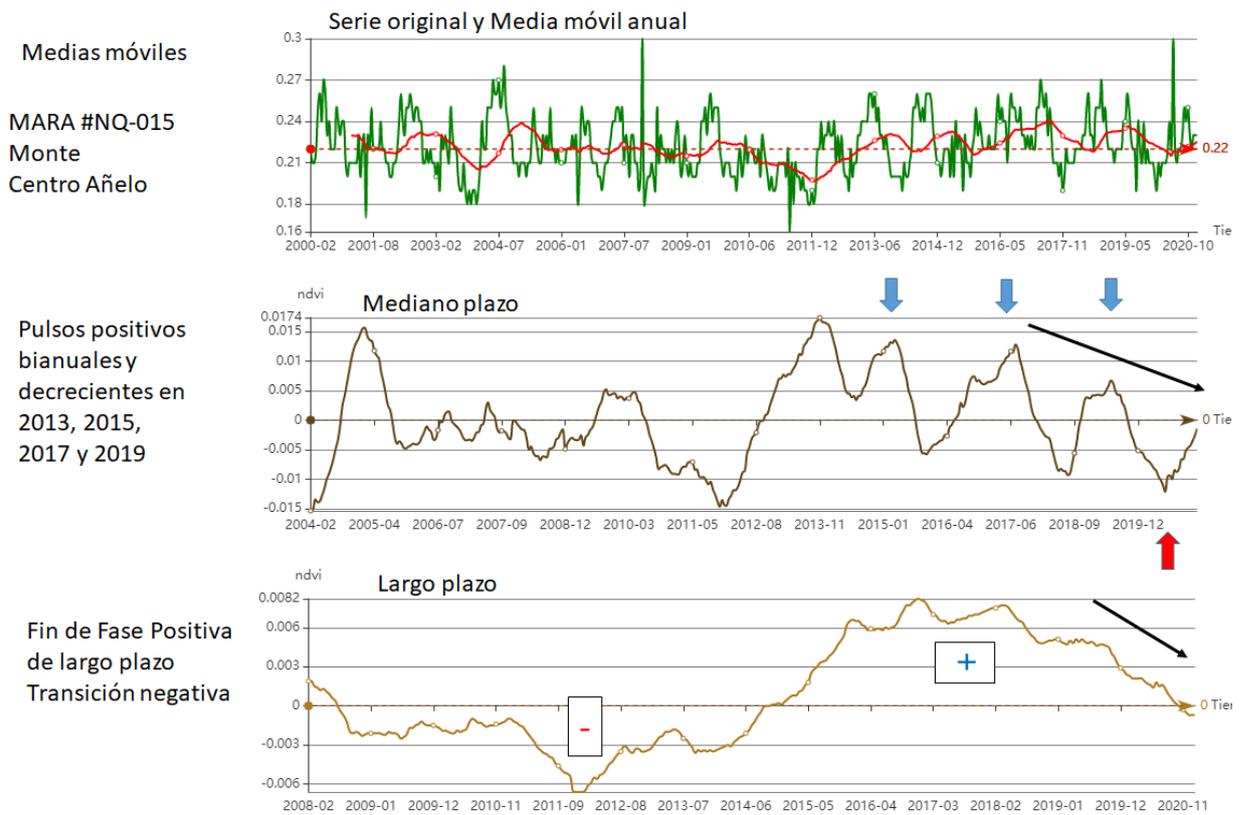


Fig. 22. Monitor MARA #NQ-015 (Tabla 2). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.

ZONA NORTE

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

La serie muestra una fuerte oscilación de mediano y largo plazo, con una fase claramente negativa hacia fines de la década del 2000 e inicios de la década del 2010, seguida de una fase positiva de recuperación reciente. Los valores actuales son levemente inferiores a los registrados a principios de la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos bianuales positivos y decrecientes en 2013, 2017 y 2019 que permitieron recuperar la situación negativa previa (cuyo mínimo se situó en el año 2011-2012, aunque luego de cada pulso positivo le siguió una retracción fuerte), logrando consolidar un cambio hacia una fase positiva. Actualmente, la productividad se encuentra ingresando en una fase negativa de largo plazo, impulsada por una transición negativa, vinculada con la retracción de mediano plazo y al agotamiento de los pulsos positivos anteriores.

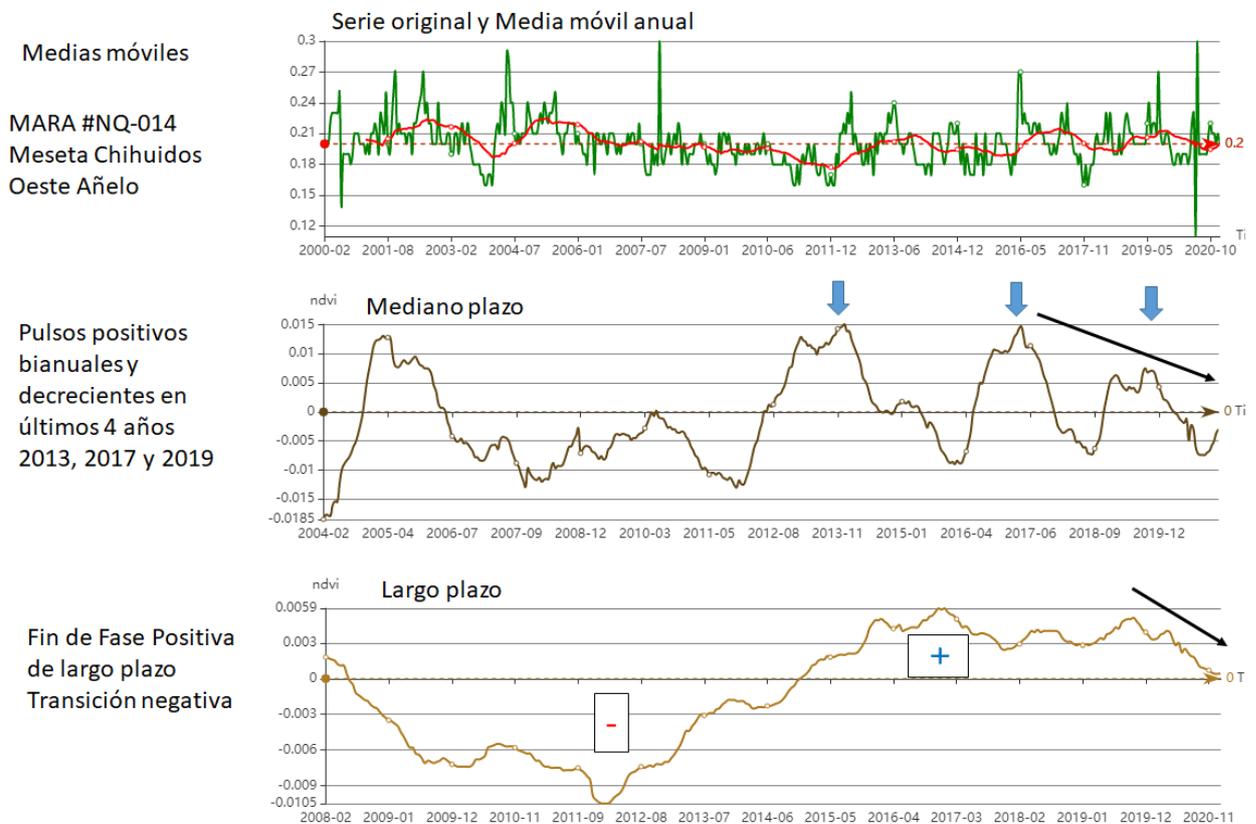


Fig. 23. Monitor MARA #NQ-014 (Tabla 2). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.



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

La serie muestra una fuerte oscilación de mediano plazo, con una fase negativa hacia inicios de la década de 2010, seguida de una fase positiva de recuperación más reciente. Los valores actuales son similares a los registrados en toda la serie, con niveles de productividad muy bajos. En el mediano plazo, se registraron pulsos positivos con picos en el período 2013-2016 y 2019, con una fuerte retracción en 2018. El último pulso positivo logró consolidar un cambio hacia una fase positiva de mediano plazo. Actualmente, la productividad se encuentra en una fase positiva de largo plazo, aunque en una lenta transición negativa, vinculada con una acelerada retracción de mediano plazo.

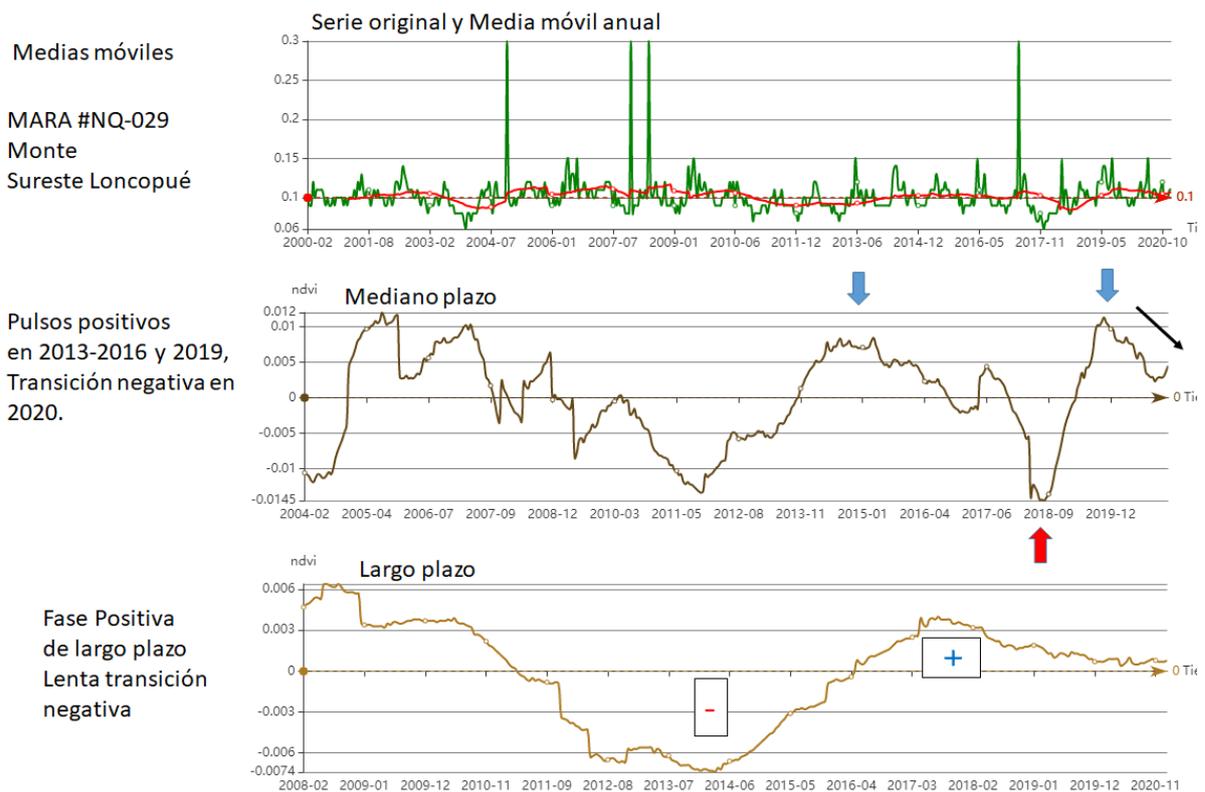


Fig. 24. Monitor MARA #NQ-029 (Tabla 2). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.

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

La serie muestra una fuerte oscilación de mediano plazo, con una fase negativa en la década del 2000, seguida de una fase de recuperación muy lenta, que se estabilizó en los últimos diez años. Los valores actuales son inferiores a los registrados a principios del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos positivos con picos recientes en 2016 y 2018, con una fuerte retracción en 2017. El último pulso positivo logró consolidar un cambio hacia una fase positiva de mediano plazo, la cual ya se agotó. Actualmente, la productividad se encuentra en una transición negativa, vinculada con una retracción persistente de mediano plazo, debido a una caída en 2019 y 2020.

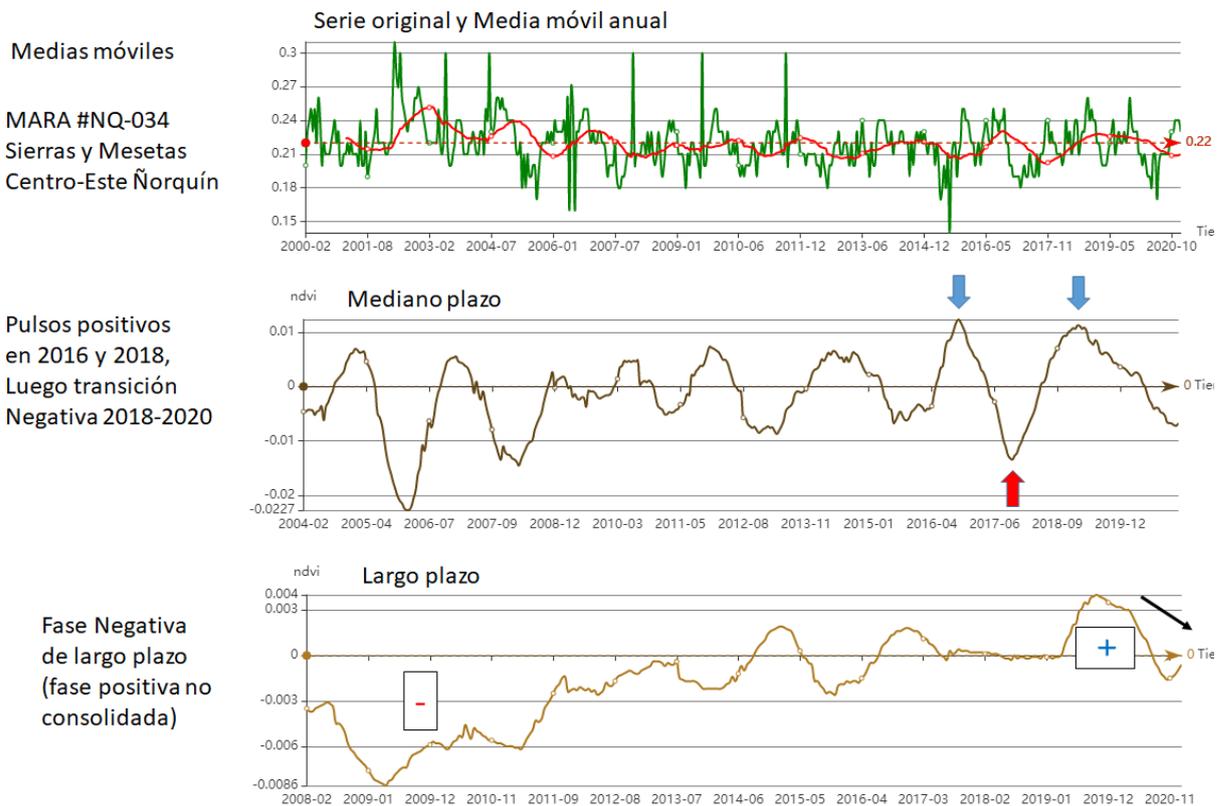


Fig. 25. Monitor MARA #NQ-034 (Tabla 2). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.



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

La serie muestra una fuerte oscilación de mediano plazo en la década del 2000, seguida de una relativa estabilización en torno a valores promedio en los últimos diez años. Los valores actuales son similares a levemente inferiores a los registrados en la década del 2000. En el mediano plazo, se registraron pulsos positivos con picos en 2006-2007 y en 2010-2011, y fuertes retracciones en 2005 y en 2008, sin mayores cambios con posterioridad. El último pulso positivo logró consolidar una fase positiva de mediano plazo, la cual muestra signos de agotamiento. Actualmente, la productividad se encuentra en una fase positiva de largo plazo, aunque en una lenta transición negativa.

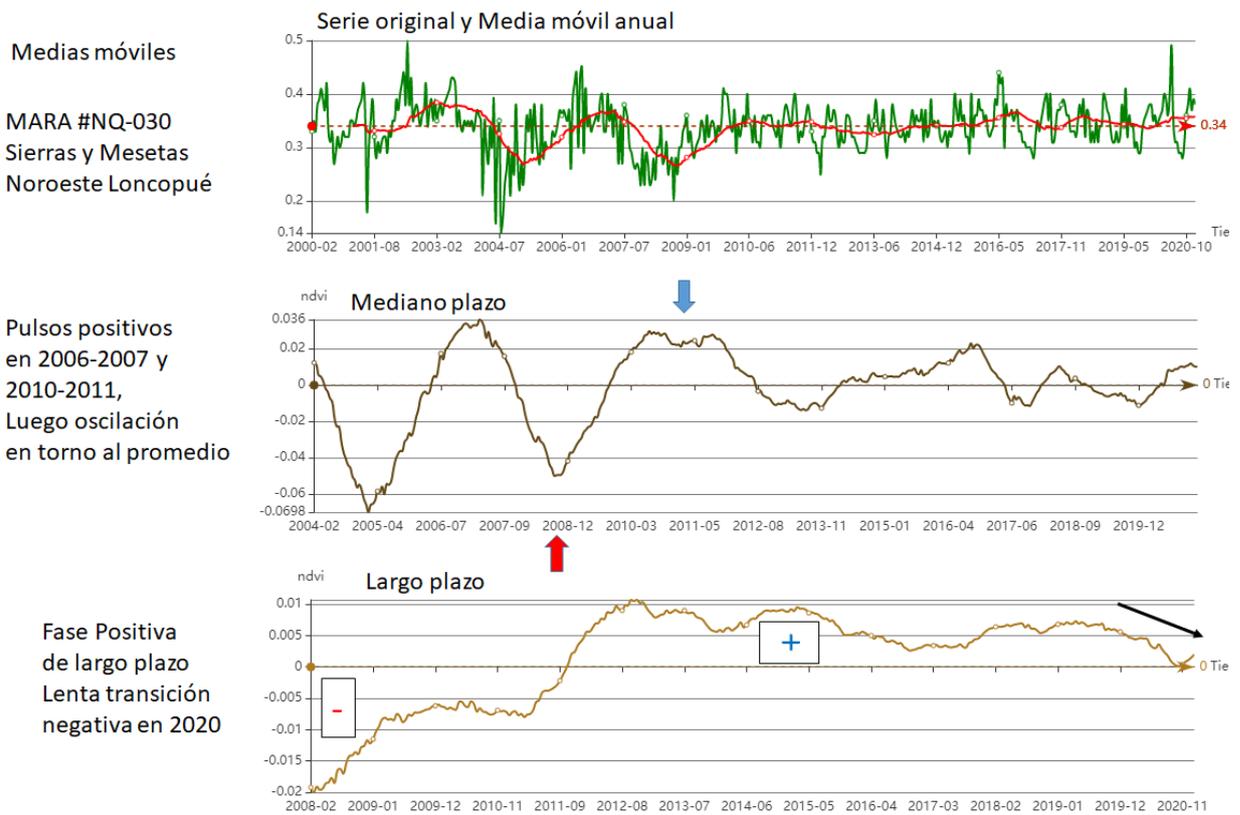


Fig. 26. Monitor MARA #NQ-030 (Tabla 2). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.



13. Monitor #NQ-037. Curaco.

La serie muestra una fuerte oscilación de mediano plazo, con una fase negativa que comenzó a principios de la década de 2010 y no ha logrado ser revertida. Los valores actuales (últimos cuatro años) son muy inferiores a los registrados en toda la serie, con niveles de productividad bajos. En el mediano plazo, se registraron pulsos positivos con picos en 2006, 2010, 2014 y 2016, aunque con intensas retracciones en 2008, 2011-2012, 2015 y 2017. Los pulsos positivos no lograron revertir el movimiento descendente e instaurar un cambio hacia una fase positiva de mediano plazo. Actualmente, la productividad se encuentra en una fase negativa de largo plazo, impulsada por una acelerada transición negativa, vinculada con la retracción general de los últimos cuatro años. Se evidencia un rebote inicial desde valores mínimos de toda la serie.

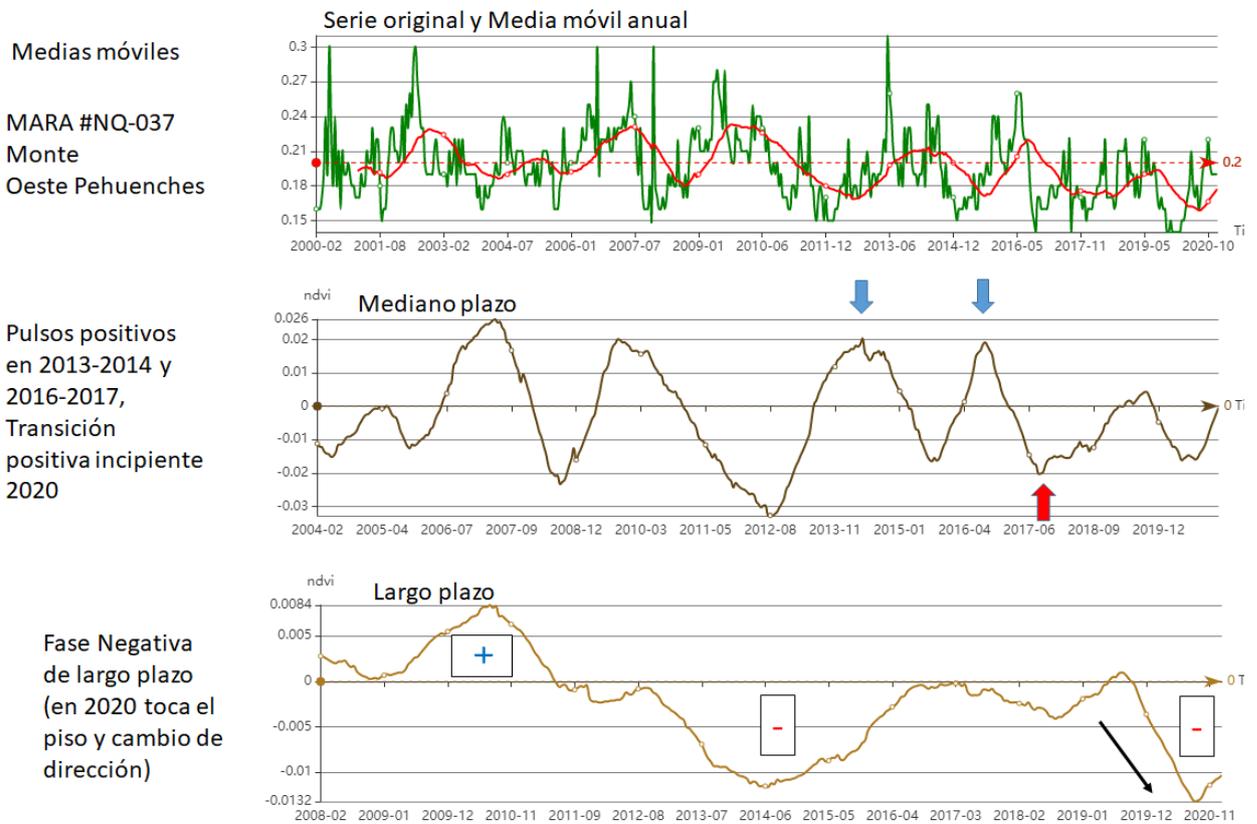


Fig. 27. Monitor MARA #NQ-037 (Tabla 2). Serie original, media móvil anual, movimiento de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la de cuatro años previos) y largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la de ocho años previos) de la productividad de la vegetación.

4. ANEXO I

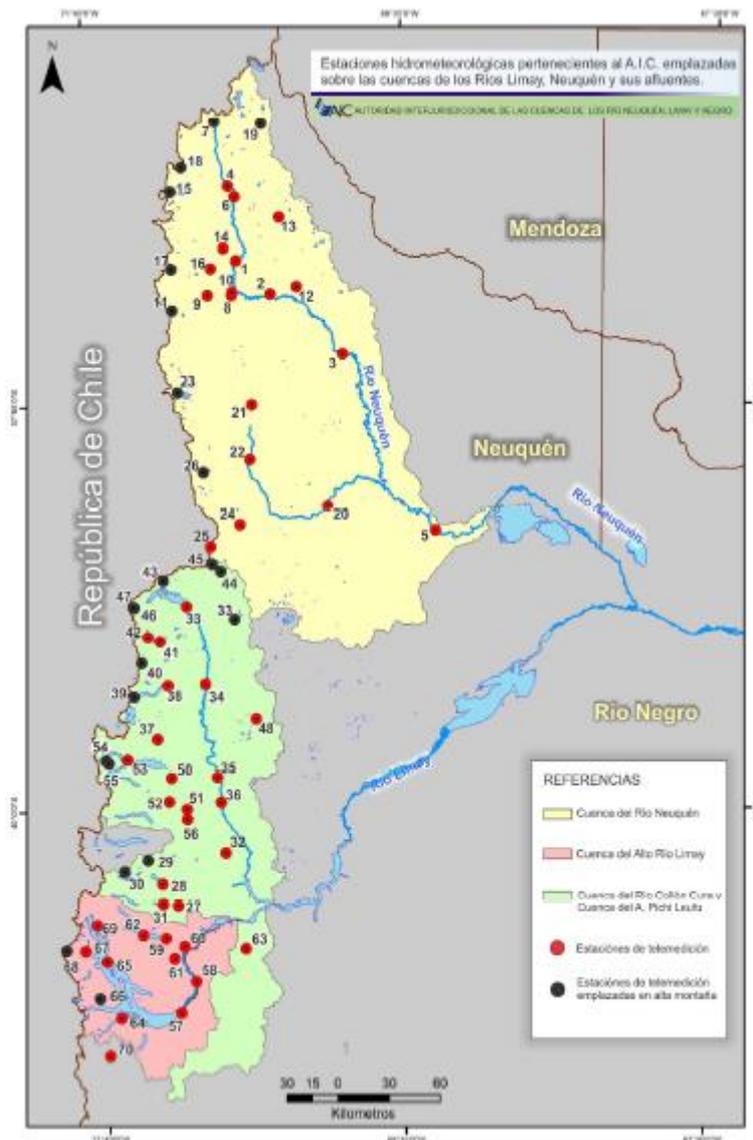


Fig. A.1. Cuencas de los ríos Limay, Collón Curá y Neuquén, con la ubicación de estaciones hidrometeorológicas. Fuente: AIC, 2020.

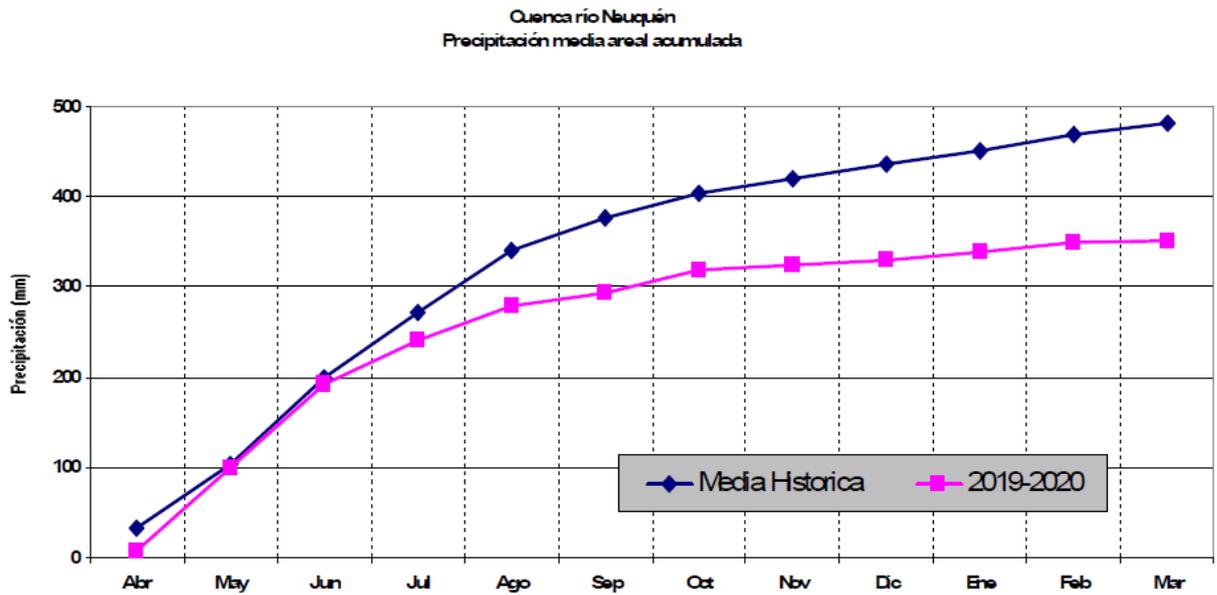


Fig. A.2. Precipitación media y acumulada en el período 2019-2020 en el área de la cuenca del río Neuquén. Fuente: AIC, 2020.

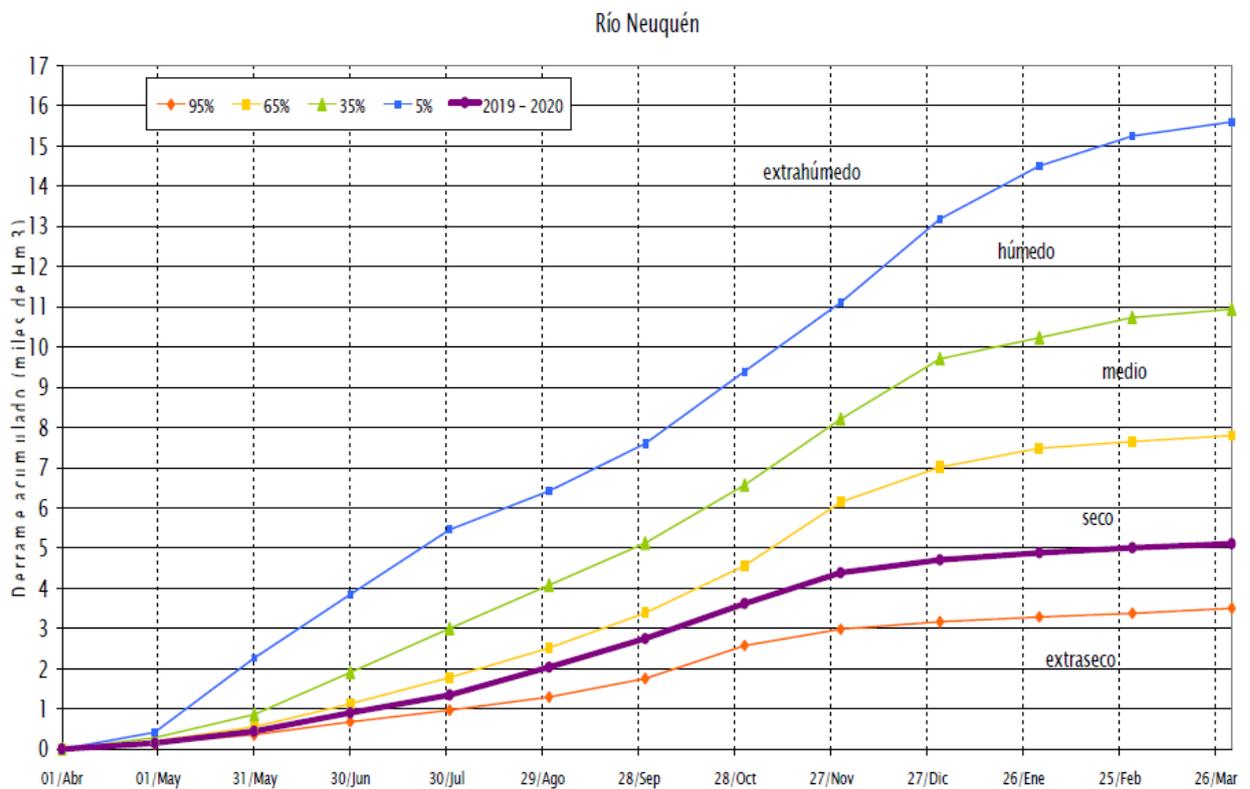


Fig. A.3. Clasificación hidrológica del derrame del río Neuquén, período Abril 2019-Marzo 2020. Fuente: AIC, 2020.

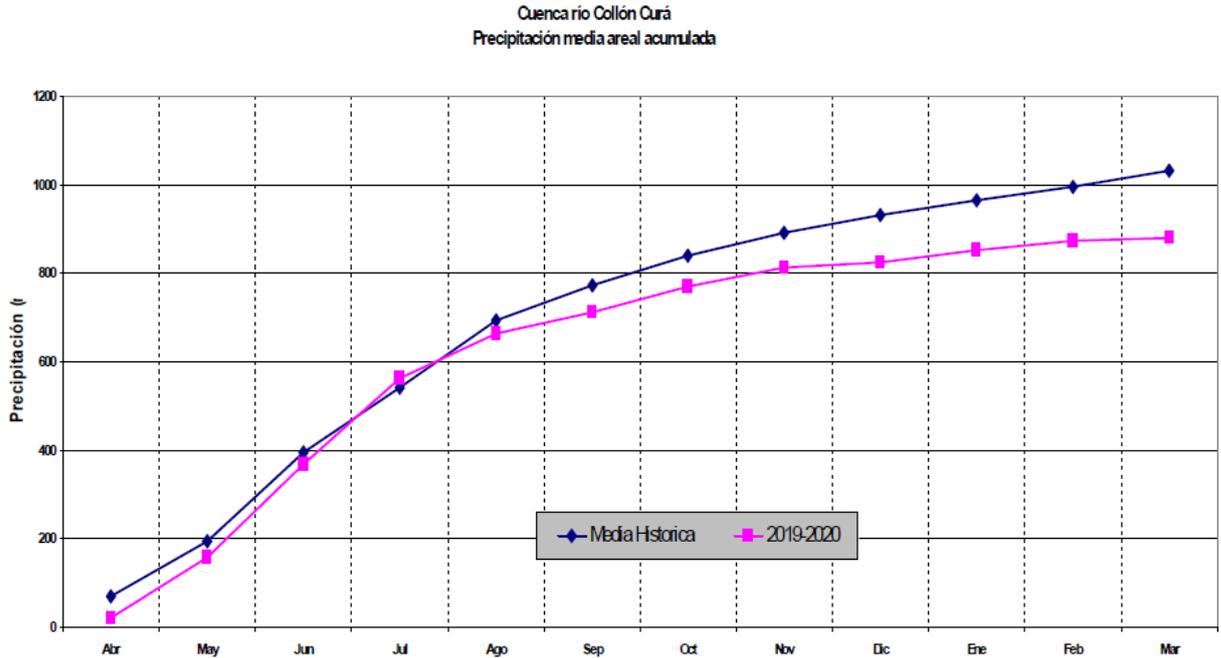


Fig. A.4. Precipitación media y acumulada en el período 2019-2020 en el área de la cuenca del río Collón Curá. Fuente: AIC, 2020.

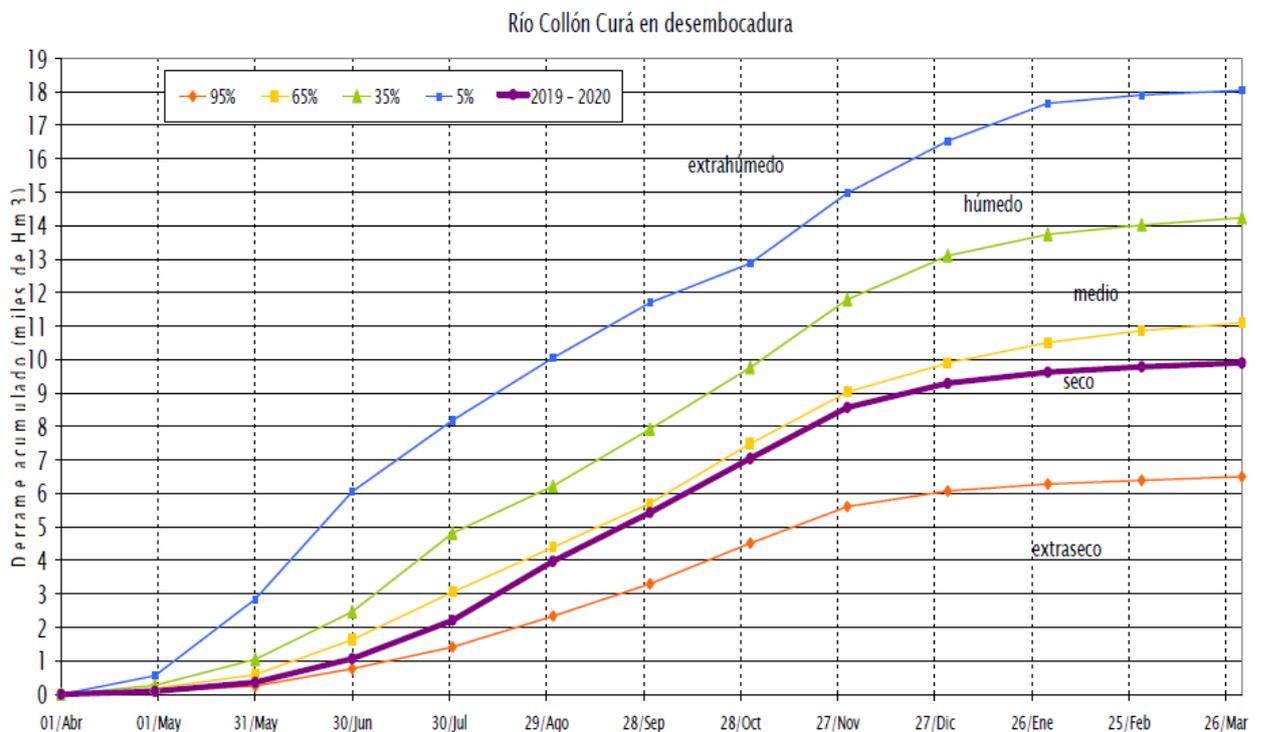


Fig. A.5. Clasificación hidrológica del derrame del río Collón Curá, período Abril 2019-Marzo 2020. Fuente: AIC, 2020.

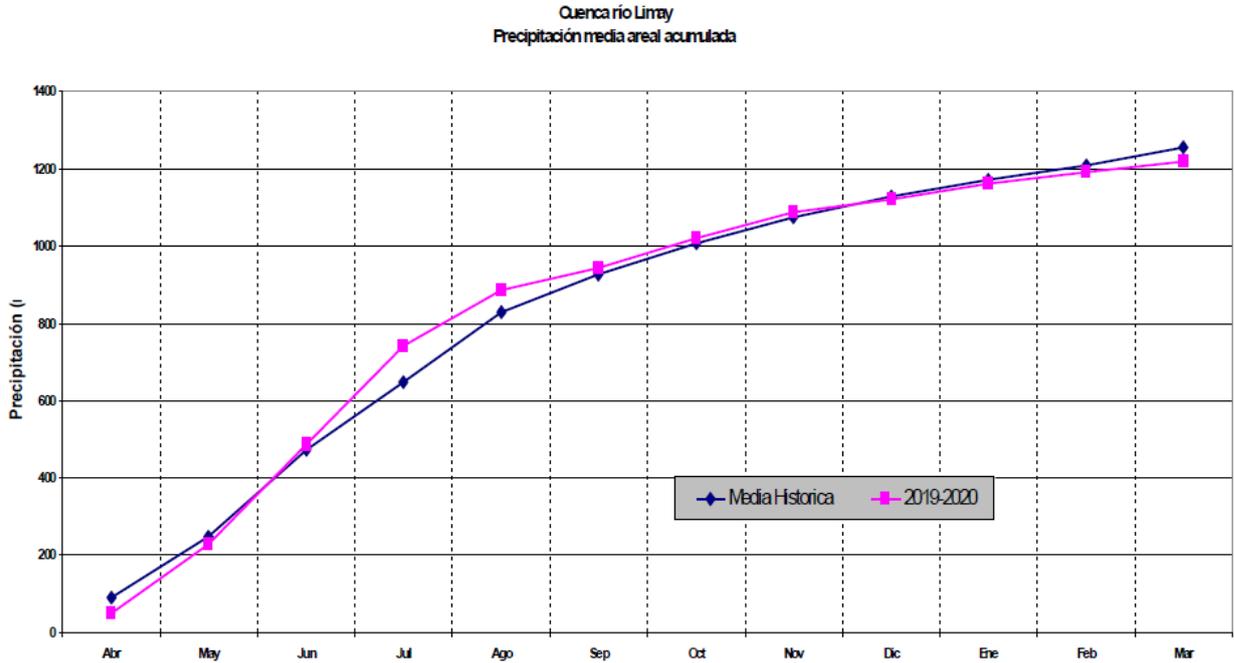


Fig. A.6. Precipitación media y acumulada en el período 2019-2020 en el área de la cuenca del río Limay. Fuente: AIC, 2020.

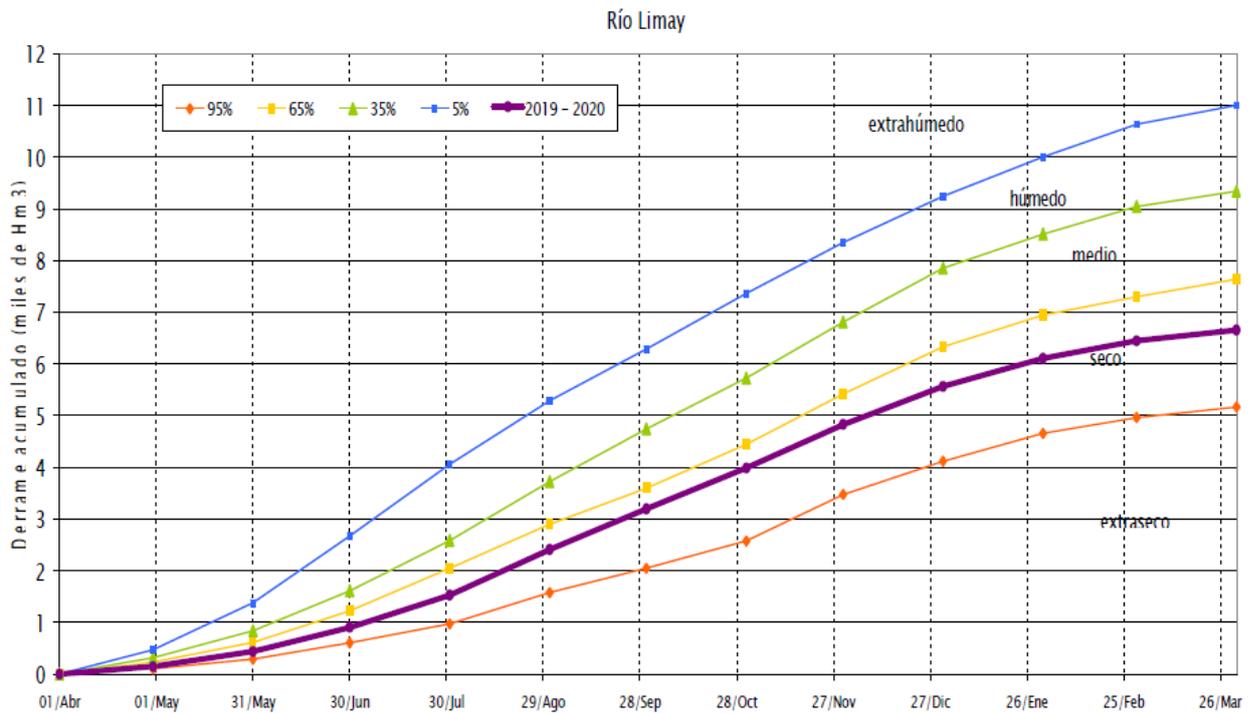


Fig. A.7. Clasificación hidrológica del derrame del río Limay, período Abril 2019-Marzo 2020. Fuente: AIC, 2020.



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 (Easdale et al. 2019). 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 2000-2020, como elemento diagnóstico de la dinámica de la productividad de la vegetación en las últimas dos décadas. Dicho análisis incluye los siguientes indicadores: i) media móvil anual (promedio de ventanas de tiempo que aglomeran 23 imágenes satelitales), ii) media móvil diferencial de mediano plazo (diferencia entre la media móvil anual y la media móvil de los cuatro años previos), y iii) media móvil diferencial de largo plazo (diferencia entre la media móvil de cuatro años y la media móvil de los ocho años previos).

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, versión 6) para el período temporal 2000-2020 (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).

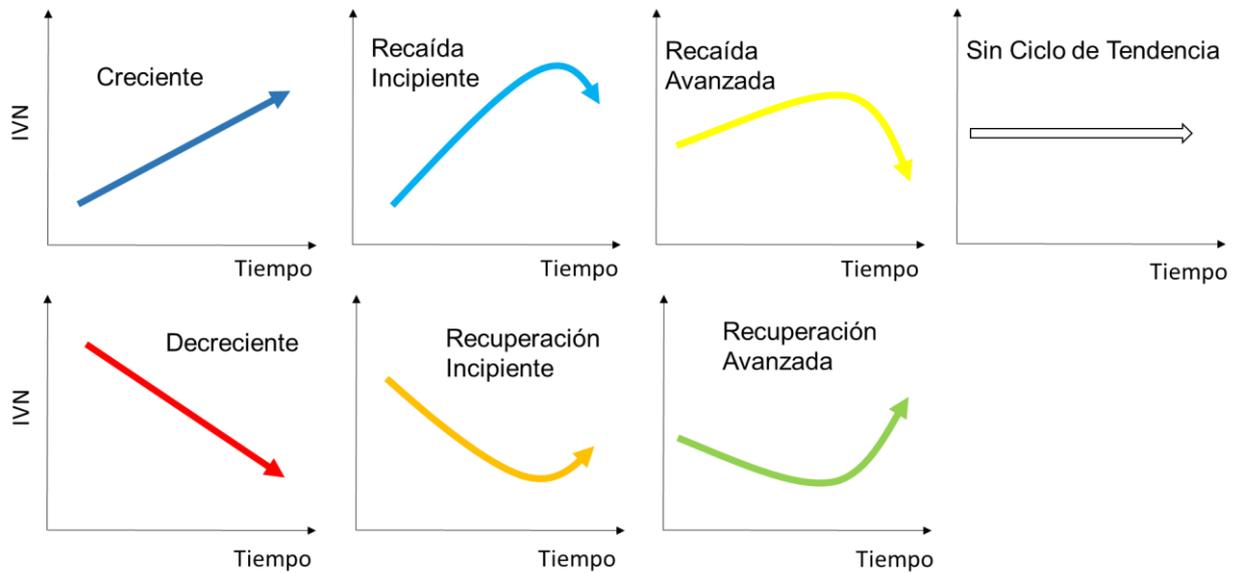


Fig. 28. Clases de Ciclo de Tendencia de NDVI. El color de la flecha identifica el color usado para cada clase en el mapa provincial (Easdale et al. 2019).

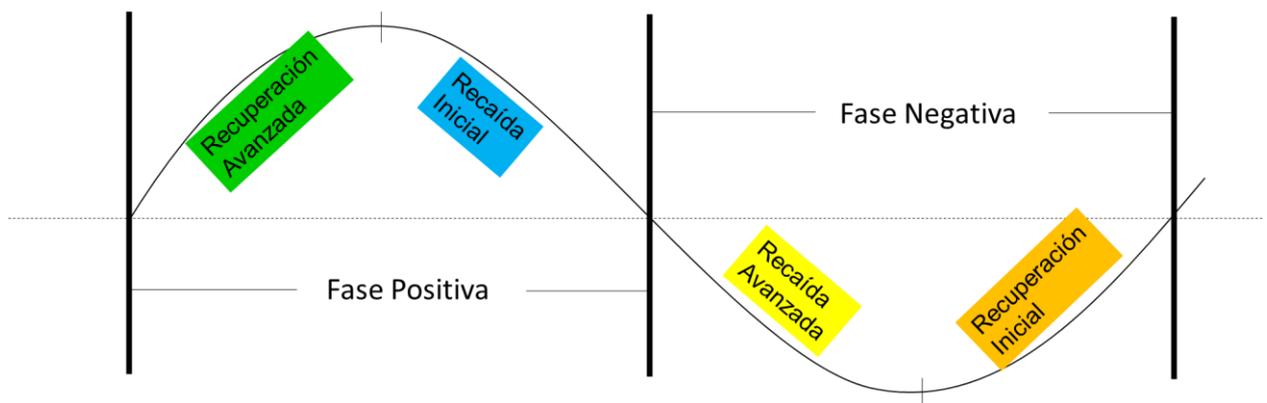


Fig. 29. Fases de Ciclo de Tendencia: Positiva, conformada por Recuperación Avanzada y Recaída Inicial; Negativa, conformada por Recaída avanzada y Recuperación inicial (Easdale et al. 2019).

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).

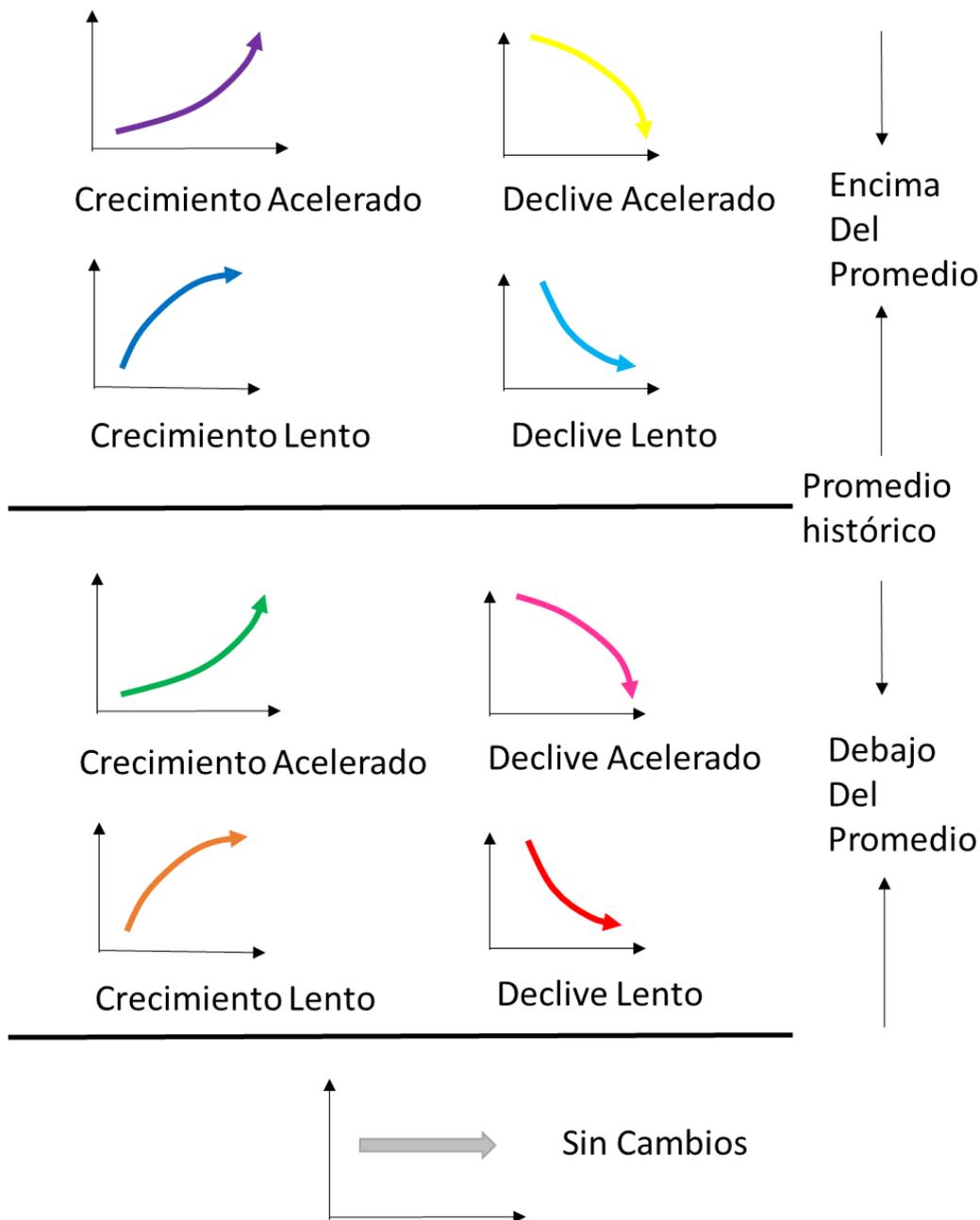


Fig. 30. Clases de Ritmo de Cambio de la Tendencia Cíclica. Referencias: 1. Valores por encima del promedio: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, violeta ■), Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa, azul ■), Declive lento (sentido negativo y con tasa positiva,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



5. Bibliografía

- Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC) de los ríos Limay, Neuquén y Negro. 2020. Informe Hidrometeorológico Marzo 2020, 36 pp.
- 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, 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
- 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.