

Series:  
Comunicaciones Técnicas  
ISSN 1667-4014

**COMUNICACIÓN TÉCNICA N°83**  
**Área Recursos Naturales**  
**Pastizales Naturales**

**Dinámica y prospectiva de la productividad de  
la vegetación en la provincia de Neuquén**

*Easdale, M.; Bruzzone, O.; Fariña, C.; Umaña, F.;*

**2019**

■ **Ediciones**

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria  
Centro Regional Patagonia Norte  
Estación Experimental Agropecuaria Bariloche. "Dr. Grenville Morris"  
biblioteca@bariloche.inta.gov.ar





Secretaría  
de Agroindustria



Ministerio de Producción y Trabajo  
Presidencia de la Nación

## **Dinámica y prospectiva de la productividad de la vegetación en la provincia de Neuquén**

**Junio 2019**

**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 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), tomando como base de información la serie de NDVI entre el año 2000 y la mitad de 2019. Para ello, se analizan como medidas de mediano plazo, el Ciclo de Tendencia (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. Como medidas de corto plazo, se presentan las anomalías pronosticadas para fines de agosto y mediados de septiembre de 2019 (valores mensuales en comparación con el promedio para esas fechas, obtenido a partir del ciclo anual proyectado), como indicadores de la posible evolución durante el inicio de la primavera. Dicha información ha sido sintetizada en la identificación de zonas y departamentos provinciales con diferentes niveles de riesgo a corto y mediano plazo.

Finalmente, se seleccionaron 10 sitios correspondientes a mallines de las zonas sur, centro y norte provincial. Para cada uno, se presentan indicadores de la dinámica de la vegetación durante 2000-2019 (tendencia, ciclo de tendencia, ciclo anual) y la proyección de valores futuros para la segunda mitad de 2019 (primavera). La metodología utilizada para estos análisis se presenta al final del informe.

## **1. Niveles de Riesgo a corto y mediano plazo, por Zonas y Departamentos de la provincia de Neuquén**

La combinación entre el ciclo de tendencia (punto 2, página 4) y el ritmo de cambio (punto 3, página 6) permiten identificar zonas con diferentes niveles de riesgo a mediano plazo (Tabla 1). La zona con mayor riesgo y en máximo nivel de alerta se ubica en las zonas de Monte en el centro-Este del departamento Zapala, extremo Este de Catan Lil, centro-Noreste de Collón Curá y Picún Leufú, debido a que se encuentran en recuperación inicial desde valores mínimos, pero con un declive acelerado previsto a mediano plazo.

En un segundo nivel de riesgo, a corto plazo, se ubican las zonas de Meseta Central y Este de Sierras y Mesetas del centro-norte provincial, correspondiente al centro-Oeste del departamento Picunches, Loncopué y Ñorquín, y Sur de Chos Malal, debido a que también se encuentran en recuperación inicial y provienen de valores recientes bajos, los cuales se ubicarían todavía por debajo de la media para la primavera 2019. De todas maneras, van confirmando la recuperación con un crecimiento y una transición positiva a mediano plazo.

Luego, una zona de alerta a mediano plazo, también por declive acelerado y tendencia negativa, pero que proviene de valores recientes altos, corresponde a las zonas de Precordillera y Oeste de Sierras y Mesetas ubicadas en el centro-norte provincial. En particular, la zona central (invernadas) de los departamentos Minas, Ñorquín, centro-Oeste de Loncopué, Picunches y Zapala. En situación similar pero comparativamente con predominancia de un declive lento, se ubica la Meseta de Chihuidos y la zona del Monte Austral correspondiente al Oeste de los departamentos Añelo y Pehuenches.

Precaución a mediano plazo se presenta hacia el sur provincial, en las zonas de Sierras y Mesetas, Meseta Central y Precordillera, asociados a los departamentos Catan Lil, centro-Oeste de Collón Curá, centro-Este de Huiliches y Lacar. Estas zonas se ubican en recuperación inicial desde valores bajos, pero reflejando a mediano plazo un crecimiento lento y con posible cambio a un declive acelerado, que podrían frenar el ritmo de recuperación e incluso revertirlo. Igualmente, las zonas de Monte Austral del centro-Este de los departamentos de Añelo, Pehuenches y Confluencia registran una transición negativa



a mediano plazo, proveniente de valores altos en los últimos años, con posibles registros de valores menores a la media en primavera 2019, en algunas áreas.

Finalmente, la zona cordillerana del centro-norte provincial se ubica en valores de máximos (recuperación avanzada), con crecimiento lento o desacelerando, confirmando un escenario comparativamente más favorable.

Respecto al seguimiento de mallines (ver punto 6, página 11), en términos generales se observan dos tipos de dinámica asociados a mallines húmedos, sub-húmedos y secos, aunque con diferencias regionales. Por un lado, una dinámica de fase positiva, con recaída inicial desde valores máximos recientes ocurrido entre 2015-2017, en mallines de zona centro (Zapala) y norte (centro y norte de Ñorquín). Por otro lado, se observa una dinámica de fase negativa, con recuperación inicial desde valores mínimos en los años 2014-2016, en mallines del sur provincial, ubicados al Oeste de Collón Curá y en el centro-oeste de Loncopué. Finalmente, los mallines muy húmedos no muestran cambios de tendencia significativos, reflejando que dichos sitios estuvieron menos afectados por cambios cíclicos (ejemplos en Junín de los Andes y centro de Ñorquín).

Tabla 1. Identificación de zonas y departamentos provinciales con diferentes niveles de riesgo, identificados a partir de la información del Ciclo de Tendencia, el Ritmo de Cambio y Anomalías de la productividad de la vegetación.

Zona	Departamentos	Ciclo de Tendencia	Ritmo de cambio	Situación	Nivel de Riesgo
Cordillera centro-norte	Los Andes: Aluminé, O Picunches/Loncopué/Ñorquín/Minas, N Chos Malal, Chachil, del Viento, Domuyo-Tromen	Recuperación avanzada	Crecimiento lento	Sin problemas, en valores máximos	-
Monte centro-Este	Confluencia, centro-Este Añelo y Pehuenches	Recaída inicial	Declive lento	Precaución > Transición negativa a mediano plazo	
SyM MC, Pre Sur	Catan Lil, centro-Oeste Collón Curá, centro-Este Huiliches y Lacar	Recuperación inicial	Crecimiento lento/Declive acelerado	Precaución mediano plazo > Recuperación frenando	
Meseta Chihuidos	Oeste Añelo y Pehuenches	Recuperación inicial	Declive lento	Precaución mediano plazo > Recuperación frenando	
Prec y SyM-O centro-norte	Centro Minas, Ñorquín, Centro-Oeste Loncopué, Picunches, Zapala	Recaída inicial	Declive acelerado	Alerta mediano plazo > Transición negativa a mediano plazo	
MC y SyME centro-norte	Centro-Oeste Picunches, Loncopué, Ñorquín y Sur Chos Malal	Recuperación inicial	Crecimiento lento y acelerado	Alerta corto plazo > Confirma Recuperación y Transición positiva	
Monte Oeste	Centro-Este Zapala, Collón Curá, Este Catan Lil, Picún Leufú	Recuperación inicial	Declive acelerado	Alerta Grave > Recuperación hacia recaída negativa	+

## 2. Ciclo de Tendencias

En la provincia de Neuquén, en el 49,1% de la superficie la productividad de la vegetación se encuentra en una fase positiva (cercano a valores máximos), mientras que el 47,9% se encuentra en una fase negativa (Tabla 2, ver esquema en Fig. 28). Del total de superficie en fase positiva, sólo el 20% se encuentra en Recuperación avanzada, mientras que casi el 80% se ubica en Recaída inicial, marcando un cambio hacia una transición negativa. Las regiones ecológicas donde se verifica esta última situación son el Monte Austral (departamentos Confluencia, Añelo y noroeste de Pehuenches), y zonas de Precordillera centro-norte (oeste de departamentos Catan Lil, Picunches, Loncopué, Norquín y centro de Minas) y Cordillera sur (centro-oeste de departamentos Aluminé, Huiliches, Lacar y Los Lagos).

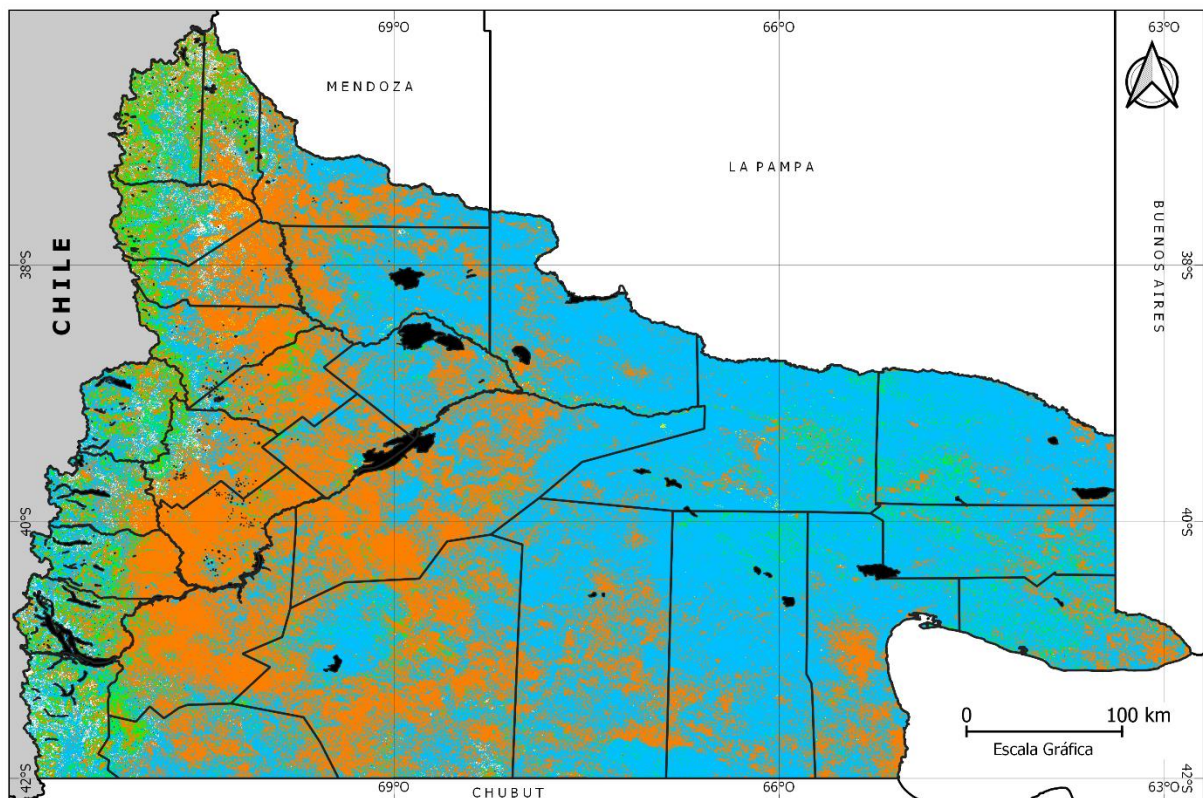


Fig. 1. Ciclo de Tendencias en Patagonia Norte. Las líneas negras identifican límites de departamentos para las provincias Neuquén y Río Negro. Referencia de colores de Ciclos de Tendencia: Creciente (azul ■), Recaída Incipiente (turquesa ■), Recaída Avanzada (amarillo ■), Decreciente (rojo ■), Recuperación Incipiente (naranja ■), Recuperación Avanzada (verde ■), Sin Ciclo de Tendencia (blanco) (ver Fig. 27 en metodología). El color negro indica cuerpos de agua.

Del total de superficie en fase negativa, el 99% se encuentra en Recuperación inicial, marcando una fase dominada por una transición positiva, luego de valores mínimos en el pasado reciente. Las principales regiones ecológicas corresponden a Meseta Central y Sierras y Mesetas (departamentos Collón Curá, Este de Los Lagos y Lacar, centro-este de Catan Lil, Zapala, centro-Este de Picunches y Loncopué, extremo Este de Ñorquín, Sur de Chos Malal, y zona Oeste del Monte Austral (centro-Oeste de Pehuenches, Oeste de Añelo, centro-Este de Zapala, y Picún Leufú).

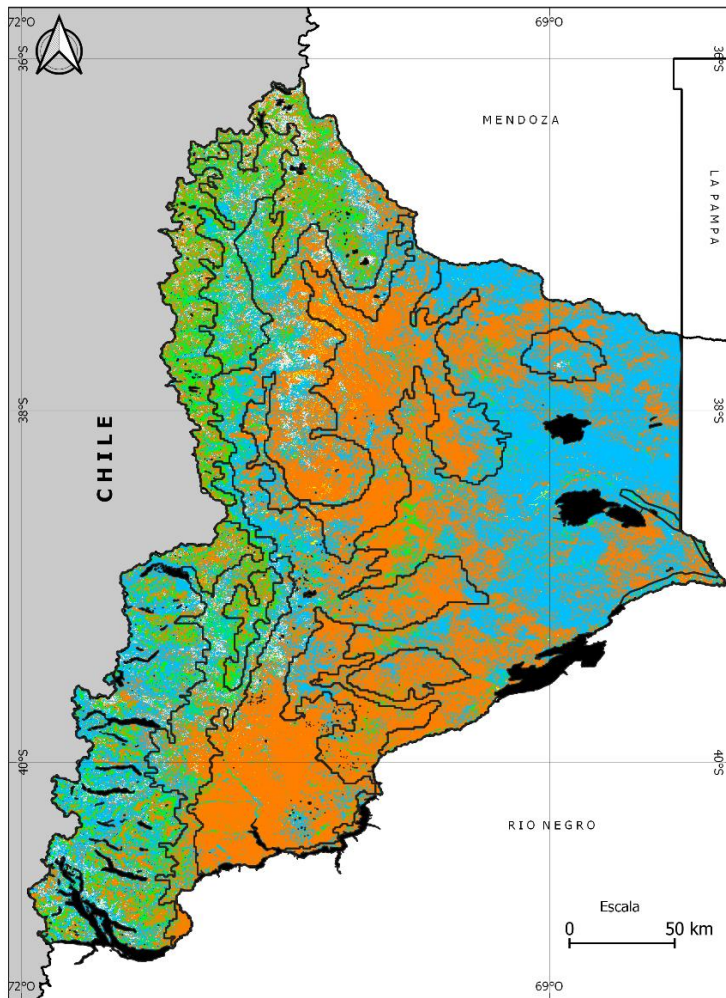


Fig. 2. Ciclo de tendencias en la provincia de Neuquén. Las líneas negras identifican límites de regiones ecológica homogéneas (Bran et al., 2002). Referencia de colores de Ciclos de Tendencia: Creciente (azul ■), Recaída Incipiente (turquesa ■), Recaída Avanzada (amarillo ■), Decreciente (rojo ■), Recuperación Incipiente (naranja ■), Recuperación Avanzada (verde ■), Sin Ciclo de Tendencia (blanco) (ver Fig. 27 en metodología). El color negro indica cuerpos de agua.

Tabla 2. Superficie y proporción de superficie por clase de ciclo de tendencia, discriminada por áreas ecológicas (según Bran et al., 2002) y a escala provincial.

Neuquén Área Ecológica	Ciclo de Tendencias							Superficie km <sup>2</sup>
	Decreciente	Recuperación inicial	Recaída avanzada	Recuperación avanzada	Recaída inicial	Creciente	Sin tendencia	
Cordillera	0,1%	32,8%	0,3%	24,2%	35,5%	0,5%	6,6%	25.603,75
Precordillera	0,1%	36,1%	0,3%	20,8%	36,9%	0,3%	5,6%	10.784,65
Sierras y Mesetas	0,0%	63,7%	0,7%	5,6%	27,1%	0,1%	3,0%	22.987,31
Meseta Central	0,0%	70,5%	0,5%	1,9%	26,7%	0,0%	0,5%	15.806,94
Monte Austral	0,0%	40,6%	0,1%	2,5%	56,6%	0,0%	0,2%	32.796,55
Valles	0,0%	28,8%	1,1%	7,4%	61,9%	0,1%	0,8%	641,62
Provincia	0,0%	47,5%	0,4%	10,0%	39,1%	0,2%	2,9%	108.620,8

### 3. Ritmo de cambio de la tendencia cíclica

El ritmo de cambio de la productividad de la vegetación, refleja que el 63,6% de la superficie provincial se encuentra en situación de declive, mientras que un 33,5% se encuentra en situación de crecimiento (Tabla 3). Respecto a la pendiente en declive, el 54,7% es acelerado y el 45,3% es con una tasa lenta. Las regiones ecológicas con un declive acelerado son Sierras y Mesetas y Precordillera (en una franja longitudinal en sentido Norte-Sur que une departamento Minas y Ñorquín centro, Oeste de Loncopué y Picunches, centro-Oeste de Zapala), y Monte Austral (centro Este de Zapala, Catan Lil, Collón Curá y zonas en el centro de Añelo). El declive lento se verifica en mayor proporción en Monte Austral (departamentos Confluencia y Piñón Leufú, Añelo en la Meseta de Chuhuidos y Este de Pehunches) (Fig. 3).

Respecto a ritmos de cambios con pendiente creciente, el 66,3% de la superficie registra una tasa lenta y el 33,7% una tasa acelerada. Las regiones con mayor proporción de superficie con crecimiento son Cordillera (Los Andes centro y norte, del Viento y Cordón del Chachil), Precordillera (extremo norte en departamento Minas), Meseta Central y Sierras y Mesetas (centro-norte, sur de Chos Malal, Este de Ñorquín, centro-Este de Loncopué y Picunches) (Fig. 4), donde también se registran zonas con crecimiento acelerado (especialmente en extremo Este de Ñorquín y sur de Chos Malal). En Sierras y Mesetas y Meseta Central al sur provincial se registran también zonas con crecimiento lento (centro de Catan Lil y Collón Curá, Este de Lacar).

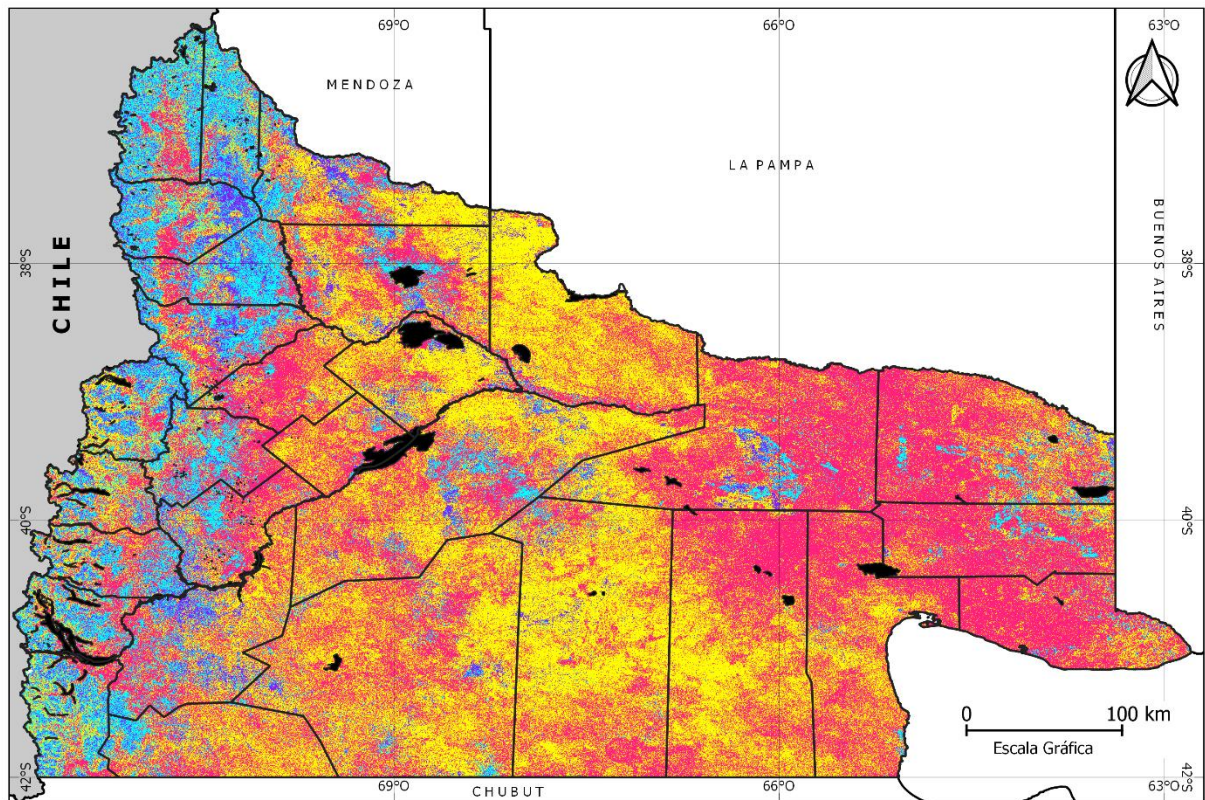


Fig. 3. Ritmo de cambio de la tendencia cíclica en Patagonia Norte. Las líneas negras identifican límites departamentales de las provincias Neuquén y Río Negro. Referencias: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, azul ■), Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa, turquesa ■), Sin cambios (sentido neutro y tasa de cambio neutro, verde ■), Declive lento (sentido negativo y con tasa positiva, amarillo ■), Declive acelerado (sentido negativo y con tasa negativa, rojo ■). El color negro indica cuerpos de agua.



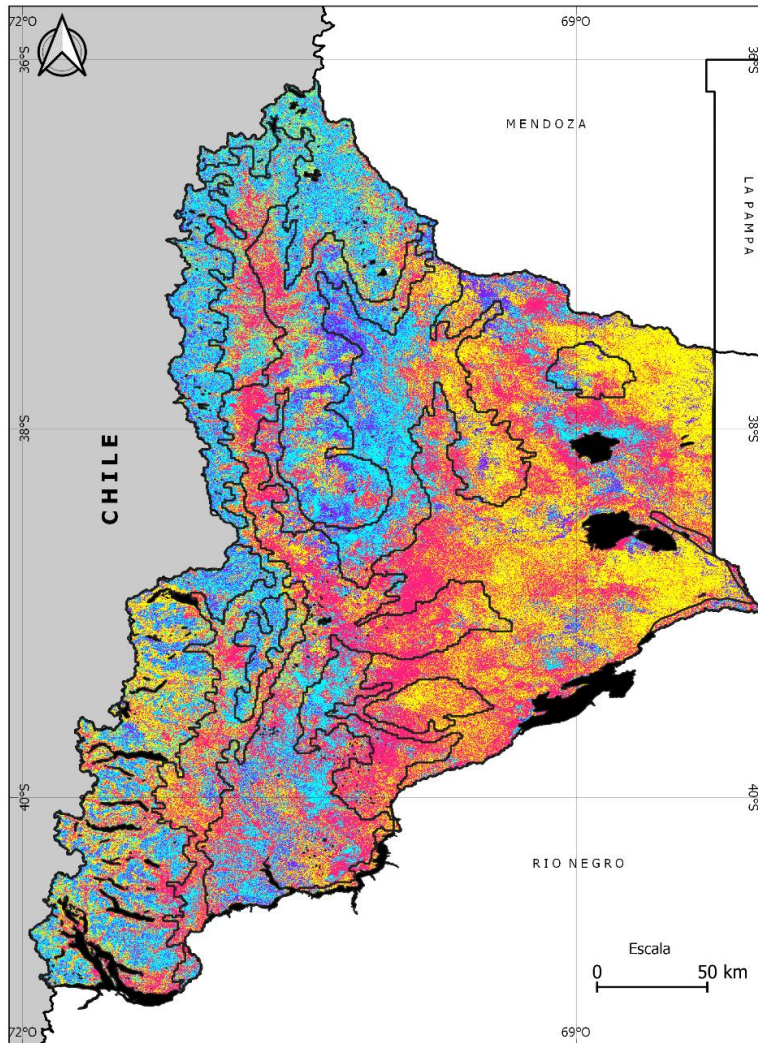


Fig. 4. Ritmo de cambio de la tendencia cíclica en la provincia de Neuquén (ver Tabla 3). Las líneas negras identifican límites de las regiones ecológicas homogéneas (Bran et al., 2002). Referencias: Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, azul ■), Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa, turquesa ■), Sin cambios (sentido neutro y tasa de cambio neutro, verde ■), Declive lento (sentido negativo y con tasa positiva, amarillo ■), Declive acelerado (sentido negativo y con tasa negativa, rojo ■). El color negro indica cuerpos de agua.



Tabla 3. Superficie y proporción de superficie por clase de Ritmo de Cambio, discriminada por áreas ecológicas (según Bran et al., 2002) y a escala provincial (ver Fig. 4).

Neuquén Región Ecológica	Ritmo de Cambio					Superficie km <sup>2</sup>
	Declive acelerado	Declive lento	Sin cambio	Crecimiento lento	Crecimiento acelerado	
Cordillera	21,6%	18,9%	6,6%	36,6%	16,3%	25.603,75
Precordillera	38,3%	22,0%	5,6%	25,2%	8,9%	10.784,65
Sierras y Mesetas	40,5%	20,1%	3,0%	23,9%	12,6%	22.987,31
Meseta Central	34,4%	28,1%	0,5%	24,9%	12,1%	15.806,94
Monte Austral	39,9%	45,2%	0,2%	7,7%	7,0%	32.796,55
Valles	51,2%	27,6%	0,8%	9,7%	10,7%	641,62
Provincia	34,8%	28,8%	2,9%	22,2%	11,3%	108.620,82

#### 4. Anomalías mensuales proyectadas para primavera 2019

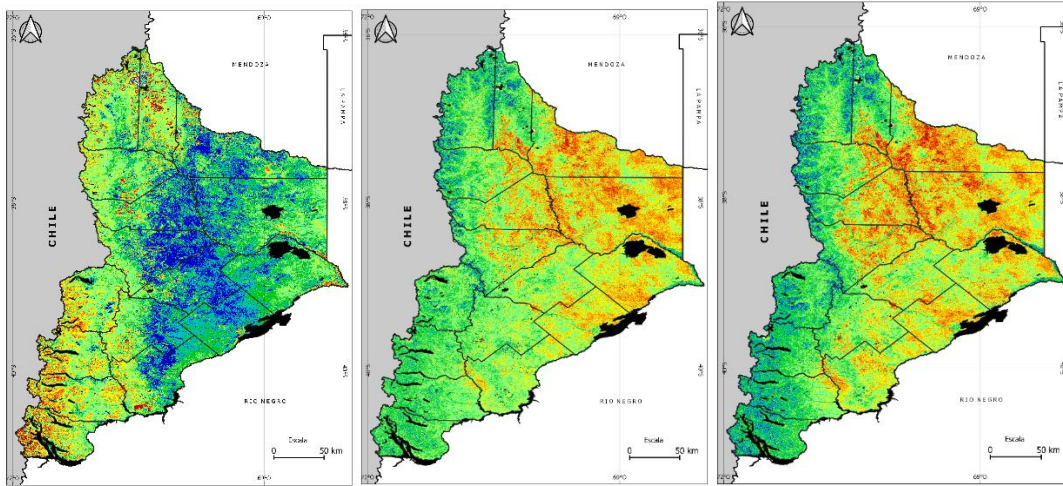


Fig. 5. Anomalías pronosticadas para las fechas: 24 de Mayo, 28 de Agosto y 13 de Septiembre de 2019, para la provincia de Neuquén, respectivamente. Referencias: valores cercanos al promedio para esas fechas (tonalidades de verde), superior al promedio (tonalidades azules), inferior al promedio (tonalidades naranjas y rojizas). El color negro indica cuerpos de agua y líneas negras los límites departamentales.

Las anomalías pronosticadas para incios de la primavera (agosto y septiembre 2019) reflejan valores debajo del promedio principalmente para las zonas del Este de Sierras y Mesetas, Meseta Central y centro-Oeste del Monte Austral zona centro-norte provincial (Fig. 5). Particularmente, el centro-Este de los departamentos Picunches, Loncopué, extremo Este de Ñorquín y sur de Chos Malal, centro-Oeste de Añelo y Pehueches, centro de Confluencia y de Picún Leufú (al norte del río homónimo).

#### 4. 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 4), 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 (tendencia, ciclo de tendencia, ciclo anual) y la proyección de valores futuros para la segunda mitad de 2019 (primavera).

Tabla 4. 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).

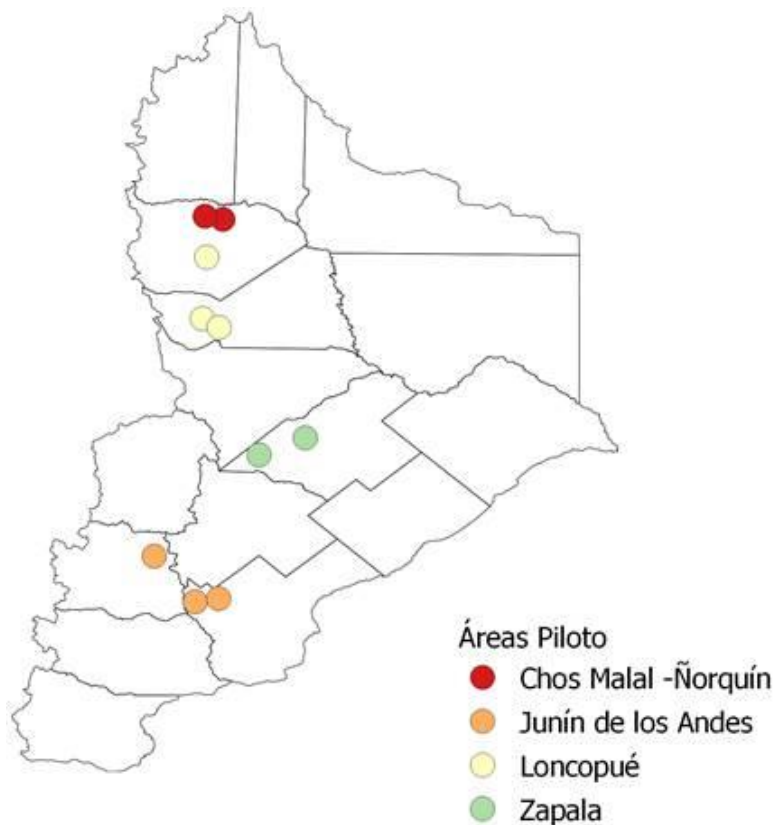
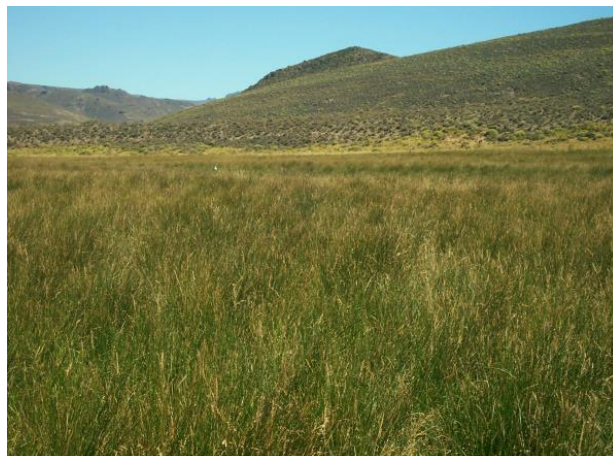


Fig. 6. Ubicación geográfica de los mallines seleccionados en áreas piloto (ver detalle en Tabla 4).

#### 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.

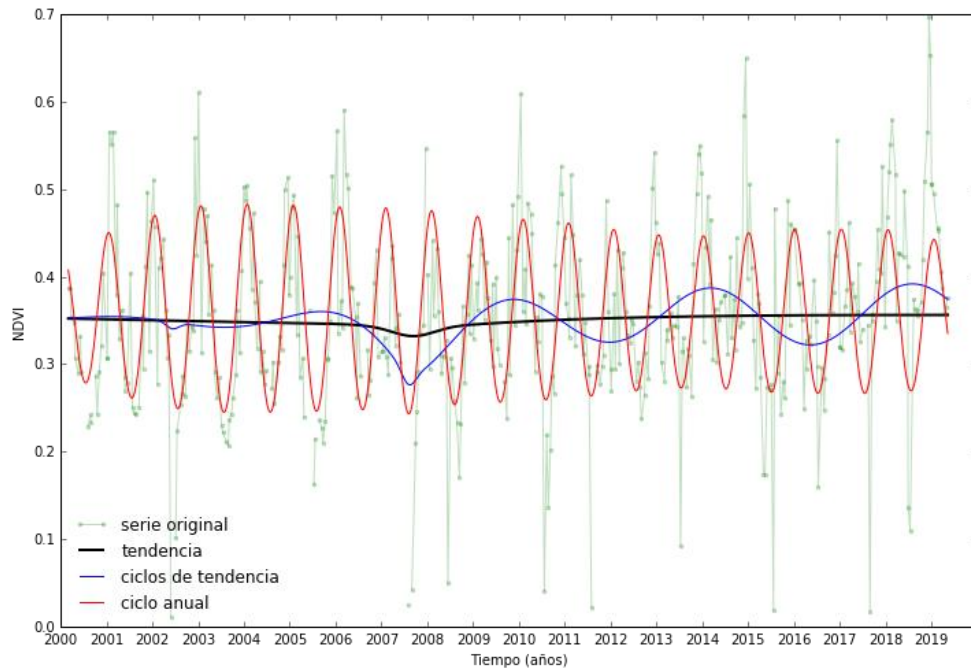


Fig. 7. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #1, zona sur.

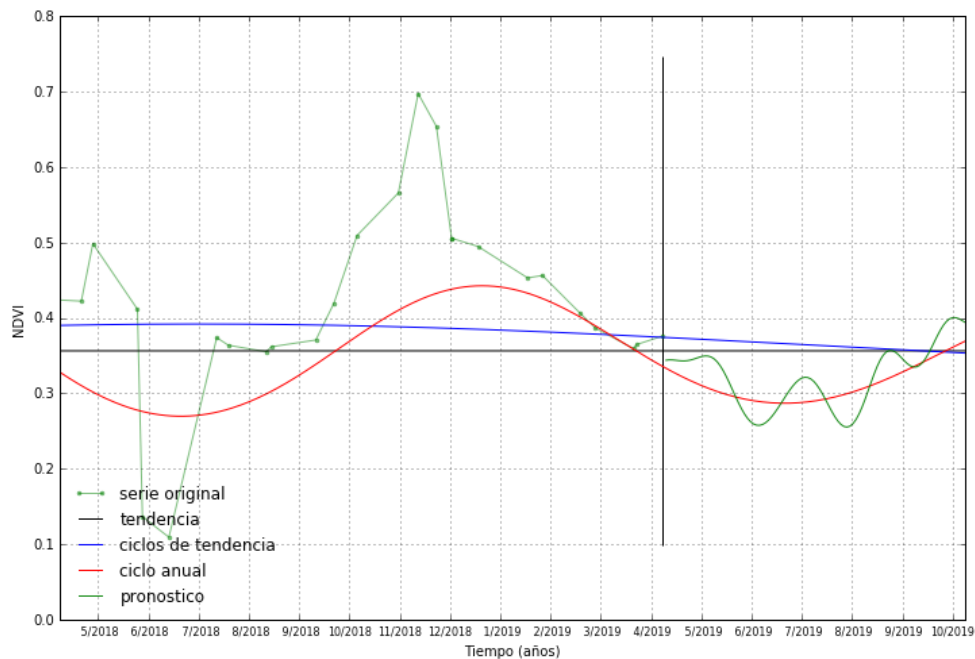


Fig. 8. Prospectiva de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #1, zona sur.

Tendencia cíclica: Sin cambios. La dinámica de la productividad muestra un ciclo de tendencia oscilante en torno a una tendencia estable a lo largo del tiempo. La amplitud del ciclo anual también presenta

pocas variaciones y los valores máximos estivales en los últimos años se ubican en valores similares o superiores a los históricos de la serie (Fig. 7). La proyección para la primavera se ubica en torno o levemente por encima de los valores promedio de los últimos años (Fig. 8).

## #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.

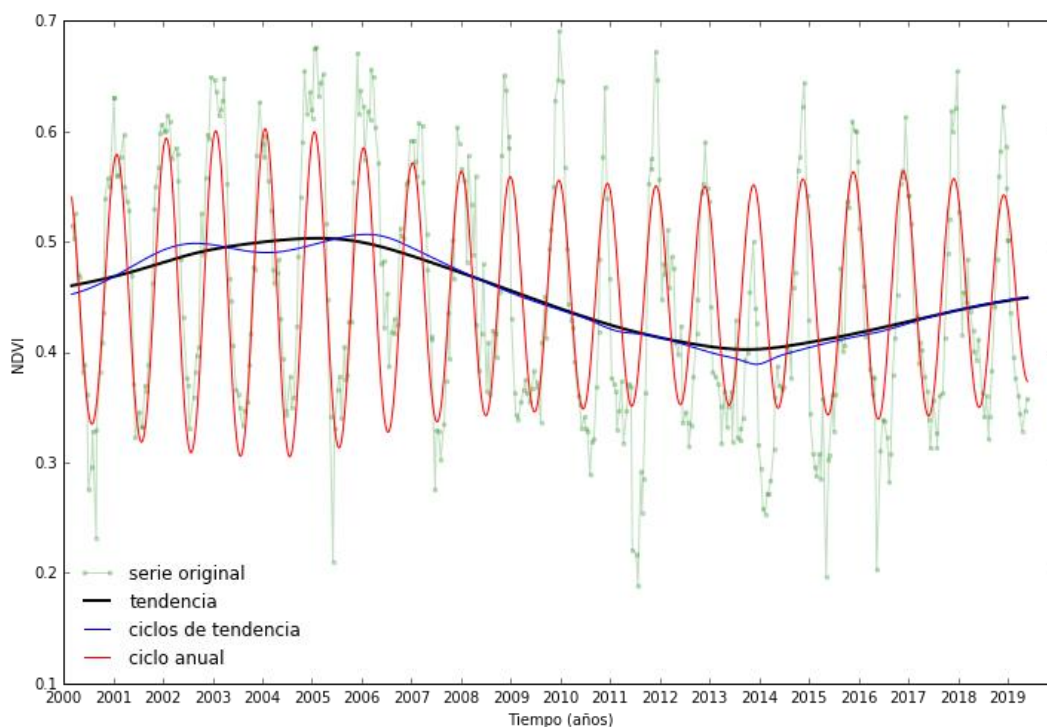


Fig. 9. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #2, zona sur.

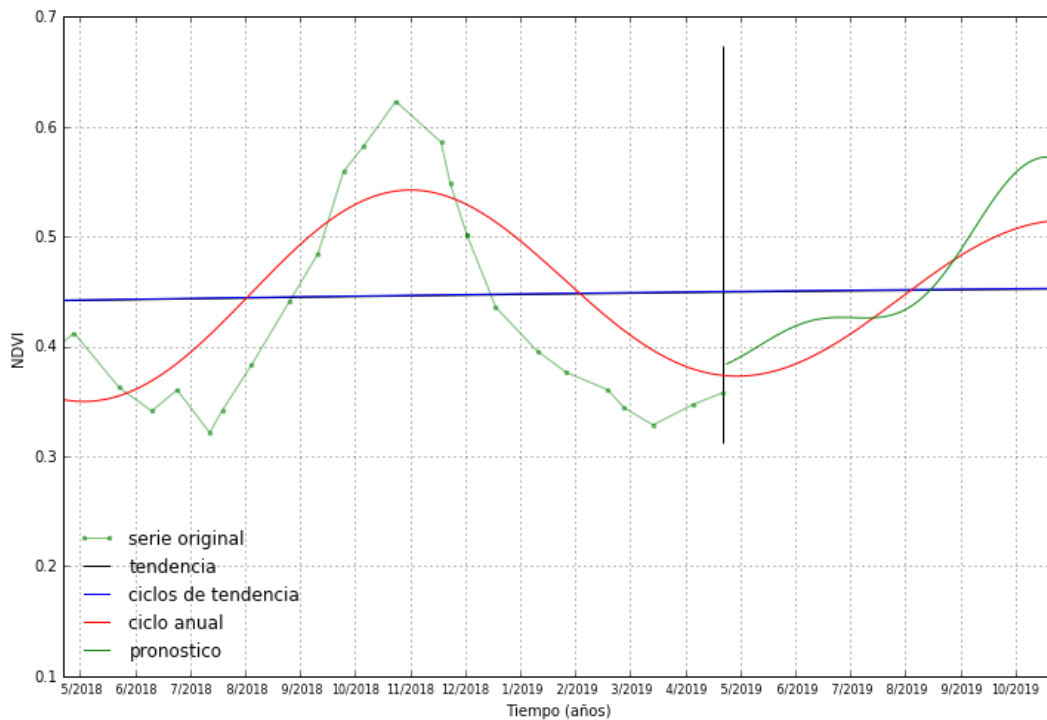


Fig. 10. Prospectiva de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #2, zona sur.

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. El período de recuperación luego del valor mínimo lleva 5 años. La amplitud del ciclo anual fue máxima en el período 2002-2005, disminuyendo a valores mínimos entre 2012-2014, ampliándose levemente de nuevo con posterioridad, en conjunción con el incremento de la tendencia (Fig. 9). La proyección para la primavera es a valores superiores al promedio de los últimos años para septiembre y octubre, cuando se obtiene el valor máximo (Fig. 10).



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



VEGETACIÓN: Praderas gramíneas de 75-85% de cobertura vegetal. La especie dominante es el coirón blanco (*Festuca palleescens*) 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.

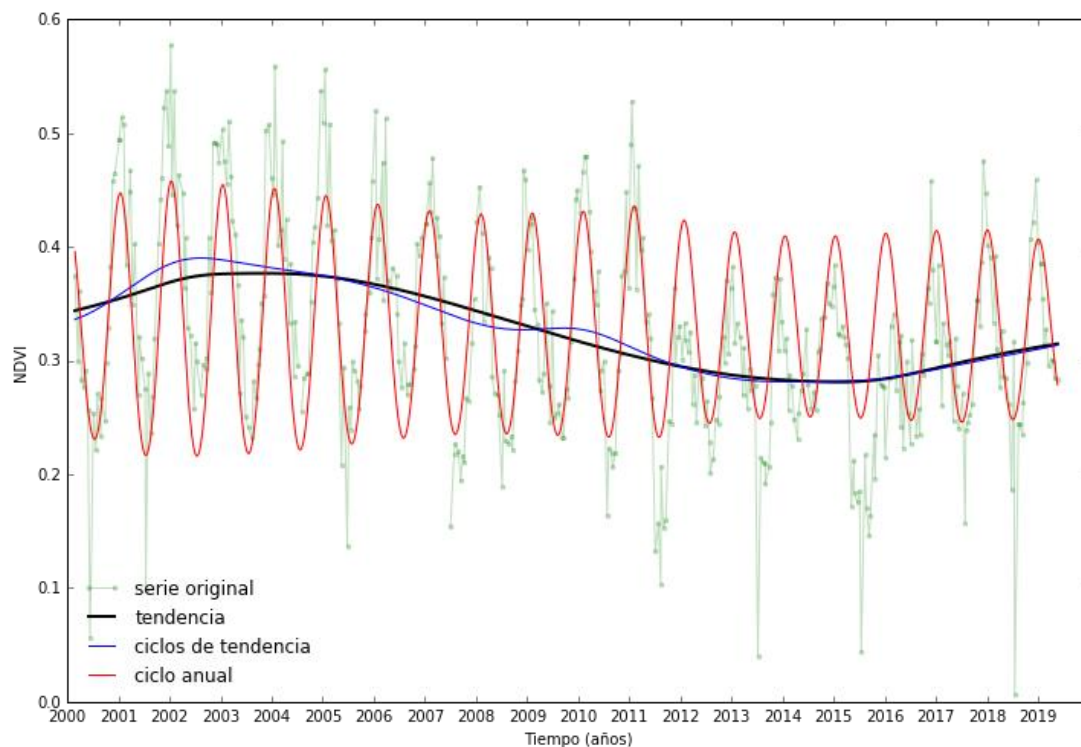


Fig. 11. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #3, zona sur.

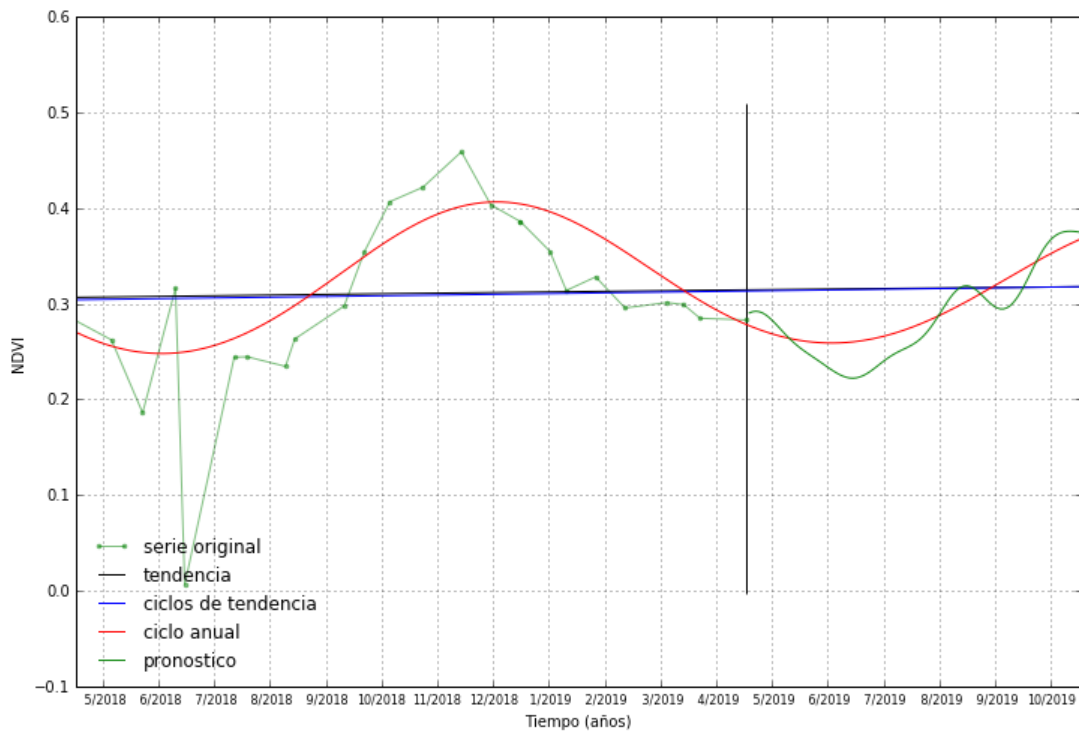


Fig. 12. Prospectiva de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #3, zona sur.

Tendencia cíclica: Fase negativa > Recuperación inicial. La tendencia osciló entre un máximo en el año 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. La amplitud del ciclo anual fue máxima en el período 2002-2005, disminuyendo a valores mínimos entre 2014-2015, ampliándose muy levemente de nuevo con posterioridad, en conjunción con el incremento de la tendencia. Los valores estivales de los últimos tres años se ubicaron un 20% por debajo que los registrados entre 2001-2004, aunque un 18% por encima de los valores entre 2012-2015 (Fig. 11). Los menores valores estivales corresponden al año 2015. La proyección para la primavera se ubica en torno a los valores promedio de los últimos años (Fig. 12).



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.

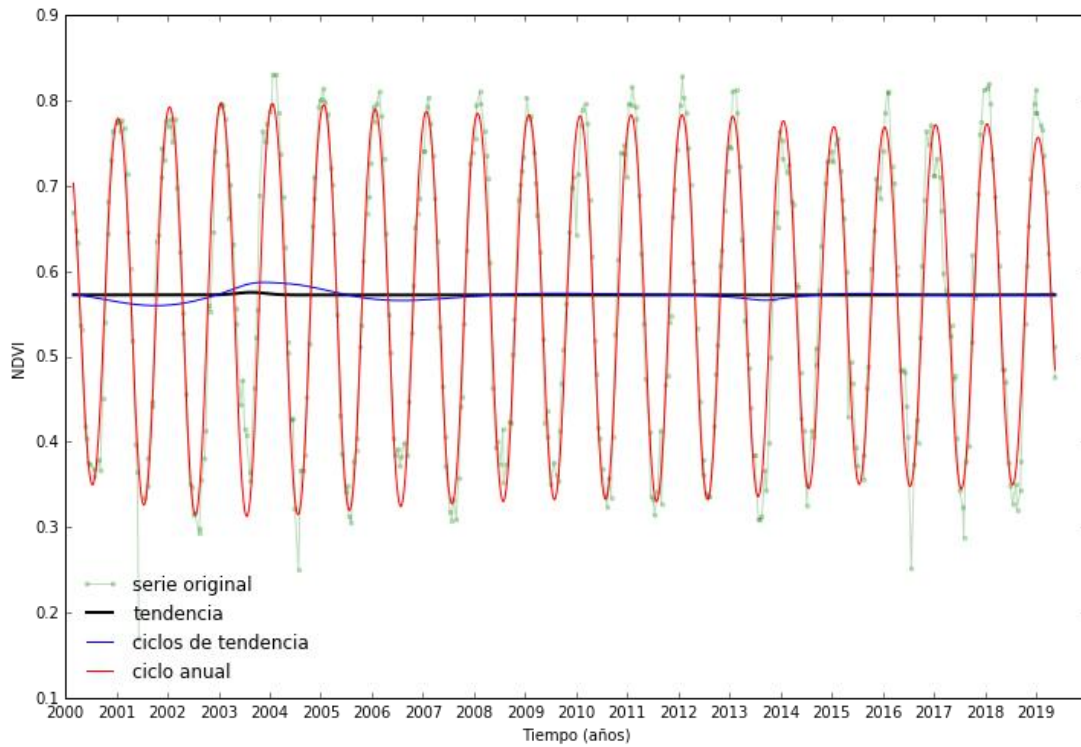


Fig. 13. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #4, zona centro-oeste.

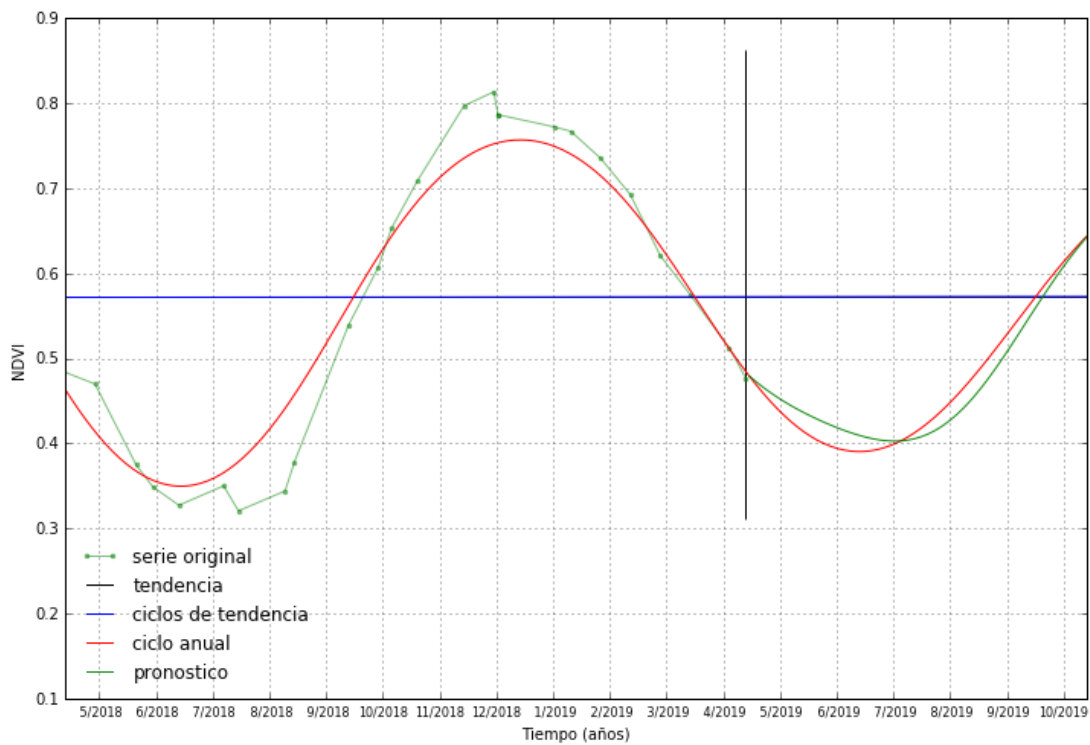


Fig. 14. Prospectiva de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #4, zona centro-oeste.



Tendencia cíclica: Sin cambios. La tendencia y la amplitud del ciclo anual se mantuvieron totalmente estable durante todo el período. Los valores estivales de los últimos dos años se ubicaron un 7% por encima al de los años 2013, 2014 y 2016 (Fig.13). La proyección para la primavera se ubica en torno a los valores promedio de los últimos años (Fig. 14).

#### #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.

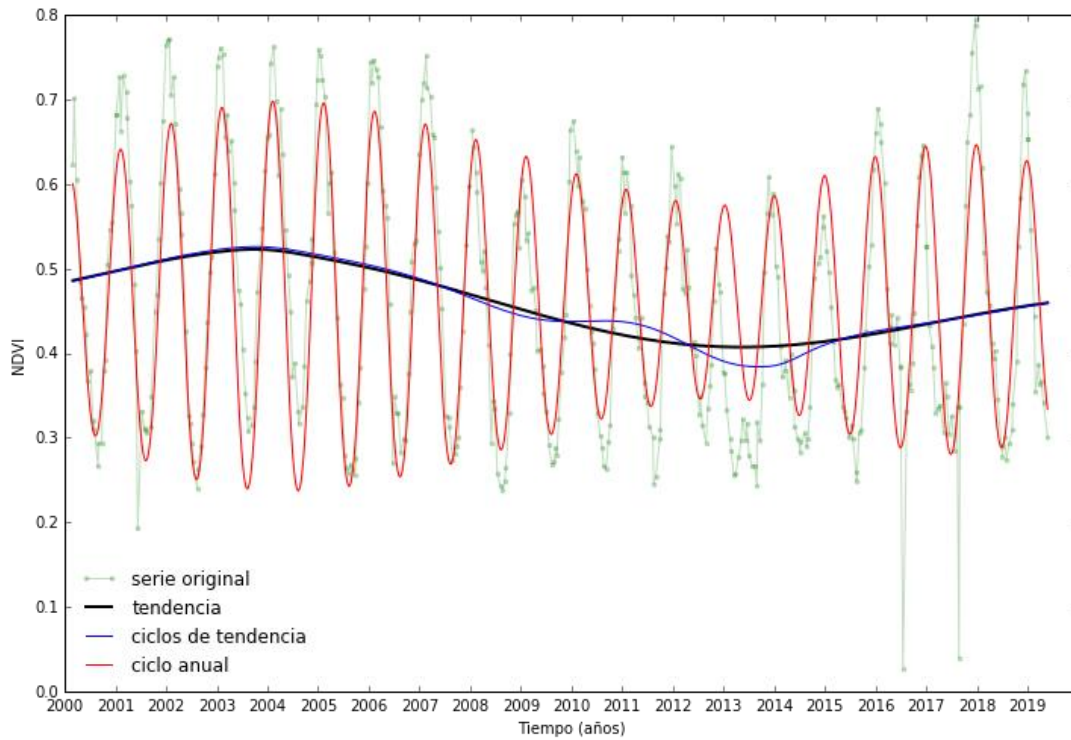


Fig. 15. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #5, zona centro-oeste.

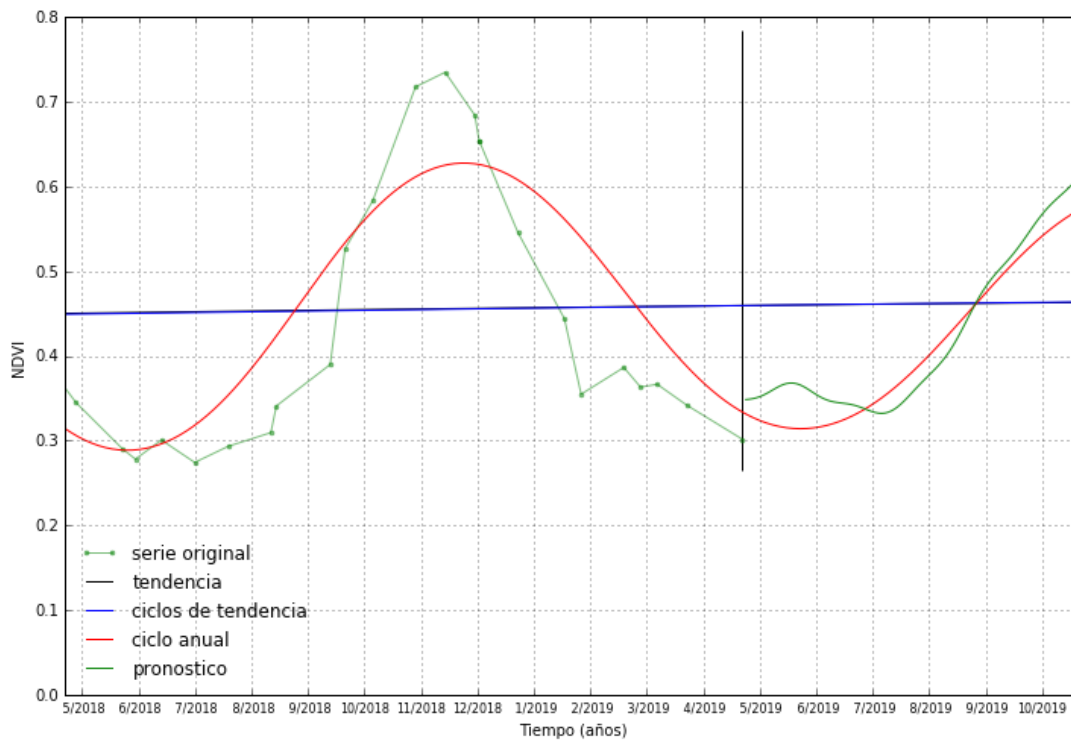


Fig. 16. Prospectiva de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #5, zona centro-oeste.

Tendencia cíclica: Fase negativa > Recuperación inicial. La tendencia osciló entre un máximo en el año 2003 hacia un mínimo en el año 2013, recuperando posteriormente entre 2014 y 2019, pero aún con valores menores a los de la década pasada. La amplitud del ciclo anual fue máxima en el período 2003-2004, disminuyendo a valores mínimos entre 2012-2013, ampliándose levemente de nuevo con posterioridad, en conjunción con el incremento de la tendencia. Los valores estivales de los últimos dos años se ubicaron en torno a los máximos registrados también entre 2001-2006, aunque un 18% por encima de los valores entre 2012-2015. Los menores valores estivales correspondieron al año 2012-2013 (Fig. 15). La proyección para la primavera se ubica en torno a los valores promedio de los últimos años, levemente por encima para el mes de octubre (Fig. 16).

#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.

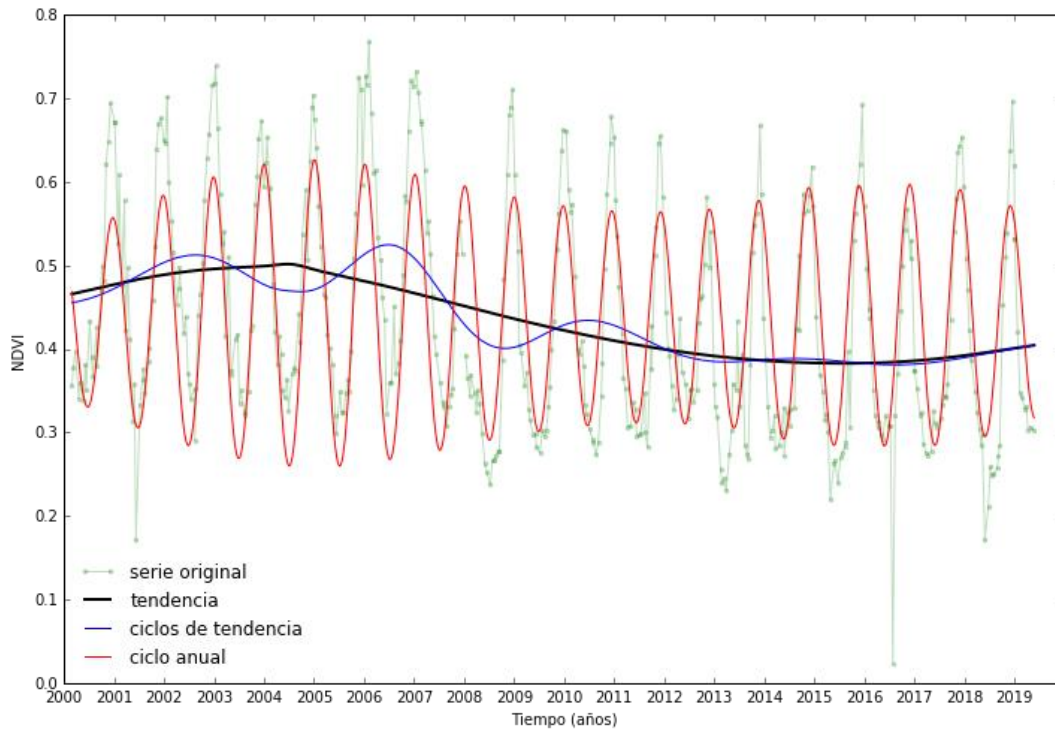


Fig. 17. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #6, zona centro-oeste.

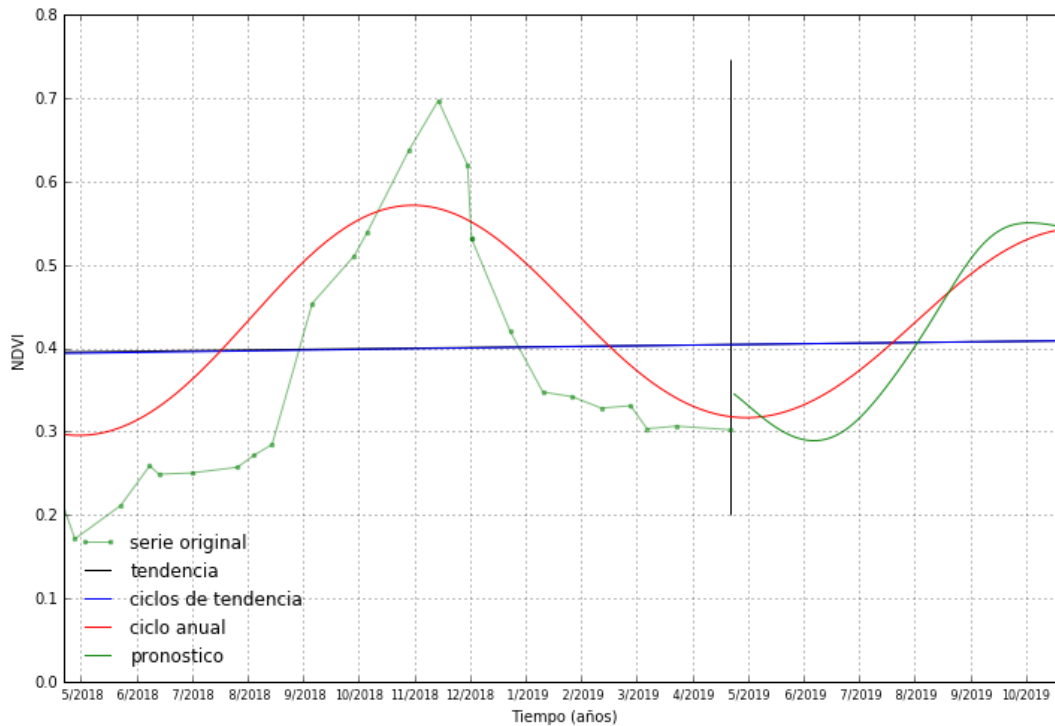


Fig. 18. Prospectiva de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #6, zona centro-oeste.



Tendencia cíclica: Fase negativa > Recuperación inicial. La tendencia osciló entre un máximo en el año 2004 hacia un mínimo en el año 2016, recuperando posteriormente entre 2017 y 2019, pero aún con valores menores a los de la década pasada. La amplitud del ciclo anual fue máxima en el período 2004-2005, disminuyendo a valores mínimos entre 2011-2012, ampliándose levemente de nuevo con posterioridad (pero sin alcanzar los máximos de la serie), en conjunción con el incremento de la tendencia. Los valores estivales de los últimos tres años vienen en crecimiento, ubicándose el último año un 7% por debajo que los registrados entre 2002-2006. Los menores valores estivales se registraron en el año 2012 (Fig. 17). La proyección para la primavera se ubica en torno a los valores promedio de los últimos años (Fig. 18).

#### #7-NORTE, Ñorquín. Mallín muy húmedo

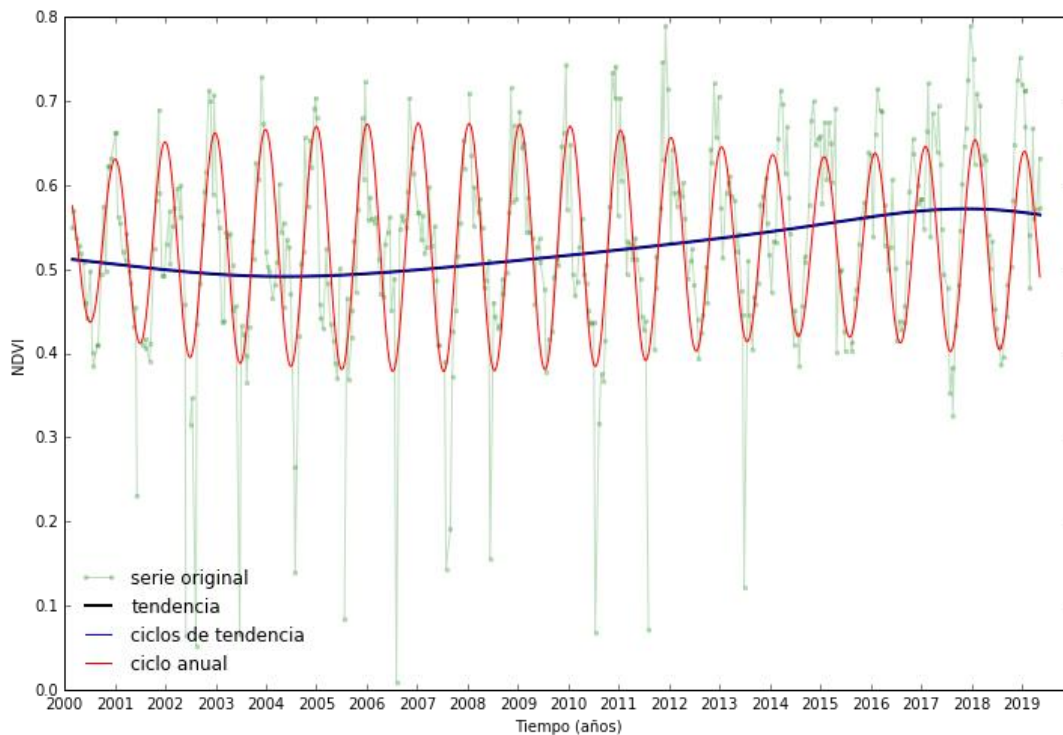


Fig. 19. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #7, zona norte.

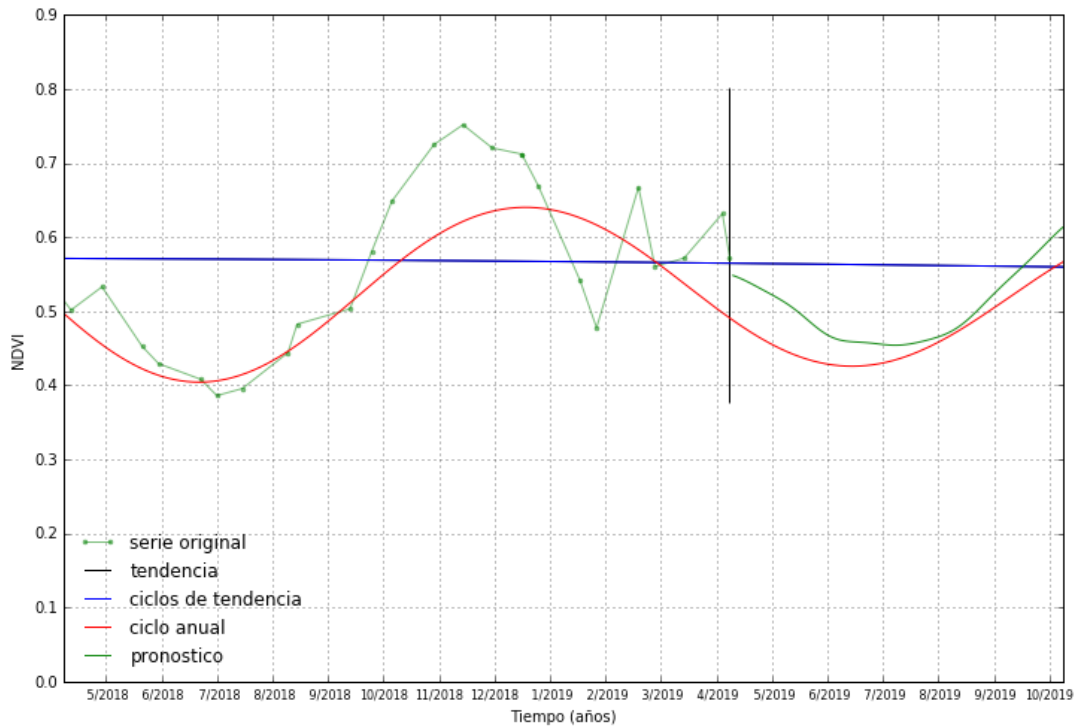


Fig. 20. Prospectiva de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #7, zona norte.

Tendencia cíclica: Fase positiva > Recaída inicial. La tendencia osciló entre un mínimo en el año 2004 hacia un máximo en el año 2017, con un cambio de dirección entre 2018 y 2019, pero aún con valores máximos respecto a toda la serie. La amplitud del ciclo anual fue máxima en el período 2005-2008, disminuyendo a valores mínimos entre 2014-2015, ampliándose muy levemente de nuevo con posterioridad, en conjunción con el incremento de la tendencia. Los valores estivales de los últimos dos años se ubicaron en valores máximos, con 8 a 10% por encima de los registrados entre 2012 y 2017 (Fig. 19). La proyección para la primavera se ubica levemente por encima de los valores promedio de los últimos años (Fig. 20).

#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.

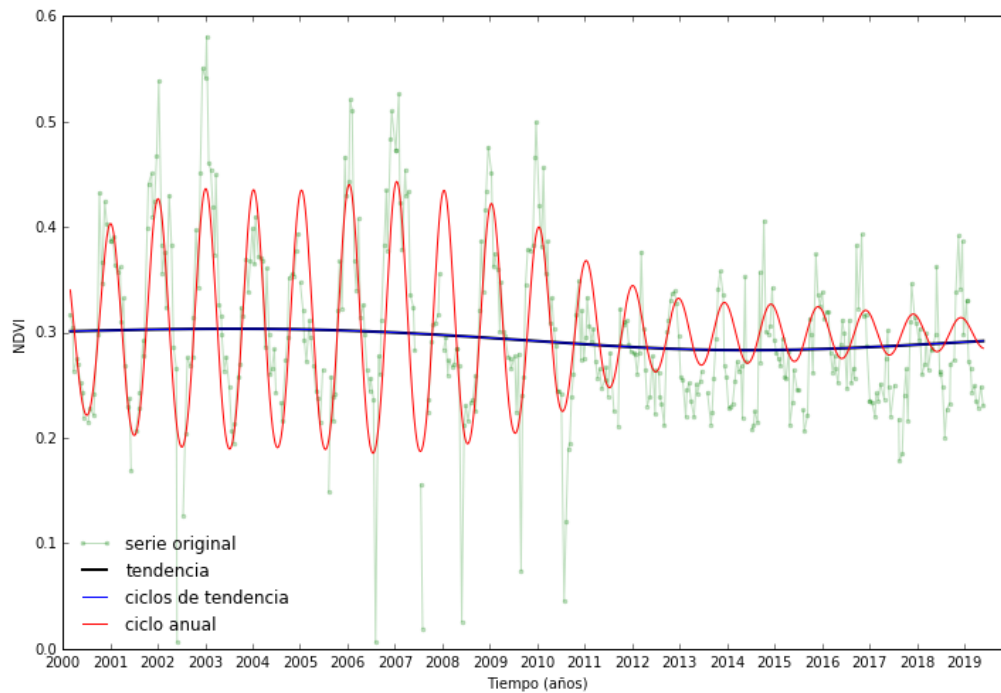


Fig. 21. Prospectiva de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #8, zona norte.

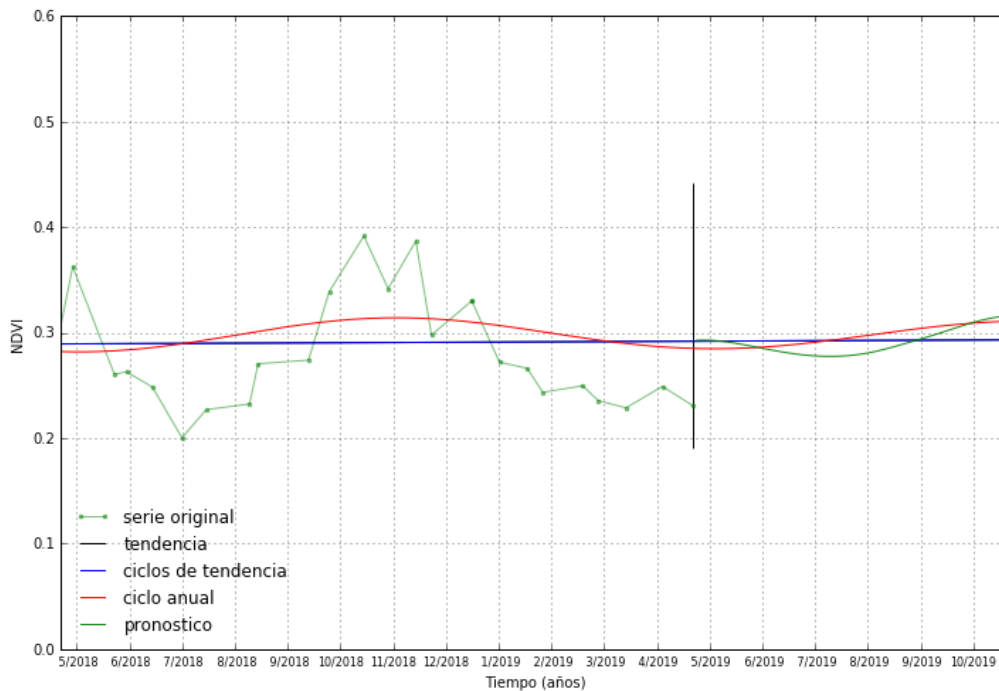
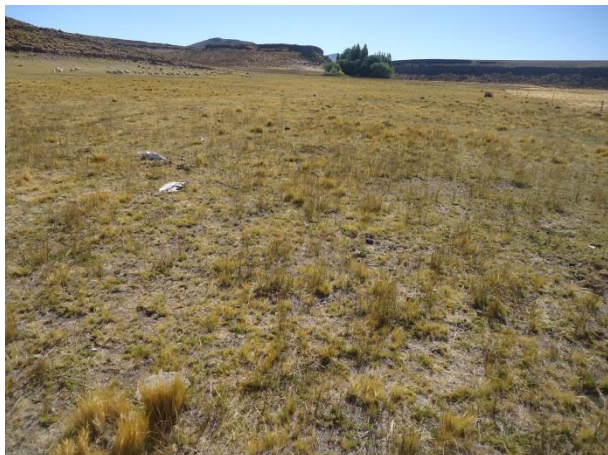


Fig. 22. Prospectiva de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #8, zona norte.

Tendencia cíclica: Sin cambios en la tendencia, pero con cambios significativos en la amplitud del ciclo anual. La tendencia se mantuvo prácticamente estable durante todo el período. Sin embargo, la amplitud del ciclo anual tuvo valores máximos durante 2002-2009, presentando un cambio abrupto en la dinámica anual entre 2010 y 2011, con una reducción de la amplitud anual a prácticamente la mitad entre 2012 y 2019. Los valores estivales de los últimos dos años se ubicaron un 20-25% por debajo al de los años 2006-2010 (Fig. 21). La proyección para la primavera se ubica en torno a los valores promedio de los últimos años (Fig. 22). 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 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.

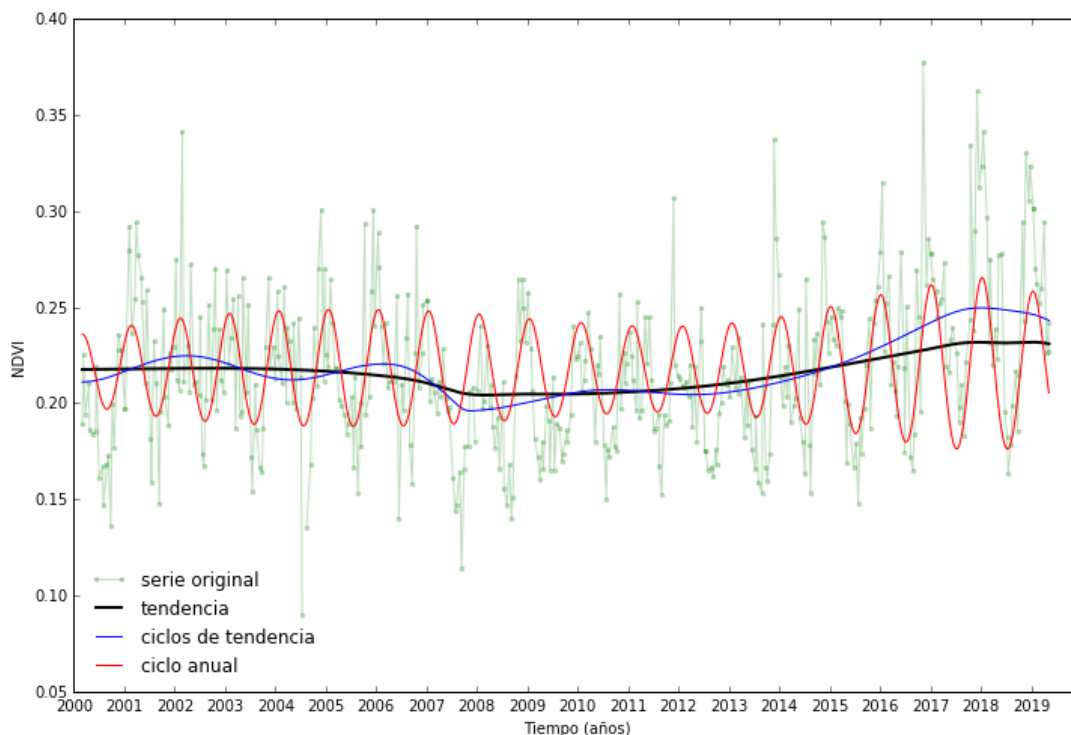


Fig. 23. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #9, zona centro.

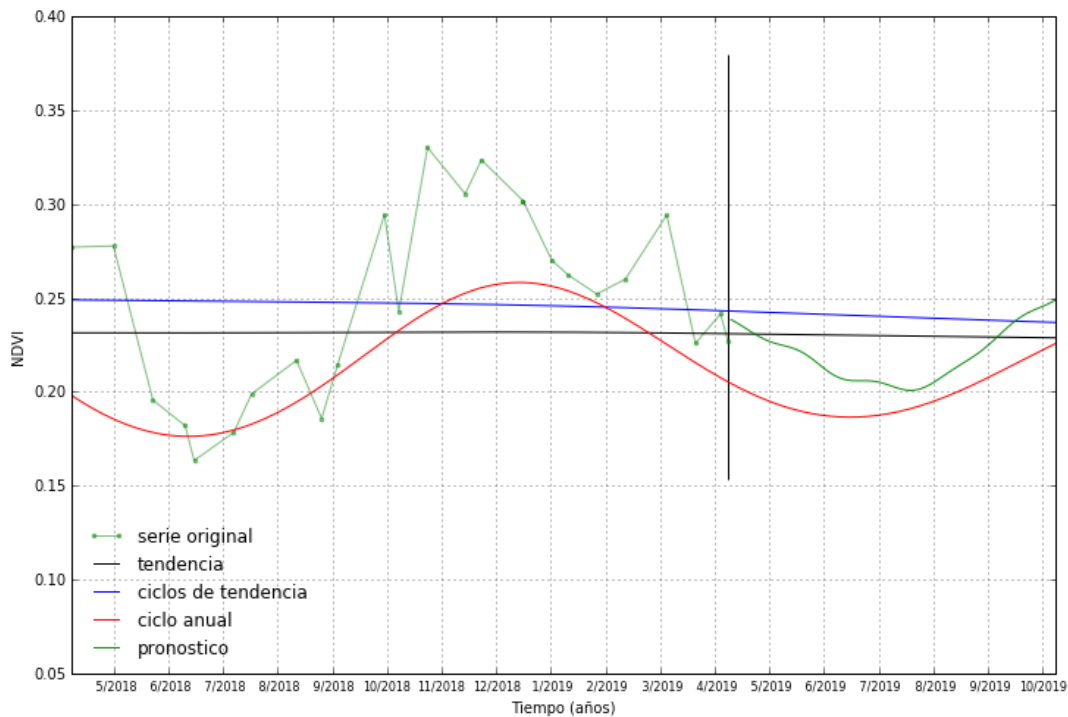


Fig. 24. Prospectiva de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #9, zona centro.

Tendencia cíclica: Fase positiva > Recaída inicial. La tendencia osciló entre un mínimo entre 2007 y 2010 hacia un máximo en el año 2017, con un cambio de dirección entre 2018 y 2019, pero aún con valores máximos respecto a toda la serie. La amplitud del ciclo anual se fue incrementando desde valores menores entre 2010-2013, alcanzando máxima amplitud en el período 2017-2018. Los valores estivales de los últimos tres años se ubicaron en valores máximos de toda la serie, aunque disminuyendo en sus valores pico (Fig. 23). La proyección para la primavera se ubica por encima de los valores promedio de los últimos años (Fig. 24).

#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.

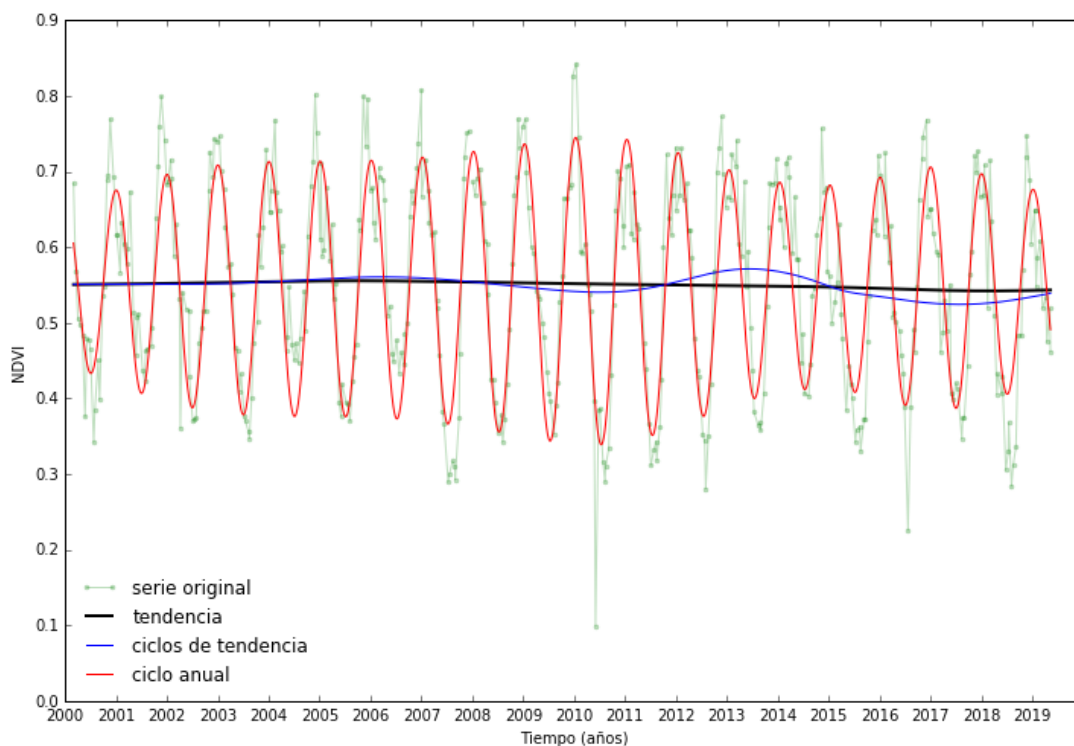


Fig. 25. Dinámica de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #10, zona centro.

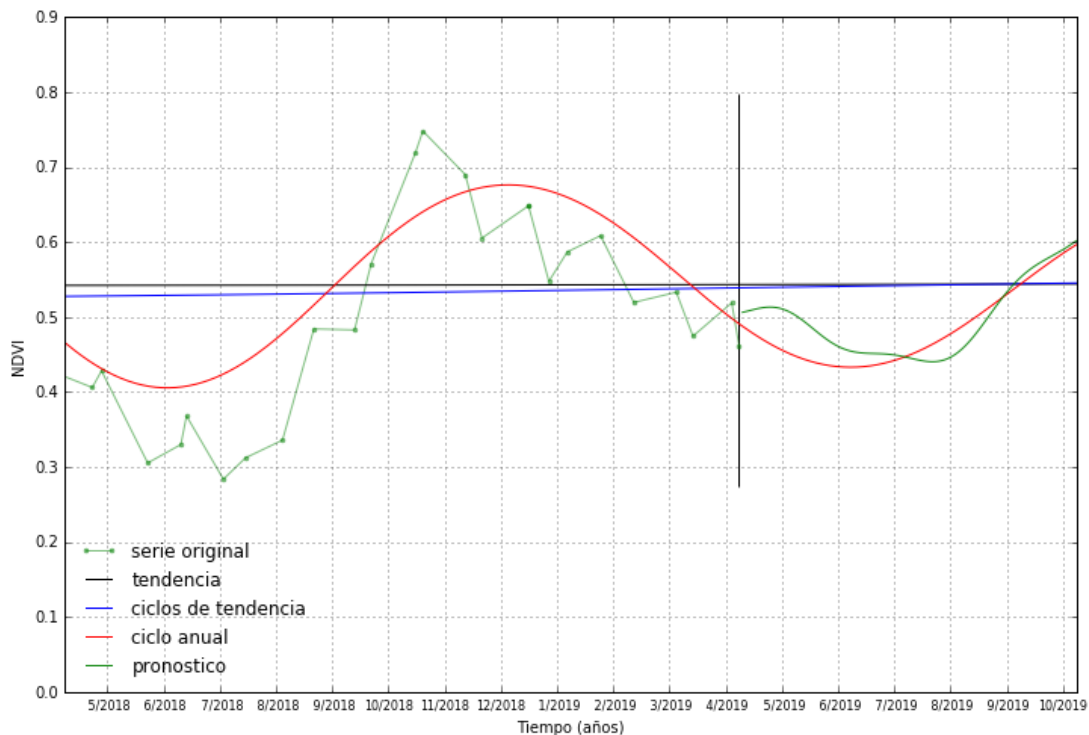


Fig. 26. Prospectiva de la vegetación estimada a través de la serie de NDVI para el píxel #10, zona centro.

Tendencia cíclica: Sin cambios. La tendencia se mantuvo estable durante todo el período. De igual manera, la amplitud del ciclo anual se mantuvo estable, aunque con valores máximos en 2010-2011 y menores en 2014-2015. Los valores estivales de los últimos dos años se ubicaron en niveles similares a los de los últimos 8 años, aunque un 6% por debajo de los registrados entre 2005-2007 (Fig. 25). La proyección para la primavera se ubica en torno a los valores promedio de los últimos años (Fig. 26).

## 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). El ciclo de tendencia 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-junio 2019, como elemento diagnóstico de la dinámica de la productividad de la vegetación en las últimas casi dos décadas. Dicho análisis incluye los siguientes indicadores: i) la Tendencia (movimiento a largo plazo), ii) Ciclo de Tendencia (movimiento a largo plazo, que incluye fluctuaciones de mediano plazo, >4 años; ver clasificación en Fig. 27), iii) Ciclo Anual (cambios estacionales, que ocurren entre invierno y verano; haciendo foco en la amplitud anual entre los valores máximos y mínimos, Fig. 29), iv) fluctuaciones corrientes (datos originales, quitado el ruido; donde enfatizamos la posición de los valores mínimos y máximos respecto del ciclo anual).

Finalmente, se estimó la proyección de valores futuros de NDVI, basado en el cálculo de las derivadas primera y segunda del punto final del Ciclo de Tendencia, denominado Ritmo de Cambio. La información que brinda refiere al signo (positivo, negativo o neutro) y a la tasa de cambio (positiva, negativa o neutra) de dicha función. 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), 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 en el mapa), significa que una caída en los valores de NDVI dominaría la dinámica futura.

La información fue analizada para todo el predio y se presentan mapas con el Ciclo de Tendencia y la proyección de movimiento. Por otro lado, se seleccionaron píxeles representativos de diferentes estaciones de muestreo realizadas a campo, y ubicados en diferentes cuadros del predio y comunidades de vegetación. 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.

La prospectiva de la dinámica de la actividad de la vegetación se realizó para cada píxel de 6,25 ha, incluido en el territorio de la provincia de Neuquén. El software desarrollado para tal fin ejecuta una serie de modelados basados en sofisticados análisis de series temporales, con el objetivo de reconstruir el comportamiento que tuvo el NDVI en el pasado, y con dicha información pronosticar su probable comportamiento a futuro. Nuestros análisis sugieren que con este sistema se pueden obtener predicciones confiables para un horizonte de tiempo de hasta 4 meses. El NDVI es usado como un indicador del nivel de actividad fotosintética, y por ende refleja el comportamiento de la productividad de los pastizales. La información se presenta mediante los valores de anomalías mensuales de NDVI (actualizado a junio de 2019), o sea el valor proyectado como porcentaje relativo positivo o negativo con respecto al promedio estacional para cada píxel. La función pronosticada es también presentada para el segundo semestre de 2019, para los píxeles seleccionados asociados a mallines de diferentes áreas piloto.

#### *Fuente de datos*

Se utilizaron datos de imágenes MODIS (producto MODIS13Q1) para el período temporal 2000-2018 (frecuencia de datos cada 16 días y píxel de resolución espacial de 6,25ha), para la zona en torno al predio de San Ramón. 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 pixel 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 del ciclo de tendencia de NDVI

Se definieron siete clases de Ciclos de Tendencia, estadísticamente significativas, en función de la posición de los máximos y/o mínimos globales de la serie filtrada (Fig. 27). 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. 28).

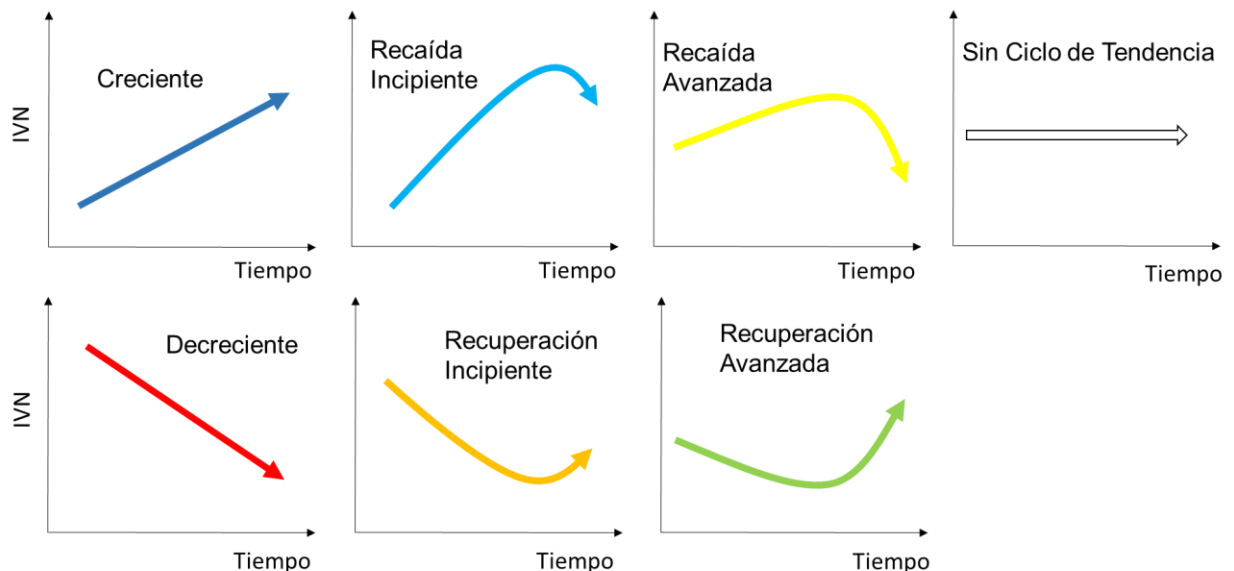


Fig. 27. Clases de Ciclo de Tendencia de NDVI. El color de la flecha identifica el color usado para cada clase en el mapa provincial.

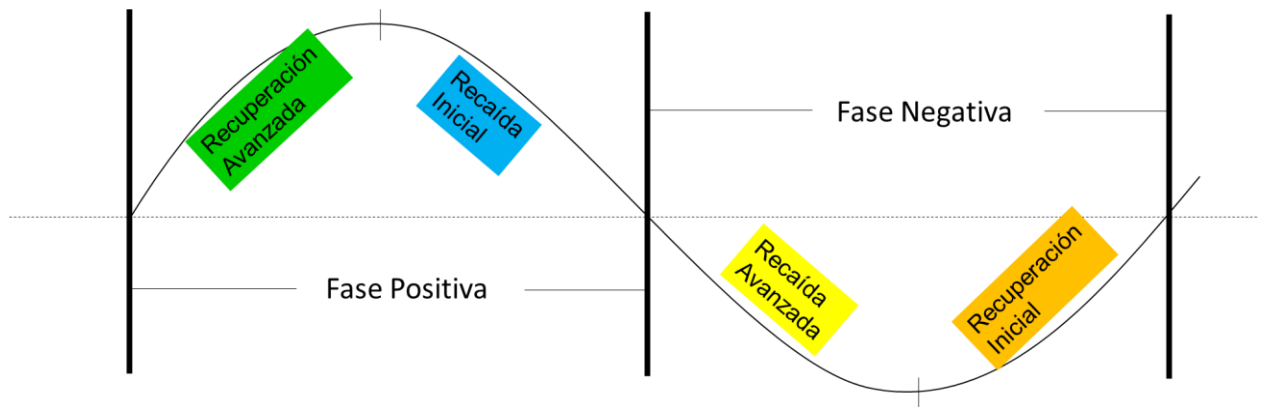


Fig. 28. Fases de Ciclo de Tendencia: Positiva, conformada por Recuperación Avanzada y Recaída Inicial; Negativa, conformada por Recaída avanzada y Recuperación inicial.

*Ritmo de cambio del Ciclo de Tendencia*

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 el Ciclo de Tendencia. 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: 1. Crecimiento acelerado (sentido positivo y con tasa positiva, azul), 2. Crecimiento lento (sentido positivo y con tasa negativa, turquesa), 3. Sin cambios (sentido neutro y tasa de cambio neutro, verde), 4. Declive lento (sentido negativo y con tasa positiva, amarillo), 5. Declive acelerado (sentido negativo y con tasa negativa, rojo) (Fig. 29).

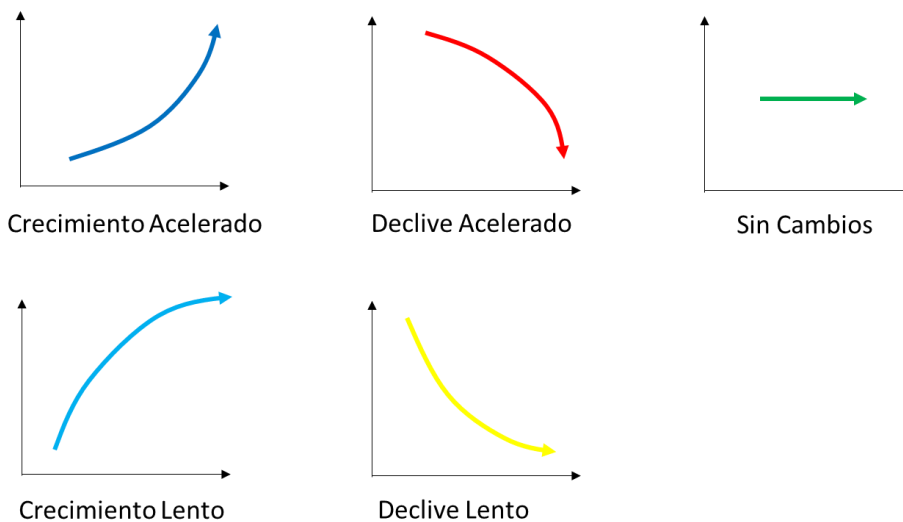


Fig. 29. Clases de Ritmo de Cambio del Ciclo de Tendencias.

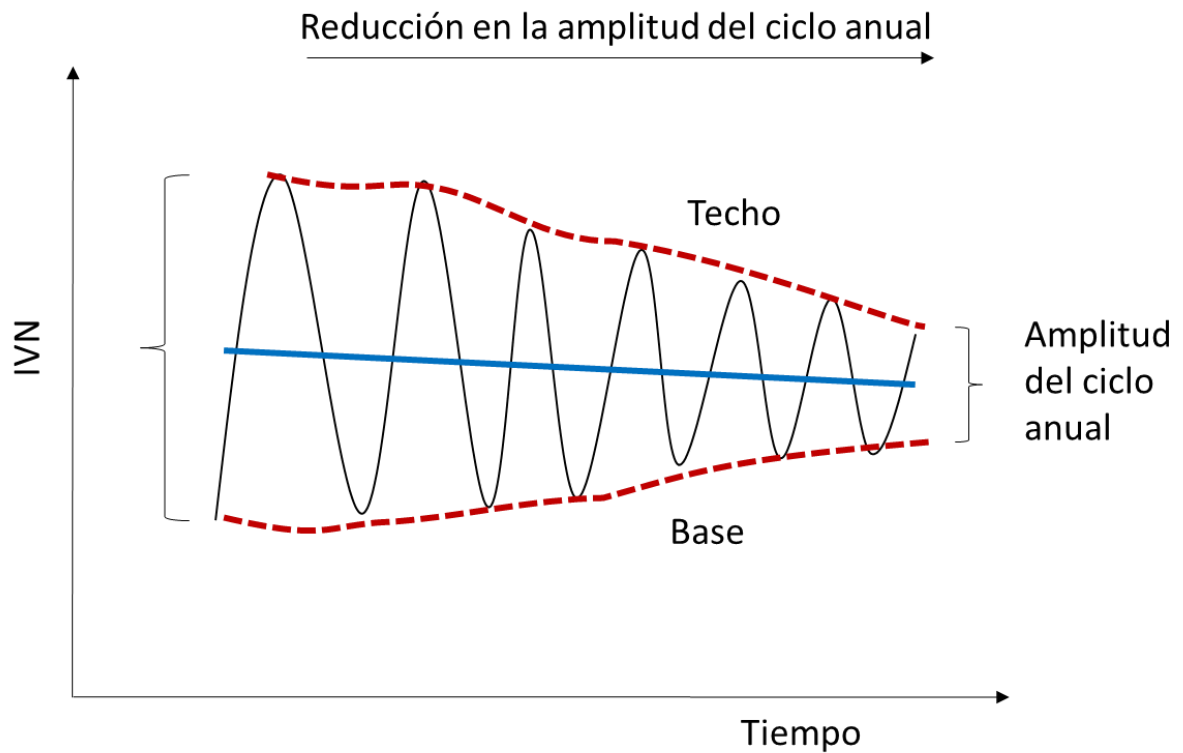


Fig. 30. Ciclo anual de la serie de NDVI, utilizado en la dinámica de píxeles asociados a mallines seleccionados en áreas piloto. Se indica el techo y la base de la amplitud del ciclo anual (líneas punteadas marrones), en un comportamiento de reducción de dicha amplitud con el paso del tiempo. La tendencia 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.
- Easdale, M.H., Bruzzone, O., Mapfumo, P., Tiftonell, P. 2018. Phases or regimes? Revisiting NDVI trends as proxies for land degradation. *Land Degradation & Development* 29, 433-445.
- 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.