

Series:
Comunicaciones Técnicas
ISSN 1667-4006

COMUNICACIÓN TÉCNICA N°263

Área Desarrollo Rural

**Emergencia Agropecuaria: Actualización del
escenario de sequía en la provincia de
Neuquén.
Febrero 2022**

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

2022

■ **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

Emergencia Agropecuaria: Actualización del escenario de sequía en la provincia de Neuquén

FEBRERO 2022

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

Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (IFAB)

INTA Bariloche – CONICET

Av. Modesta Victoria 4450 (8400),

San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina



En el presente informe se analiza el escenario de sequía en la provincia de Neuquén para el ciclo 2021-2022, a solicitud del Ministerio de Producción e Industria de Neuquén, como soporte para la extensión de la declaración de Emergencia Agropecuaria para el año 2022.

Se utilizó como base de información la dinámica de la productividad de los pastizales, estimada a partir de series de Índices de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI, siglas en inglés) para el período 2000-2022, información hidrometeorológica (AIC, Diciembre 2021) y datos de precipitaciones diarias obtenidos de la base global ERA5 para el período 2000-2021 (Hersbach et al., 2020).

Tabla de contenidos

Situación hidrometeorológica	3
Situación de la productividad de los pastizales a escala regional	3
Información zonificada	5
Zona Norte	5
Zona Centro	9
Zona Sur	13
Metodología	17
<i>Información hidrometeorológica</i>	17
<i>Información de la productividad de la vegetación</i>	19
Bibliografía	23



Situación hidrometeorológica

En el período abril-diciembre 2021, que define el principal aporte de agua para el ciclo productivo en zona cordillerana y áreas de influencia durante el verano y otoño 2022, registró una significativa reducción de precipitaciones en las principales cuencas de la provincia de Neuquén, siguiendo un gradiente norte-sur. El déficit acumulado de precipitaciones durante 2021 alcanzó un 60% en la cuenca del río Neuquén (zona norte, Fig. 1), con un registro histórico de más de 10 años con lluvia por debajo de los promedios alcanzados en la década del 2000 (Fig. 3, AP Tromen). Por otro lado, el déficit acumulado alcanzó un 45% en la cuenca del río Collón Curá (zona centro, Fig. 7), con el menor registro de lluvias de la serie histórica en el último año (Fig. 9, referencia PN Laguna Blanca). Finalmente, un déficit acumulado de un 38% en la cuenca del río Limay (zona sur, Fig. 13) (AIC, 2021). A su vez, la acumulación de nieve en alta montaña también registró el mismo gradiente norte-sur, con un déficit acumulado del 90% en Pampa de Chacaico (utilizado como referencia de la cuenca del río Neuquén, zona norte), un 51% en el cerro El Mocho (cuenca Collón Curá, zona centro), y 73% en el cerro Mirador (cuenca río Limay, zona sur). Esto significa que se registraban muy escasas reservas de agua en forma de nieve en alta montaña, condicionando la disponibilidad de agua para el verano y otoño 2022, corroborado en los déficits de los derrames de los principales ríos.

La cantidad de agua a escala de cuenca, medida en el derrame de los principales ríos de la provincia, permite evidenciar lo crítico de la situación actual. Los derrames para el mes de diciembre 2021 clasificaron como extrasecos en las tres cuencas. El río Neuquén registró un déficit del 81%, el río Collón Curá un déficit del 75% y el río Limay un déficit del 58%, en todos los casos respecto a sus respectivos promedios históricos (AIC, 2021) (Figs. 2, 8, 14, respectivamente).

Debido al déficit acumulado de precipitaciones invernales durante 2021, el escenario general se presenta muy adverso para la temporada otoño-invernal 2022. Debido a que las precipitaciones se concentran en la época invernal, el escenario desfavorable no podrá ser revertido durante los meses próximos y se extenderá hasta el inicio de la primavera 2022. Aún con lluvias invernales ubicadas en regímenes normales, los momentos más críticos productivamente se prevén para fines de invierno e inicios de primavera (coincidente con la etapa previa al parto de los animales), cuando aún no se ha producido el rebrote de los pastizales. Por ello, se sugiere que las decisiones de política pública y de manejo productivo ante la emergencia agropecuaria deben tomarse con una perspectiva de corto plazo (otoño-invierno 2022) y de mediano plazo (primavera-verano 2022-2023).

Situación de la productividad de los pastizales a escala regional

En el territorio de la provincia de Neuquén predomina un escenario en una transición negativa hacia una fase de menor productividad. Las circunstancias de recuperación continúan modificándose y confirman escenarios de recaída generalizada. En algunas zonas la recaída es avanzada, denotando una situación de alerta por la sequía en curso, mientras que en otras es más incipiente y podría profundizarse durante 2022 (la zona del Monte). Esto significa que el pulso positivo que tuvo la productividad de los pastizales en los últimos años a escala regional (especialmente en la zona del monte; período 2014-2018) se está agotado, dominando



actualmente una transición hacia una fase negativa, la cual se ha profundizado en 2019-2021 en general. El eje longitudinal cordillerano (con foco en el centro-norte provincial) registra valores bajos de productividad de la vegetación, denotando una situación general desfavorable, la cual se fue agravando a partir del año 2016. Esta situación se evidencia en la clasificación hidrológica de los derrames de los ríos de las principales cuencas de la provincia, registrando en todos los casos un escenario de sequía extrema, respecto de valores promedio históricos.

La Tendencia Cíclica y el Ritmo de Cambio de la productividad de la vegetación, permitió diferenciar las siguientes zonas:

Situación de Alerta crítica (zona norte; Fig. 5). Zonas de invernada, que registran una recaída avanzada, con niveles de productividad muy bajos. Las mismas se ubican en el norte, con situaciones comparativamente más desfavorables, en invernadas de la cuenca del río Curi Leuvú, Chos Malal y Curaco-El Lechugal (registrando una incipiente recuperación, Fig. 6), invernadas de la cuenca del río Neuquén en departamento Minas, una franja entre El Huecú y Loncopué, y una franja Barrancas-Buta Ranquil-Rincón de los Sauces. Hay que recordar que dichas invernadas recibirán los animales provenientes de las zonas de veranadas, las que registraron una sensible afectación en la productividad de pastizales y disponibilidad de agua debido al déficit acumulado de precipitaciones.

Para la zona norte, se observa también una situación de recaída acelerada, aunque desde valores recientes superiores al promedio histórico, en las zonas del Monte en los departamentos Pehuenches y Añelo (color amarillo, Fig. 6), en concordancia con las mermas de precipitaciones respecto de años previos (Fig. 4, referencia AP Auca Mahuida). La situación podría agravarse en el próximo ciclo productivo, y la definición de la evolución futura quedará definida a la salida del invierno e inicios de la primavera, dependiendo de las precipitaciones.

Situación en Alerta de corto plazo, otoño-invernal. Zonas de Monte con declive acelerado (Fig. 11), en algunas zonas ya por debajo de valores promedio históricos (zona centro Monte, color amarillo y rojo; Fig. 12), en concordancia con una merma significativa de precipitaciones en el último año, alcanzando niveles mínimos análogos a 2010-2012 (Fig. 10, referencia Cutral Co). Zonas que se encuentran en los departamentos centro-este de Picunches, Zapala, Confluencia, sureste de Loncopué, Pehuenches, centro-sur de Añelo, Picún Leufú, centro-este de Catan Lil y norte de Collón Curá (Fig. 12). Estas zonas se encuentran en situación de alerta y su evolución dependerá de las lluvias que puedan ocurrir durante fines del verano y el otoño (especialmente entre marzo y abril). Si las precipitaciones son escasas, es probable que estas zonas confirmen un escenario también desfavorable productivamente, cuyo momento crítico se presentará a la salida del invierno próximo.

Situación de Alerta de largo plazo, con leve recuperación (zona sur; Fig. 17). Zonas de invernada que registraban una recaída avanzada en el nivel de productividad, con reciente recuperación, aunque por debajo de valores promedio históricos (Fig. 18). El régimen de precipitaciones muestra una recuperación en años previos con picos en 2018-2019, pero con un descenso y una merma significativa en 2021 (Fig. 15, referencia Catan Lil; Fig. 16, referencia Junín de los Andes). Las mismas se ubican en áreas de sierras y mesetas en la región sur, en especial en un área comprendida entre Junín de los Andes, Rinconada-valle del río Collón Curá, Piedra del Águila y Las Coloradas (Fig. 18).



Información zonificada

Zona Norte

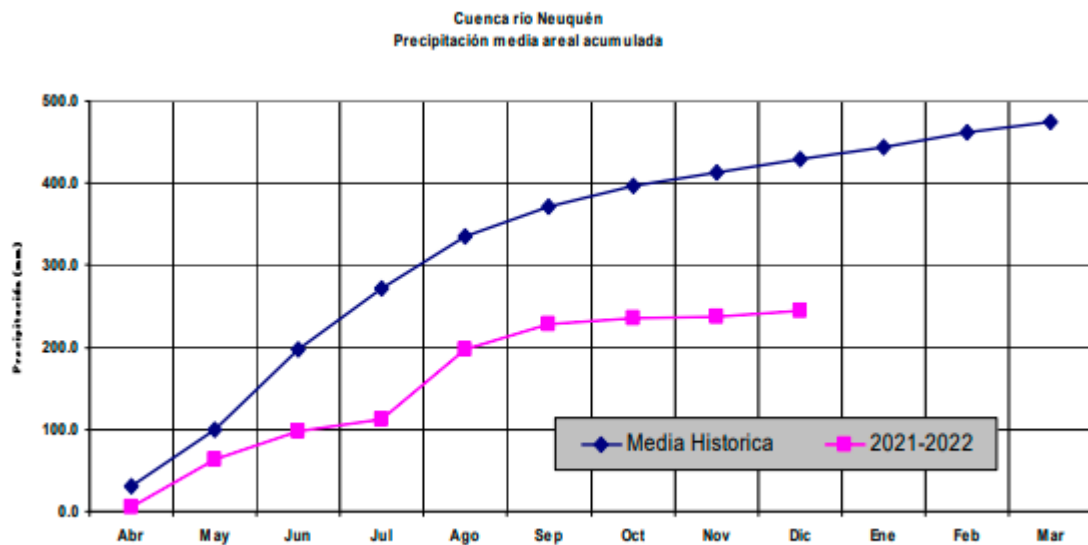


Fig. 1. Precipitación media y acumulada en el período 2021-2022 en el área de la cuenca del río Neuquén. Fuente: AIC, 2021.

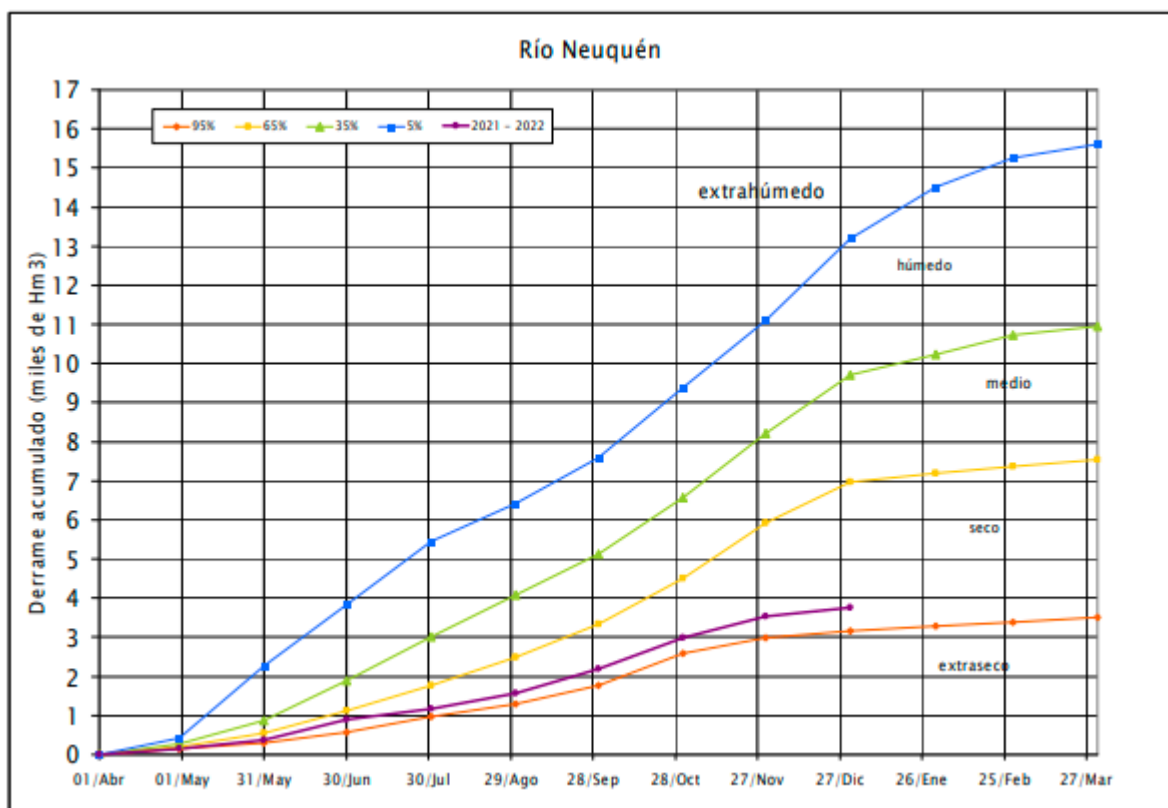


Fig. 2. Clasificación hidrológica del derrame del río Neuquén, período Abril 2021-Diciembre 2022. Fuente: AIC, 2021.

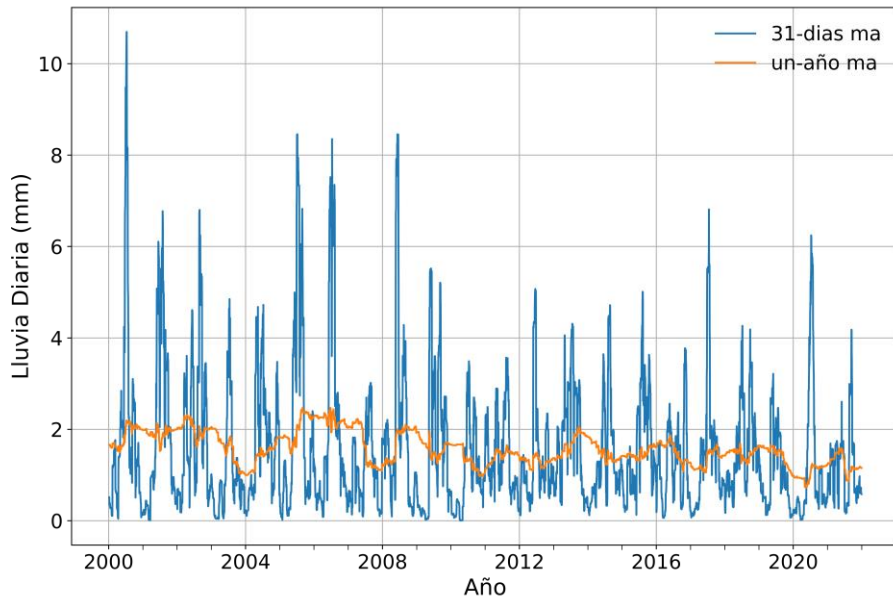


Fig. 3. Precipitaciones diarias (mm) durante el período 2000-2021 de la zona asociada al Área Protegida del Volcán Tromen, en el norte de Neuquén (coordenadas -37,09, -70,1). Referencias: Promedio móvil de 31 días (línea azul) y promedio móvil anual (línea marrón). Fuente: base de datos global ERA5.

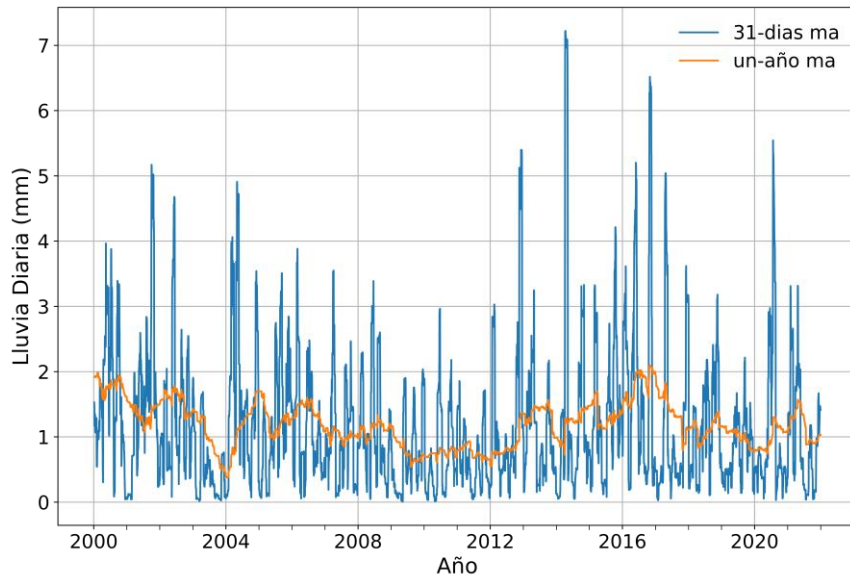


Fig. 4. Precipitaciones diarias (mm) durante el período 2000-2021 de la zona asociada al Área Protegida Auca Mahuida, en el norte de Neuquén (coordenadas -37,83, -68,78). Referencias: Promedio móvil de 31 días (línea azul) y promedio móvil anual (línea marrón). Fuente: base de datos global ERA5.

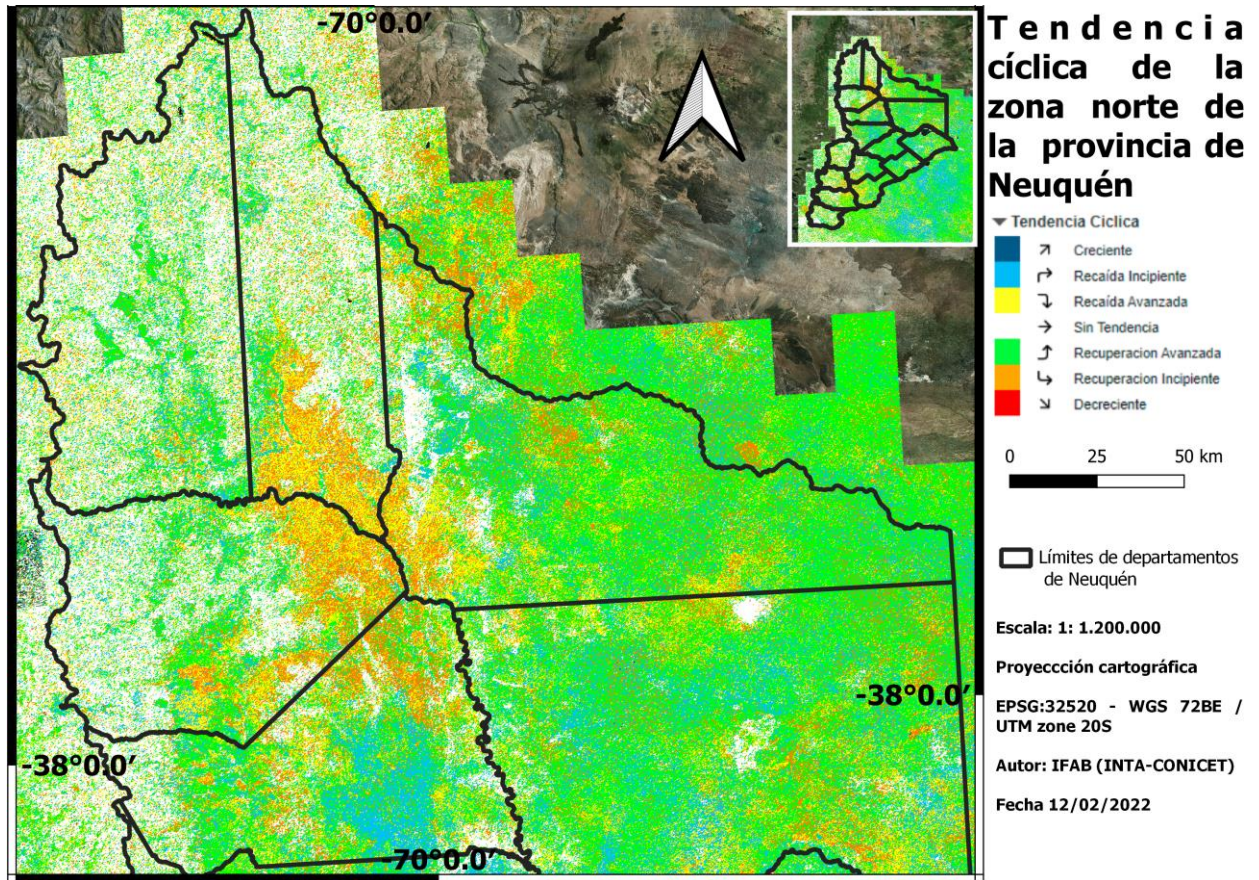


Fig. 5. Tendencia cíclica en la zona norte de la provincia de Neuquén. Las líneas negras identifican límites de departamentos. Referencia de colores de Ciclos de Tendencia: Creciente (azul ■), Recaída Incipiente (turquesa ■), Recaída Avanzada (amarillo ■), Decreciente (rojo ■), Recuperación Incipiente (naranja ■), Recuperación Avanzada (verde ■), Sin Ciclo de Tendencia (blanco) (ver metodología).

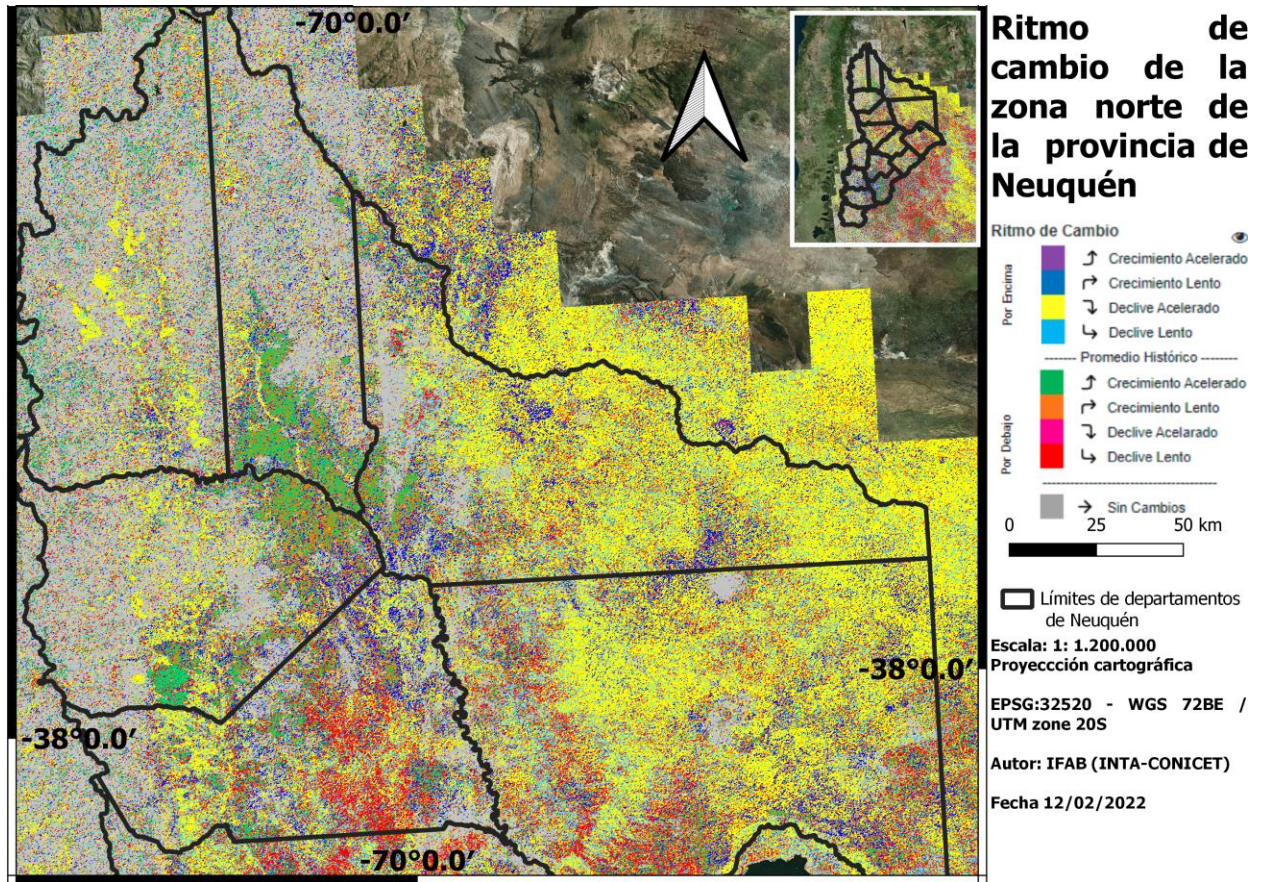


Fig. 6. Ritmo de cambio de la tendencia cíclica en la zona norte de la provincia de Neuquén. Las líneas negras identifican límites de departamentos. Referencias: 1. Valores por encima del promedio: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, violeta ■), Crecimiento lento (sentido positivo 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 ■).



Zona Centro

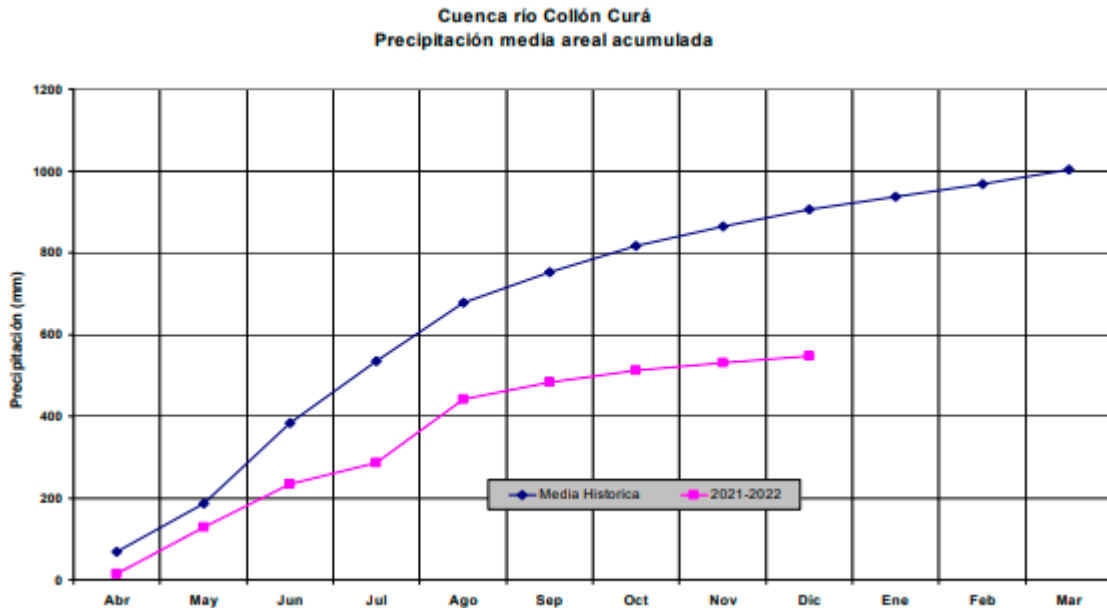


Fig.

Fig. 7. Precipitación media y acumulada en el período 2021-2022 en el área de la cuenca del río Collón Curá. Fuente: AIC, 2021.

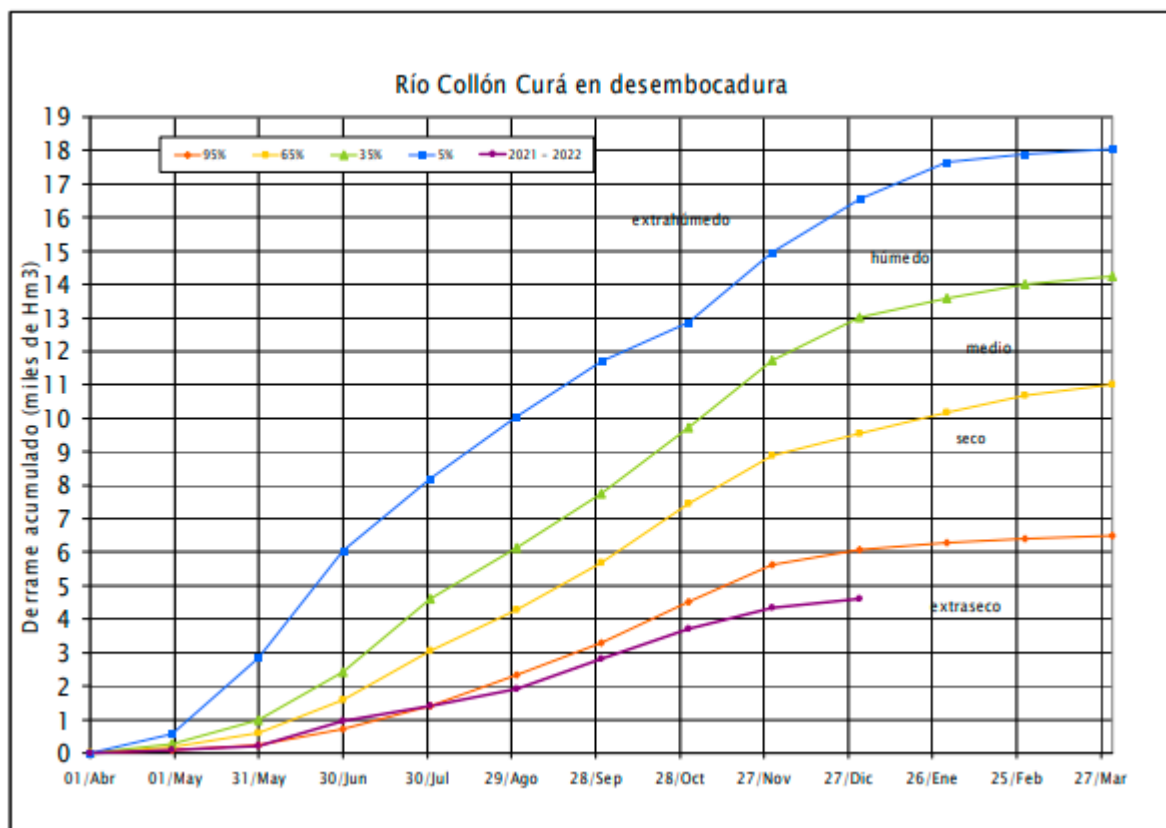


Fig. 8. Clasificación hidrológica del derrame del río Collón Curá, período Abril 2021-Diciembre 2022. Fuente: AIC, 2021.

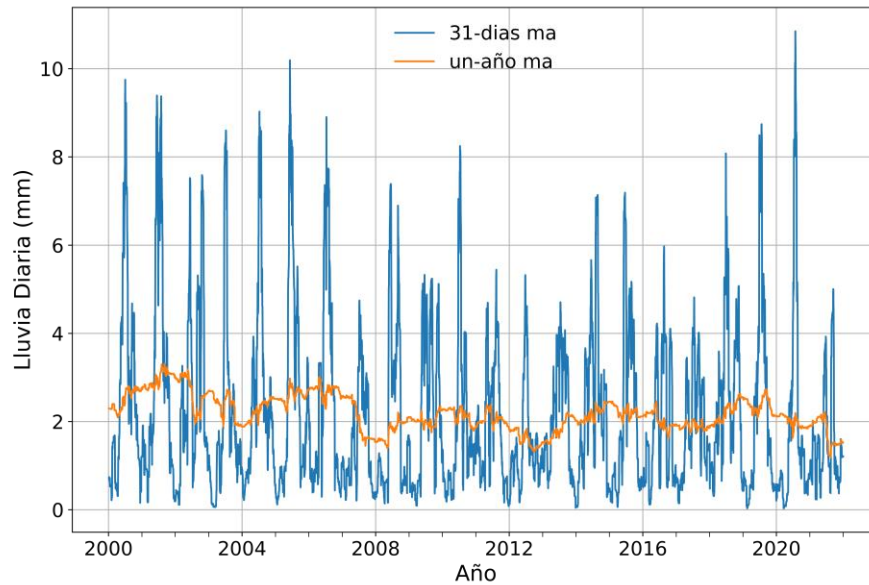


Fig. 9. Precipitaciones diarias (mm) durante el período 2000-2021 de la zona asociada al Parque Nacional Laguna Blanca, en el centro-oeste de Neuquén (coordenadas -39,04, -70,36). Referencias: Promedio móvil de 31 días (línea azul) y promedio móvil anual (línea marrón). Fuente: base de datos global ERA5.

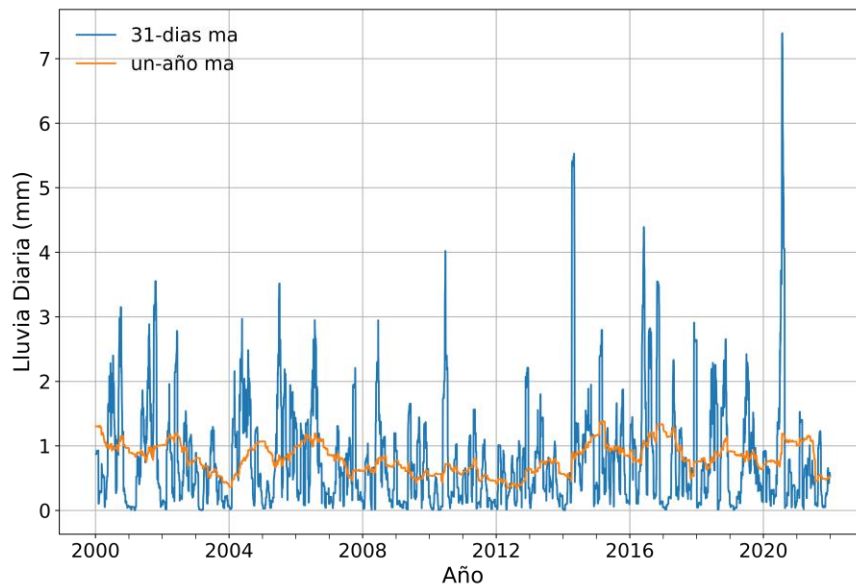


Fig. 10. Precipitaciones diarias (mm) durante el período 2000-2021 de la zona asociada Cutral Co, en el centro-este de Neuquén (coordenadas -38,93, -69,20). Referencias: Promedio móvil de 31 días (línea azul) y promedio móvil anual (línea marrón). Fuente: base de datos global ERA5.

Tendencia cíclica de la zona centro de la provincia de Neuquén

Escala: 1: 1.100.000 Proyección cartográfica EPSG:32520 - WGS 72BE / UTM zone 20S

Autor: IFAB (INTA-CONICET)
Fecha 12/02/2022

▭ Límites de departamentos de Neuquén

0 25 50 km

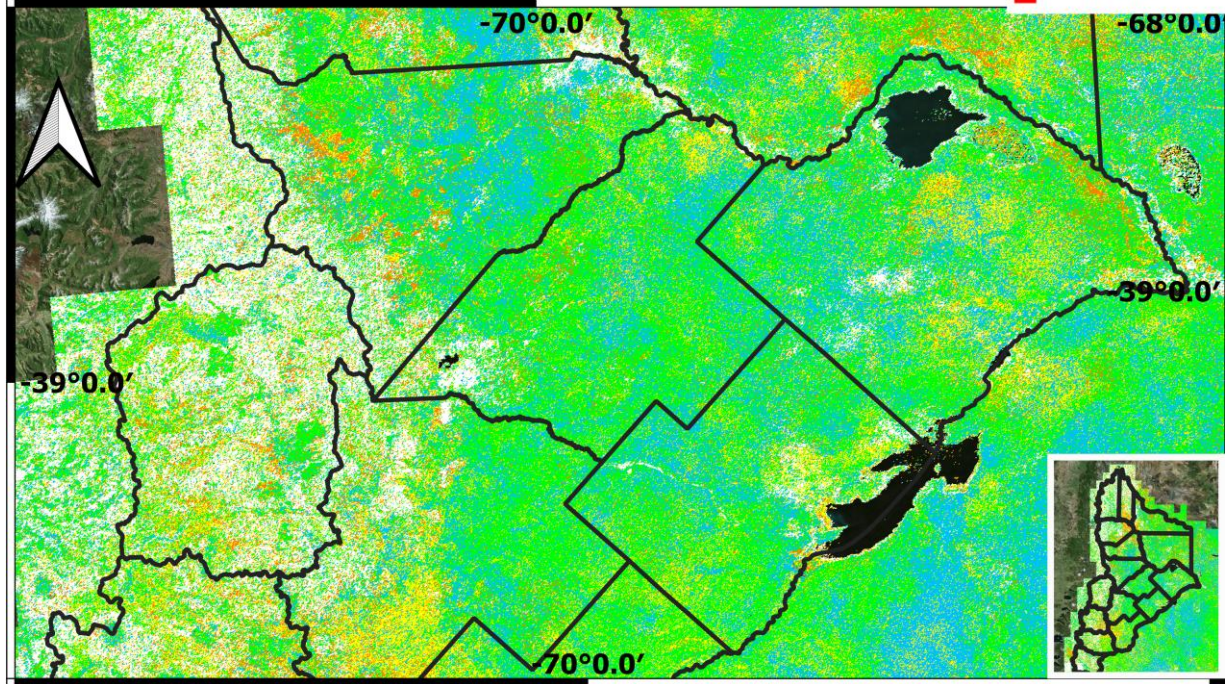


Fig. 11. Tendencia cíclica en la zona centro de la provincia de Neuquén. Las líneas negras identifican límites de departamentos. Referencia de colores de Ciclos de Tendencia: Creciente (azul ■), Recaída Incipiente (turquesa ■), Recaída Avanzada (amarillo ■), Decreciente (rojo ■), Recuperación Incipiente (naranja ■), Recuperación Avanzada (verde ■), Sin Ciclo de Tendencia (blanco) (ver metodología).

Ritmo de cambio de la zona centro de la provincia de Neuquén



▭ Límites de departamentos de Neuquén



Escala: 1: 1.200.000
Proyección cartográfica

EPSG:32520 - WGS 72BE / UTM zone 20S

Autor: IFAB (INTA-CONICET)

Fecha 12/02/2022

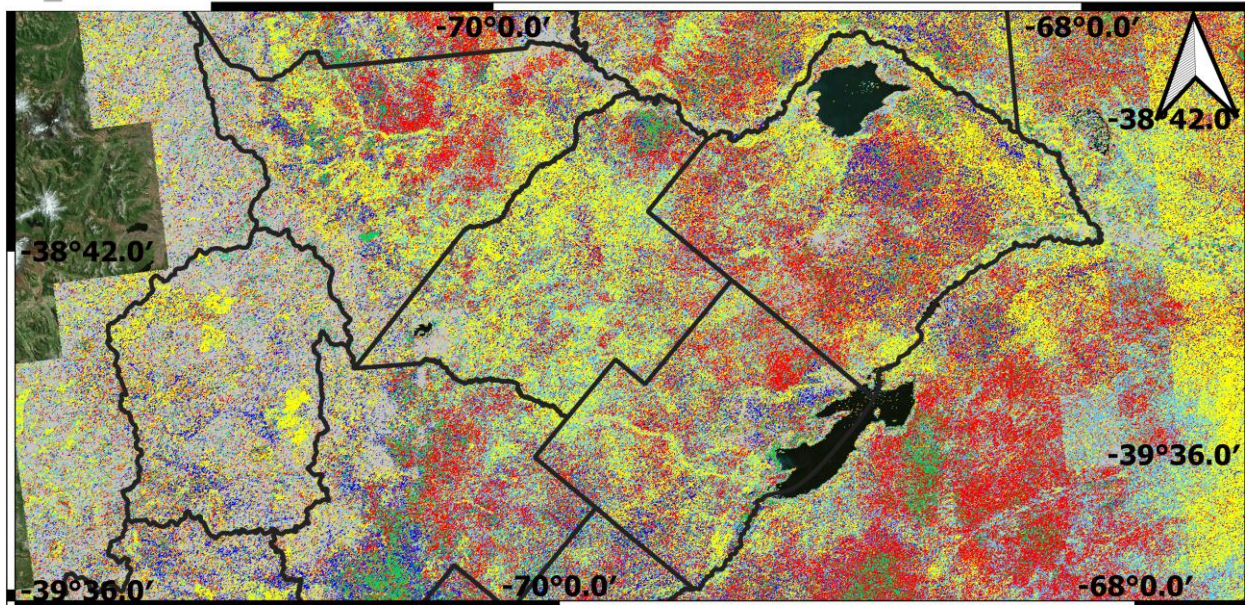
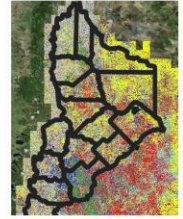


Fig. 12. Ritmo de cambio de la tendencia cíclica en la zona centro de la provincia de Neuquén. Las líneas negras identifican límites de departamentos. Referencias: 1. Valores por encima del promedio: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, violeta ■), Crecimiento lento (sentido positivo 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 ■).



Zona Sur

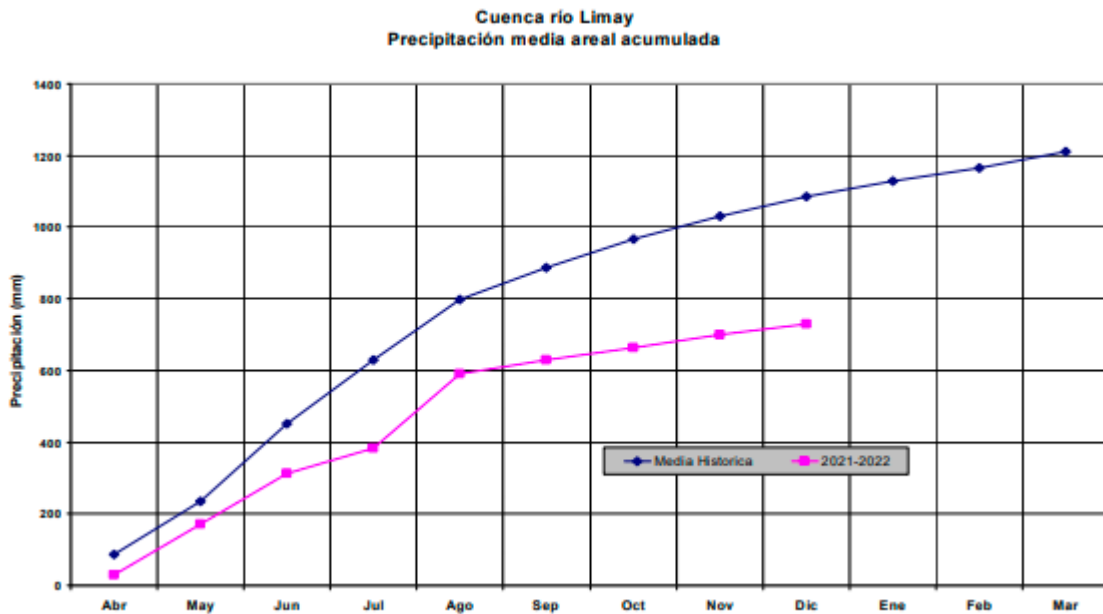


Fig. 13. Precipitación media y acumulada en el período 2021-2022 en el área de la cuenca del río Limay. Fuente: AIC, 2021.

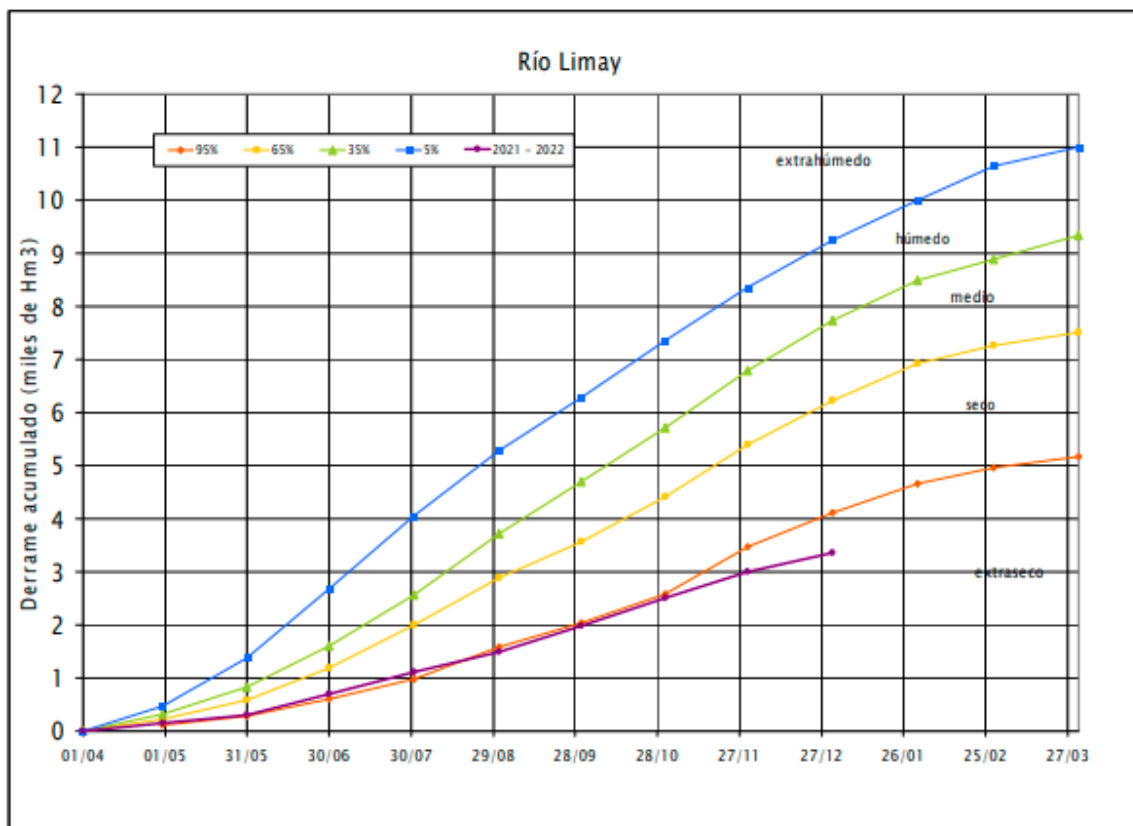


Fig. 14. Clasificación hidrológica del derrame del río Limay, período Abril 2021-Diciembre 2022. Fuente: AIC, 2021.

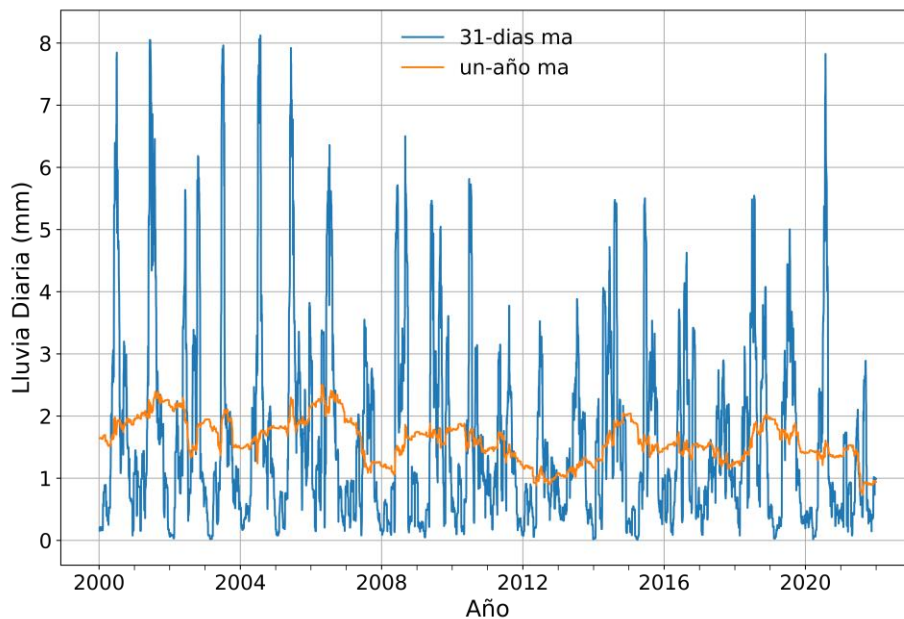


Fig. 15. Precipitaciones diarias (mm) durante el período 2000-2021 de la zona asociada a Catan Lil, en el sur de Neuquén (coordenadas -39,69, -70,40). Referencias: Promedio móvil de 31 días (línea azul) y promedio móvil anual (línea marrón). Fuente: base de datos global ERA5.

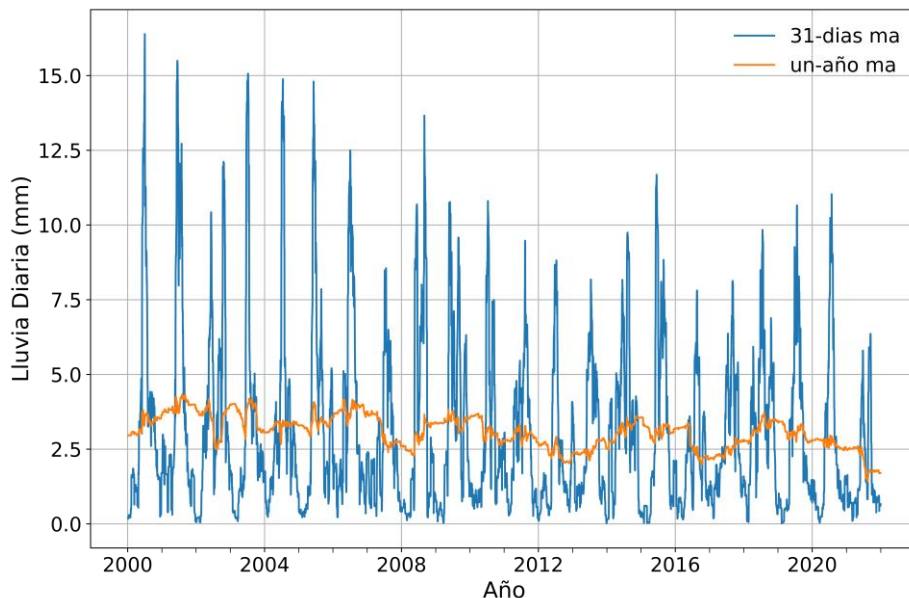


Fig. 16. Precipitaciones diarias (mm) durante el período 2000-2021 de la zona asociada a Junín de los Andes, en el sur de Neuquén (coordenadas -39,97, -71,08). Referencias: Promedio móvil de 31 días (línea azul) y promedio móvil anual (línea marrón). Fuente: base de datos global ERA5.

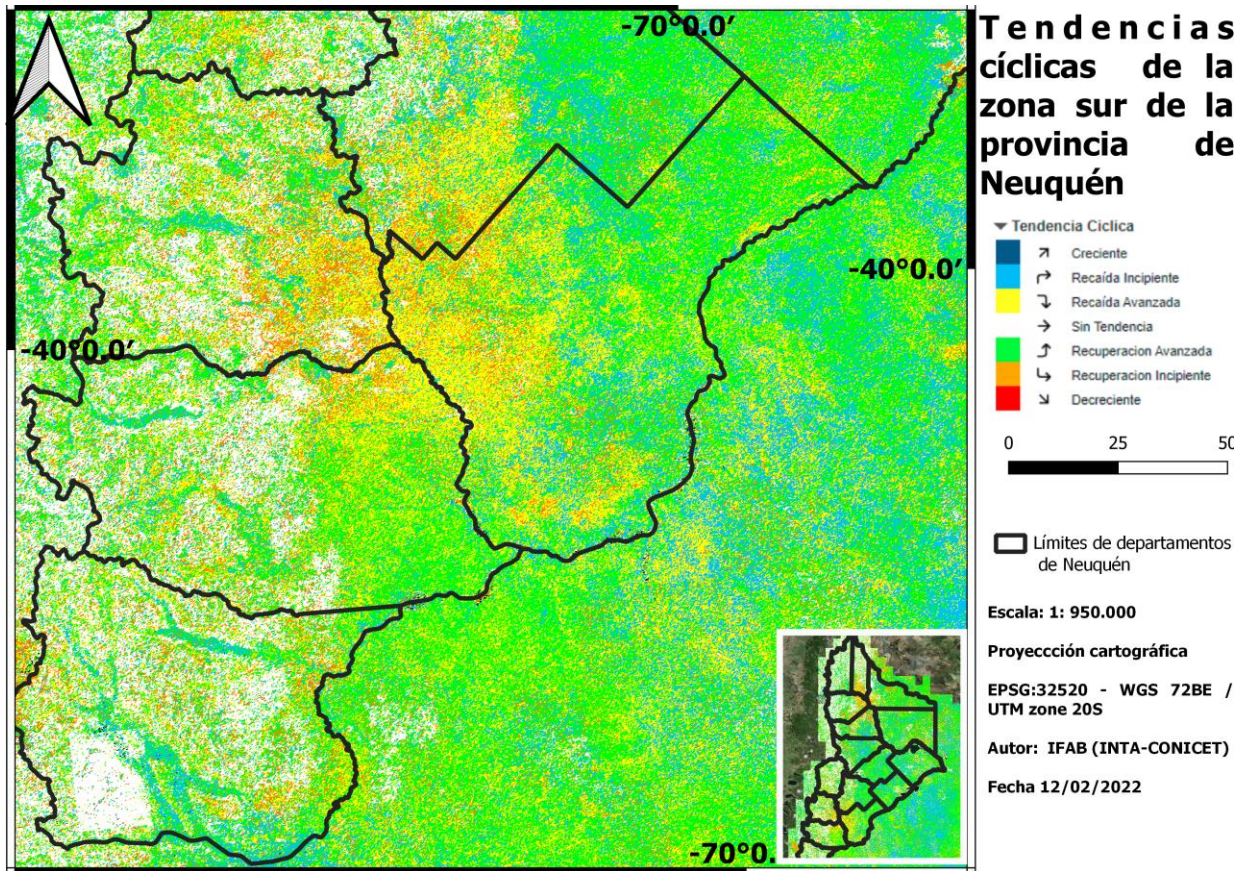


Fig. 17. Tendencia cíclica en la zona sur de la provincia de Neuquén. Las líneas negras identifican límites de departamentos. Referencia de colores de Ciclos de Tendencia: Creciente (azul ■), Recaída Incipiente (turquesa ■), Recaída Avanzada (amarillo ■), Decreciente (rojo ■), Recuperación Incipiente (naranja ■), Recuperación Avanzada (verde ■), Sin Ciclo de Tendencia (blanco) (ver metodología).

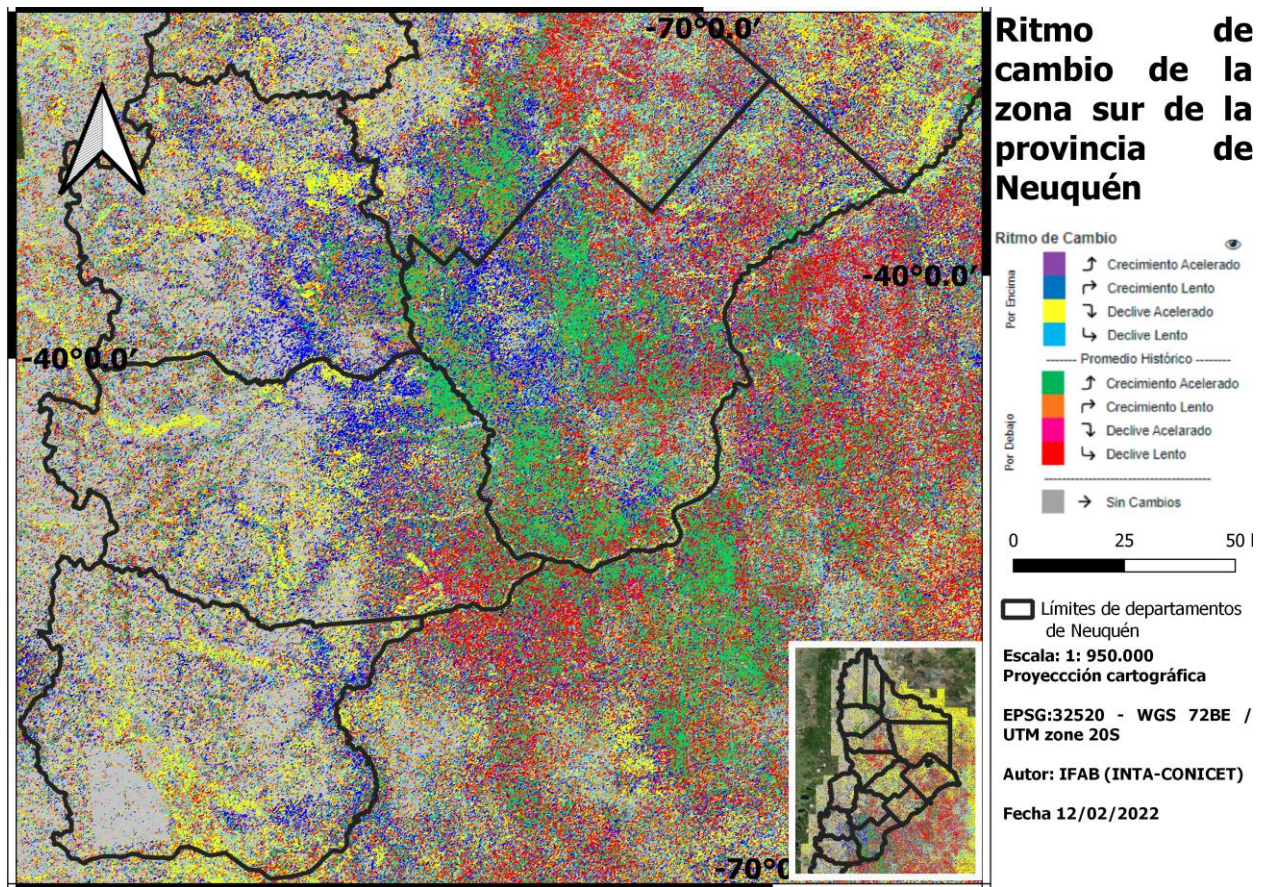


Fig. 18. Ritmo de cambio de la tendencia cíclica en la zona sur de la provincia de Neuquén. Las líneas negras identifican límites de departamentos. Referencias: 1. Valores por encima del promedio: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, violeta ■), Crecimiento lento (sentido positivo 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 ■).



Metodología

Información hidrometeorológica

La información hidrometeorológica se basó en el informe de Diciembre de 2021 elaborado por la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC, 2021), cuya información es analizada para las cuencas de los principales ríos de la provincia: río Neuquén (como referencia de la zona norte), Collón Cura (zona centro) y Limay (zona sur) (ver Fig. M1).

Por otro lado, se obtuvieron datos de precipitaciones diarias de la base global de reanálisis ERA5 para el período 2000-2021 (Hersbach et al., 2020). Los datos de precipitaciones históricas fueron utilizados para estimar dos indicadores: a) media móvil de 31 días, y b) media móvil anual. Los sitios seleccionados fueron los siguientes:

a) Zona Norte: i) Área Protegida Tromen (coordenadas -37,09, -70,1), ii) Área Protegida Auca Mahuida (coordenadas -37,83, -68,78).

b) Zona Centro: i) Parque Nacional Laguna Blanca (coordenadas -39,04, -70,36), ii) Cutral Co (coordenadas -38,93, -69,20).

c) Zona Sur: i) Catan Lil (coordenadas -39,69, -70,40), ii) Junín de los Andes (coordenadas -39,97, -71,08).

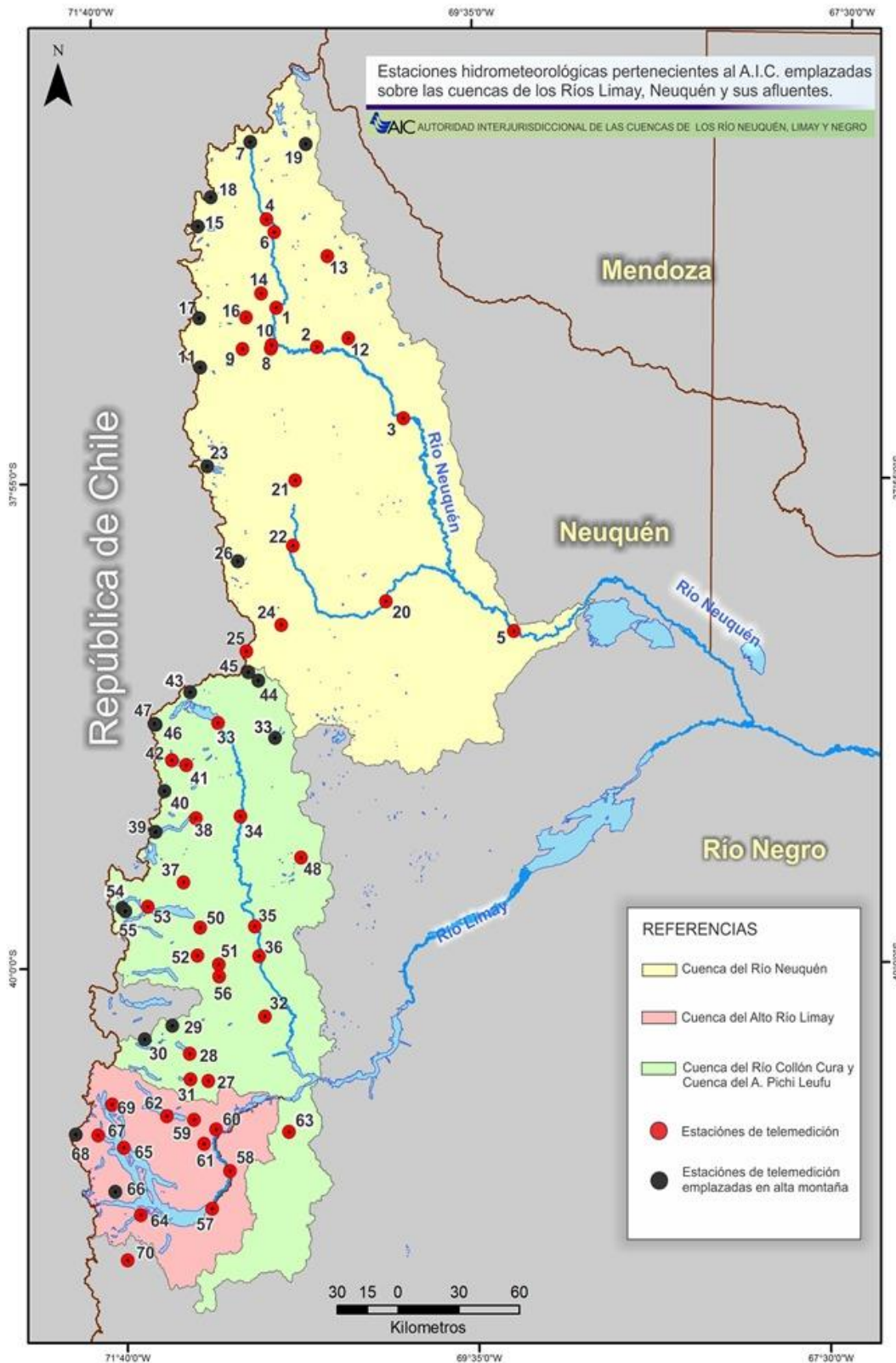


Fig. M.1. Cuencas de los ríos Limay, Collón Curá y Neuquén, con la ubicación de estaciones hidrometeorológicas. Fuente: AIC, 2021.



Información de la productividad de la vegetación

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 descripto 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 2000-2021, 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 (Bruzzone y Easdale, 2021). 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.



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. M2, Easdale et al., 2019). 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 1/4 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. M3).

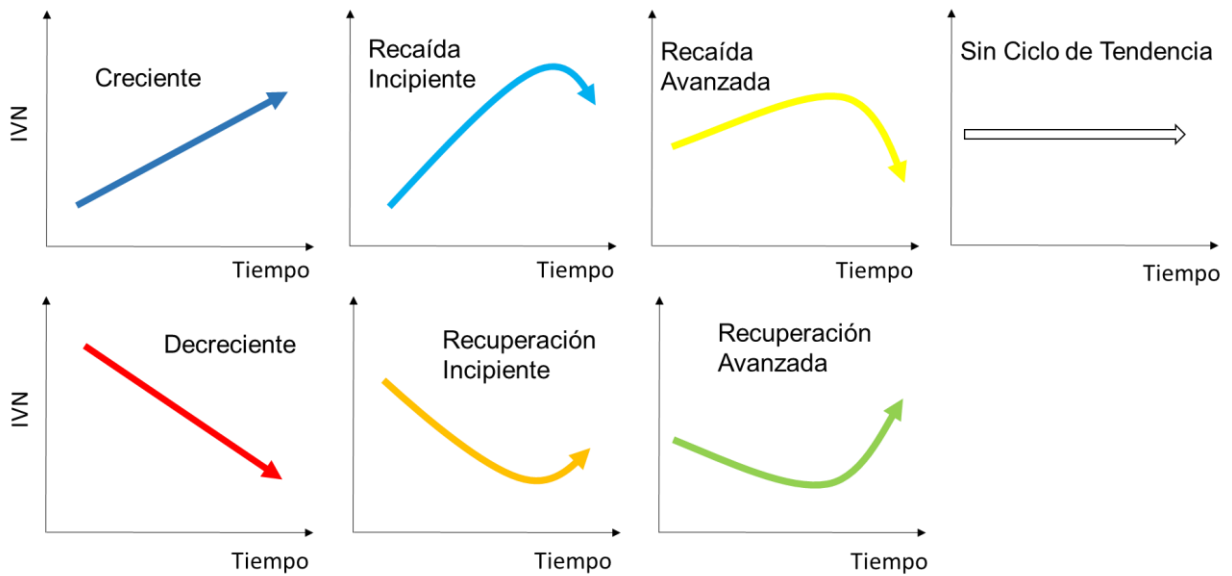


Fig. M2. Clases de Ciclo de Tendencia de NDVI. El color de la flecha identifica el color usado para cada clase en el mapa provincial (Easdale et al. 2019).

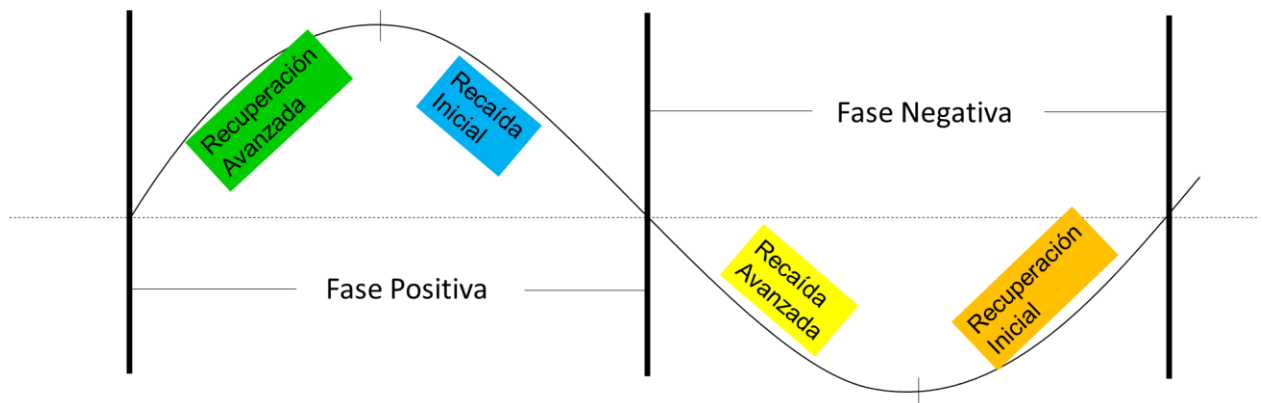


Fig. M3. Fases de Ciclo de Tendencia: Positiva, conformada por Recuperación Avanzada y Recaída Inicial; Negativa, conformada por Recaída avanzada y Recuperación inicial (Easdale et al. 2019).

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 (Bruzzone y Easdale, 2021). 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. M4).

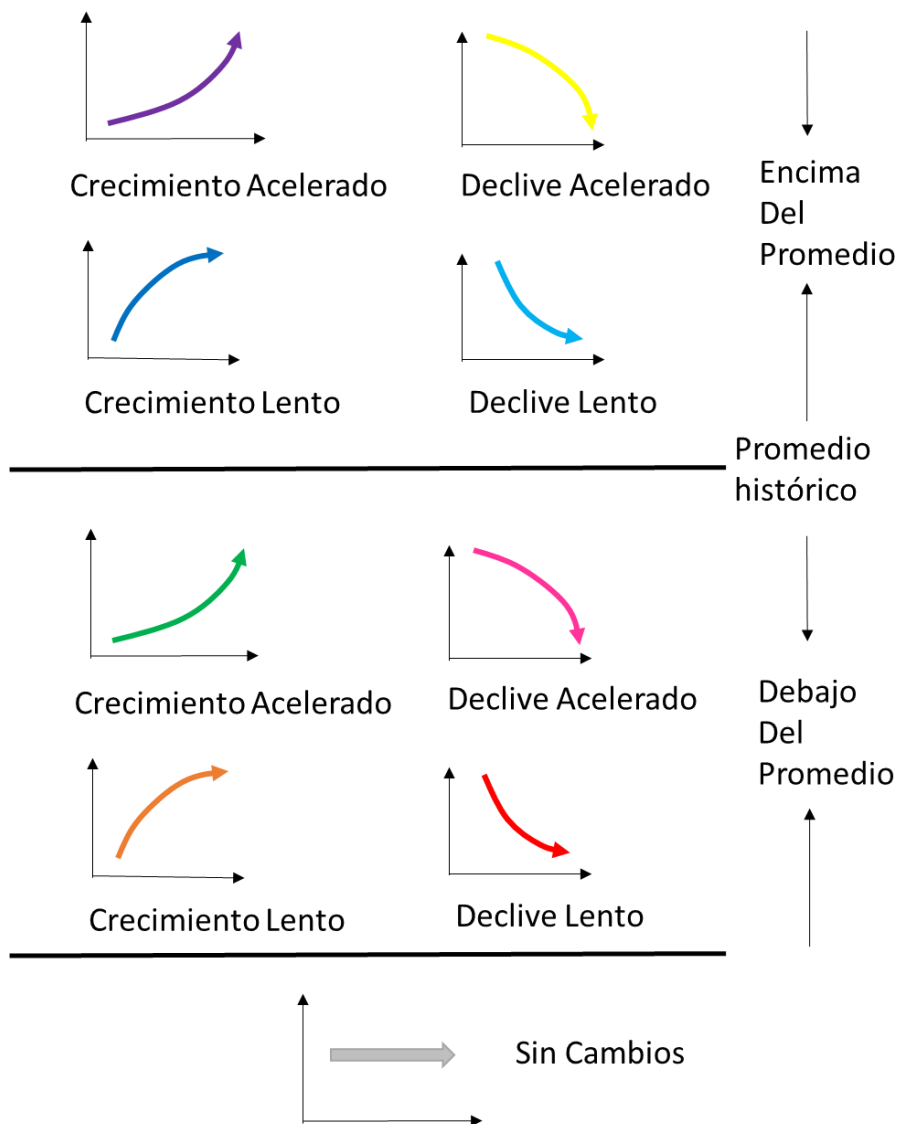


Fig. M4. Clases de Ritmo de Cambio de la Tendencia Cíclica. Referencias: 1. Valores por encima del promedio: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, violeta ■), Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa, azul ■), Declive lento (sentido negativo y con tasa positiva, 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 ■) (Bruzzone y Easdale, 2021).



Bibliografía

- Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC) de los ríos Limay, Neuquén y Negro. 2021. Informe Hidrometeorológico Diciembre 2021, 39 pp. Online: http://www.aic.gob.ar/sitio/archivos/202201/men_12%202021.pdf
- 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.
- Bruzzone, O., Easdale, M.H. 2021. Rythm of change of trend-cycle of vegetation dynamics as an early warning indicator for land management. *Ecological Indicators* 126, 107663. DOI:10.1016/j.ecolind.2021.107663.
- Chen SS, Donoho DL, Saunders MA. 2001. Atomic decomposition by basis pursuit. *SIAM review*, 43(1), 129-159.
- Easdale MH, Bruzzone O, Mapfumo P, Tittonell 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, Tittonell P, Bruzzone O. 2019. Trend-cycles of vegetation dynamics as a tool for land degradation assessment and monitoring. *Ecological Indicators* 107, 105545. DOI:1016/j.ecolind.2019.105545
- Hastings A, Wysham DB 2010. Regime shifts in ecological systems can occur with no warning. *Ecology Letters*, 13, 464–472.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., 2020. The ERA5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 146 (730), 1999–2049.
- Karl JW, Herrick JE, Pyke DA. 2017. Rangeland Systems. En: Briske DD (ed.), *Rangeland Systems*, Springer Series on Environmental Management, 527-567.