

Estado de neutralidad en la degradación de la tierra en el Chaco Salteño entre 2001 y 2018

GISELA S. CORDOBA¹✉; ARANZAZÚ GUEVARA^{1,2}; SILVANA CASTRILLO² & MARÍA C. CAMARDELLI³

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO) CONICET-UNSa. Salta, Argentina. ²Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Sede Regional Orán. Salta, Argentina. ³Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Complejo Universitario Gral. San Martín. Salta, Argentina.

RESUMEN. En el marco de la Agenda 2030 para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el ODS 15 promueve la “Vida en la tierra”, y la Meta 15.3, lograr la neutralidad en la degradación de la tierra (NDT). Este trabajo se centra en la región del Chaco Salteño y en el sitio piloto Chaco Semiárido de la provincia de Salta, Argentina (SPChS). Los objetivos son 1) evaluar el estado de la NDT en la región del Chaco Salteño y en el SPChS entre 2001 y 2018, y 2) determinar las variables estructurales de la vegetación y propiedades físico-químicas del suelo a escala local que puedan usarse para complementar la evaluación de la NDT. Para evaluar el estado de la NDT se calcularon indicadores de cambios en la cobertura del suelo y en la productividad primaria neta aérea (PPNA) en base a mapas de cobertura del Proyecto MapBiomás Chaco - Colección 2.0 y de los productos quincenales de MODIS (MOD 13Q1, anual). Para explorar la relación entre PPNA con las variables de vegetación y suelo se realizó un análisis de correlación. Encontramos que 14.3% de la región del Chaco Salteño experimentó cambios negativos de cobertura y 20.8% de pérdidas en la PPNA asociados principalmente a la transición de áreas con bosque nativo a cultivos. En tanto, en el SPChS, estos cambios representan una baja extensión de la superficie. La PPNA correlacionó significativa y positivamente, en particular, con la cobertura vegetal, la materia orgánica y la estabilidad de agregados, por lo que estas variables podrían usarse como indicadores complementarios para evaluar la NDT a escala local. Finalmente, los resultados presentados constituyen un primer marco de referencia para articular prioridades en la planificación de intervenciones de la NDT en la región del Chaco Salteño, y en particular en el SPChS.

[Palabras clave: tierras secas, Chaco Salteño, degradación de tierras, cobertura del suelo, productividad primaria neta aérea]

ABSTRACT. State of neutrality in land degradation in the Chaco Salteño between 2001 and 2018. Within the framework of the 2030 Agenda for the fulfillment of the Sustainable Development Goals (SDGs), SDG 15 promotes “Life on land”, and Target 15.3 focuses on achieving land degradation neutrality (LDN). This work is focused on the Chaco Salteño region and the semi-arid Chaco pilot site in the province of Salta, Argentina (SPChS). The objectives are 1) to assess the state of LDN in the Chaco Salteño region and in the SPChS between 2001 and 2018, and 2) to determine the structural variables of the vegetation and physical-chemical properties of the soil at a local scale that can be used to complement the LDN evaluation. To evaluate the status of LDN, the indicators of changes in land cover and in aboveground net primary productivity (ANPP) were calculated, based on the coverage maps of the MapBiomás Chaco Project - Collection 2.0 and MODIS biweekly products (MOD 13Q1, annual). To explore the relationship between ANPP with the vegetation and soil variables, a correlation analysis was performed. We found that 14.3% of the Chaco Salteño region experienced negative changes in coverage and 20.8% losses in ANPP associated mainly with the transition from areas with native forests to crops. Meanwhile, in the SPChS, these changes represent a low extension of the surface. The ANPP correlated significantly and positively, in particular, with vegetation cover, organic matter and aggregate stability, so these variables could be used as complementary indicators in the evaluation of LDN at a local scale. Finally, the results of this research constitute a first frame of reference to articulate priorities in the planning of LDN interventions in the Chaco Salteño region, and particularly in the SPChS.

[Keywords: drylands, Chaco Salteño, land degradation, land cover, aboveground net primary productivity]

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de tierras secas ocupan el 41% de la superficie terrestre (Millennium Ecosystem Assessment 2005) y se caracterizan por sus precipitaciones bajas y variables que no compensan las demandas evaporativas impuestas por la intensa radiación solar y las temperaturas extremas (Reynolds et al. 2007). Estos ecosistemas son muy vulnerables a los efectos inducidos por el ser humano, como el cambio climático, el uso de la tierra y las modificaciones de la cubierta terrestre (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

Durante las últimas décadas, los procesos de degradación en las tierras secas aumentaron globalmente, con un total de 10-20% de tierras degradadas que acarrea graves consecuencias tanto para el ambiente como para las comunidades locales (Millennium Ecosystem Assessment 2005; Maestre et al. 2012), sobre todo en sectores rurales (Huber-Sannwald et al. 2012). Frente a este escenario, la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (UNCCD por sus siglas en inglés) adoptó la Agenda 2030 para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En particular, el ODS 15 promueve la “Vida en la tierra”, y la Meta 15.3 se centra en lograr la neutralidad en la degradación de la tierra (NDT) mediante la lucha contra la desertificación y la restauración de tierras y suelos degradados (Cowie et al. 2018). El marco de la NDT, propone un conjunto de indicadores globales para que los países parte informen sobre la proporción de tierra degradada sobre la superficie total de tierra (indicador 15.3.1 de los ODS), en función de los cambios en la cobertura de la tierra, la productividad de la tierra y el *stock* de carbono (Sims et al. 2017). Estos indicadores constituyen medidas indirectas de los factores clave y las variables motrices que reflejan la capacidad de la tierra basada en el capital natural para suministrar los servicios ecosistémicos. Los indicadores globales deben evaluarse haciendo uso de criterios de medición que sean universalmente aplicables, interpretables y cuantificables con los datos disponibles. Se requiere, además, la selección de indicadores a escala nacional o local para complementar los tres indicadores globales propuestos para el monitoreo de la NDT y que provean datos específicos en cada contexto (Orr et al. 2017).

La cobertura del suelo es un buen indicador para detectar cambios tempranos en la

estructura y funcionamiento del ecosistema, evaluar los procesos de degradación y establecer medidas de gestión efectivas y económicamente viables (Gaitán et al. 2015). En tanto, la productividad de la tierra reflejada por la productividad primaria neta aérea (PPNA) refiere a la cantidad neta de carbono asimilada después de la fotosíntesis y la respiración autotrófica durante un período de tiempo determinado. Alteraciones de la PPNA indican cambios en la salud y en la capacidad productiva de la tierra, y refleja los efectos en el funcionamiento de los ecosistemas (Sims et al. 2017). Por su parte, el *stock* de carbono —que se refiere a un depósito de biomasa por encima y por debajo del suelo— refleja el balance entre las ganancias de materia orgánica dependiente de la productividad de las plantas y las prácticas de manejo, y las pérdidas debidas a la descomposición de organismos del suelo y la exportación física a través de la lixiviación (Sims et al. 2017). Este indicador es considerado una variable lenta y sus cambios sólo se perciben en el largo plazo (Viglizzo 2008), por lo que no representaría un buen indicador para detectar cambios tempranos en el funcionamiento de los ecosistemas. Además, es un indicador muy difícil de estimar a distintas escalas y su importancia es totalmente absorbida por la dominancia del indicador PPNA (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable 2018).

Los conjuntos de datos derivados de los sistemas globales de observación de la tierra juegan un papel importante como fuentes de datos oficiales nacionales, particularmente para evaluar los cambios en la PPNA y la dinámica de la cobertura del suelo (Teich et al. 2019). El enfoque más utilizado para caracterizar la PPNA ha sido el uso de curvas estacionales de índices de vegetación espectral como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por su sigla en inglés) (Volante et al. 2012; Gaitán et al. 2013). Sin embargo, los datos derivados de los sistemas globales de observación de la tierra deben complementarse con indicadores a escala nacional o local (Orr et al. 2017). En la Argentina, investigaciones destacan que la metodología basada en índices de sensores remotos podría formar parte de un sistema de monitoreo de la degradación de las tierras a escala nacional, metodología que debería complementarse con indicadores medidos a campo (Gaitán et al. 2015) y con conocimiento experto (Teich et al. 2019). En este sentido, los estudios de campo son necesarios

para complementar la interpretación y extrapolación de imágenes satelitales al proporcionar datos para calibrar modelos empíricos que relacionen la estructura de la vegetación y funcionalidad del ecosistema con datos de teledetección (Gaitán et al. 2013). La estructura de la vegetación —que gobierna los patrones del entorno físico—, la actividad de los organismos y los procesos del ecosistema (Chapin et al. 2011) son tan importantes como el clima para explicar la funcionalidad del ecosistema en las tierras secas (Gaitán et al. 2014). Existen antecedentes sobre la relación entre la PPNA, medida a través del NDVI, y caracteres estructurales de la vegetación nativa (Gillespie et al. 2006; Gaitán et al. 2014), así como PPNA y propiedades físico-químicas de los suelos (Gómez and Gallopín 1991), y se conoce la tasa y magnitud de la PPNA en el Chaco seco asociado a distintas intervenciones productivas (Rueda et al. 2013; Baldassini and Paruelo 2020). Estas relaciones no fueron analizadas a escala local, y se encuentra poca información respecto a cambios en la PPNA y cobertura, variables estructurales de la vegetación o propiedades físico-químicas del suelo, que resultan de interés para el diseño posterior de políticas de manejo de la tierra que promuevan la NDT.

En este contexto, se estableció un sitio piloto en el Chaco Semiárido (SPChS) de la provincia de Salta. El SPChS corresponde a uno de los 23 sitios del sistema nacional de evaluación y monitoreo de tierras del Observatorio Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación de la República Argentina. El sistema inició sus actividades en el año 2011 con el objetivo de proveer información relativa al estado, tendencias y riesgos de la degradación de tierras en la República Argentina mediante el monitoreo de indicadores biofísicos y socioeconómicos (Therburg et al. 2019), generando datos a nivel local con posibilidades de extrapolación a nivel regional.

La provincia fitogeográfica Chaqueña (Cabrera 1971), y en particular el distrito Chaqueño occidental —donde se ubica la región del Chaco Salteño— atravesaron en los últimos 40 años una fuerte intensificación y expansión de cultivos anuales y ganadería intensiva (Grau et al. 2008) que determinó una de las tasas de transformación de la cobertura terrestre más altas del mundo y afectó atributos funcionales clave del ecosistema (Volante et al. 2012). Esto pone en peligro la sustentabilidad de la producción y el nivel de provisión de

servicios ecosistémicos intermedios tales como la diversidad de las especies, la regulación hídrica y la captura de carbono (Volante 2014), y es una de las principales causas del desplazamiento de los habitantes tradicionales (Toledo López and Schmidt 2019).

En este marco se establecieron los siguientes objetivos para este trabajo: 1) evaluar el estado de la NDT en la región del Chaco Salteño y en el SPChS entre 2001 y 2018, y 2) determinar las variables estructurales de la vegetación y propiedades físico-químicas del suelo a escala local que puedan usarse para complementar la evaluación de la NDT.

Nos planteamos las siguientes hipótesis: 1) la región bajo estudio presenta una importante proporción de tierras degradadas cuantificadas a través de cambios en la cobertura del suelo y en la PPNA, atribuibles a los distintos tipos de usos del suelo implementados, y 2) la relación entre la PPNA, variables estructurales de la vegetación y propiedades físico-químicas del suelo permite su uso como indicadores complementarios en la evaluación de la NDT.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio es la región del Chaco Salteño, particularmente el sitio piloto Chaco Semiárido (SPChS), que cubre ~3114.5 km² (Figura 1). Presenta un clima semiárido con precipitaciones concentradas en verano y parte del otoño (diciembre a abril) con un promedio de 629±165 mm/año y temperaturas anuales de 21 °C (15 a 28 °C) (Bianchi et al. 2005).

Desde el punto de vista geológico, el sitio piloto se ubica en el sector norte de la Provincia Geológica Llanura Chaco-pampeana (Russo et al. 1979), que constituye una amplia cuenca de sedimentación con una cubierta superior formada por depósitos de loess, limo, arena y arcilla (Nadir and Chafatinos 1990). En la parte norte de este territorio, los suelos dominantes tienen textura franca, en correspondencia con el orden de los Molisoles (Haplustoles típicos). En el centro y sur, los suelos dominantes tienen textura fina, asociados principalmente al orden Alfisoles (Natracualfes típicos). Por último, en algunos sectores se encuentran suelos pertenecientes al orden Entisoles (Ustifluventes típicos) (United States Department of Agriculture 1999). El sitio piloto está cubierto de bosques xerofíticos, coincidiendo con el

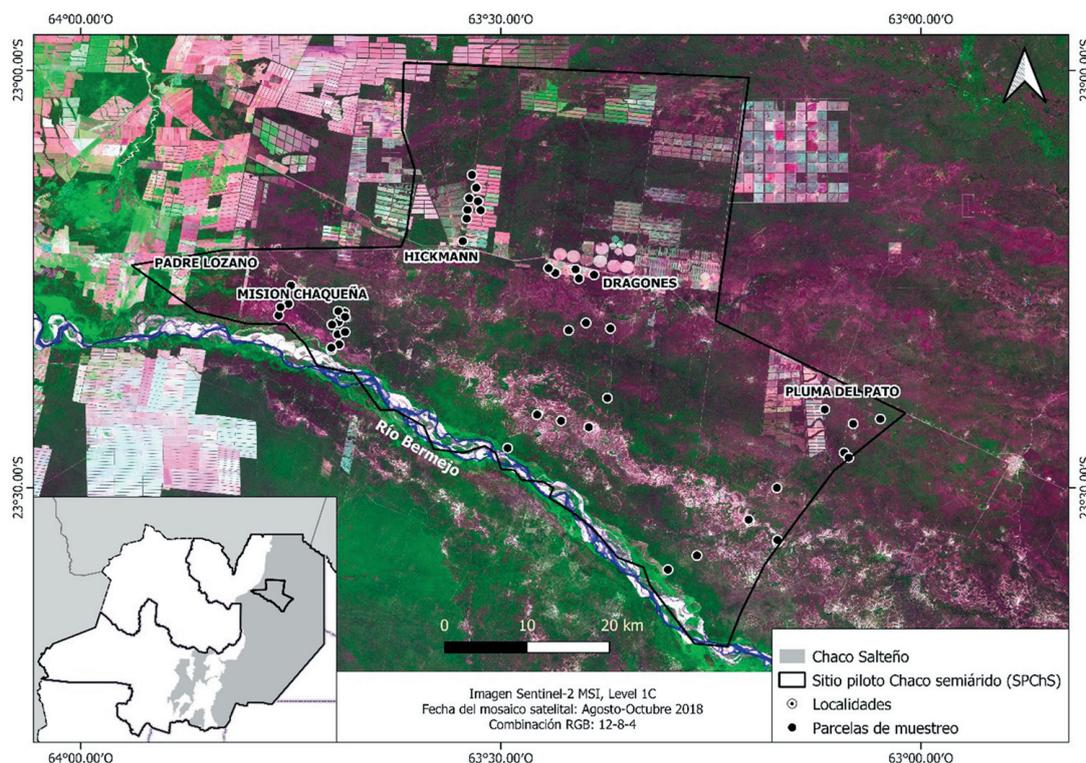


Figura 1. Área de estudio (polígono negro) del sitio piloto Chaco Semiárido (SPChS) de la provincia de Salta, perteneciente al Observatorio Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación de la República Argentina. Los puntos negros corresponden a las parcelas de muestreo sobre las cuales se recopiló información de la estructura de la vegetación y propiedades físico-químicas del suelo.

Figure 1. Study area (black polygon) of the Semi-arid Chaco pilot site (SPChS) in the province of Salta, of the National Observatory of Land Degradation and Desertification in the Argentine Republic. The black points correspond to sample plots where data on vegetation structure and physico-chemical properties of the soil were collected.

distrito fitogeográfico Chaqueño occidental (Cabrera 1971). Las comunidades de plantas están dominadas por especies arbóreas de *Schinopsis lorentzii* (Griseb.) Engl. (quebracho colorado) y *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht (quebracho blanco) en asociación con otras especies como *Prosopis alba* Griseb. var. *alba* (algarrobo blanco), *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron. var. *nigra* (algarrobo negro), *Libidibia paraguariensis* (D. Parodi) G.P. Lewis (guayacán) y *Sarcomphalus mistol* (Griseb.) Hauenschild (mistol). Además, hay presencia de un denso estrato inferior de arbustos dominado por *Salta triflora* (Griseb.) Adr. Sánchez (duraznillo) y otras especies como *Mimozyanthus carinatus* (Griseb.) Burkart (escayante), *Anisocapparis speciosa* (Griseb.) X. Cornejo and H.H. Iltis (bola verde) y *Castela coccinea* Griseb. (mistol del zorro o meloncillo) (Camardelli et al. 2021).

Tradicionalmente, los usos dominantes del suelo en la región fueron la agricultura de subsistencia y los sistemas de ganadería

extensiva (Grau et al. 2008) practicada por campesinos criollos. A comienzo del nuevo siglo se constata el avance de la frontera agropecuaria capitalista sobre los bosques nativos y sobre los sistemas de ganadería extensiva (Grau et al. 2008; Macchi et al. 2013). En la actualidad, en el sector bajo análisis encontramos sistemas campesinos dedicados a la ganadería extensiva en áreas con bosque nativo y sistemas ganaderos capitalizados en sitios desmontados y cubiertos por pasturas exóticas. En el territorio habitan también familias originarias de la etnia Wichí, agrupadas por lo general en los poblados (Córdoba and Camardelli 2019). Los sistemas de ganadería extensiva tienen como objetivo la cría de ganado vacuno, caprino, ovino y porcino para el autoconsumo y para el mercado local y regional, se realizan 'a campo abierto', sin alambrados, donde el ganado depende sólo del aporte de forrajes nativos provisto por el bosque chaqueño (Camardelli 2005). En este contexto, la estación seca (mayo a octubre, pudiendo extenderse hasta noviembre) es la

época más crítica para la producción en la zona debido a que el ganado se encuentra debilitado por la escasez de forrajes y la falta de agua. En los sistemas ganaderos capitalizados se reemplaza el bosque nativo por pasturas exóticas (*Megathyrus maximus* var. *maximus*, *Cenchrus ciliaris* L., *Chloris gayana* Kunth) para la producción bovina (Kunst et al. 2014; Baldassini et al. 2018). Para ello, se utilizan diferentes técnicas de desmonte, incluyendo la remoción total o parcial de la cubierta arbórea, arbustiva y sub-arbustiva del bosque chaqueño (Kunst et al. 2016; Rejžek et al. 2017). Es común encontrar fuertes procesos de invasión de arbustos en potreros que han sido desmontados (Córdoba and Camardelli 2019).

Indicadores de cambios en la cobertura del suelo y en la PPNA entre 2001 y 2018

Para evaluar el estado de la NDT en la región del Chaco Salteño y en el SPChS entre 2001 y 2018 se utilizaron los indicadores de cambios en la cobertura del suelo y en la PPNA. Para el cálculo de los indicadores se utilizó la herramienta Trends.Earth (Conservation International Trends.Earth 2021) disponible en el *software* QGIS 3.10.6, de acceso libre. La unidad de medida de los indicadores es la extensión espacial (hectáreas) y proporción (porcentaje) de tierras con cambios negativos, positivos o sin cambios.

Para determinar los cambios en la cobertura del suelo se utilizaron los mapas de cobertura del Proyecto MapBiomias Chaco - Colección 2.0 correspondiente a los años 2001 y 2018. El Proyecto MapBiomias Chaco ofrece mapas de cobertura y usos del suelo anuales de la serie histórica 2000-2019, producidos a partir de la clasificación píxel a píxel de mosaicos del satélite Landsat con resolución espacial de 30 m. Para el cálculo de los cambios en cobertura,

los mapas de cobertura MapBiomias Chaco de los años 2001 y 2018 fueron reclasificados a 6 clases de cobertura del suelo reportadas por la UNCCD: 1) áreas con árboles (cobertura arbórea cerrada a abierta [$>15\%$] o mosaico de árboles y arbustos [$>50\%$] y cobertura herbácea [$<50\%$]); 2) pastizales (mosaico de árboles, arbustos y herbáceas [$>50\%$], incluye matorrales, praderas y vegetación nativa dispersa [$<15\%$]); 3) cultivos (cultivos herbáceos, leñosos o mixtos); 4) humedales (cobertura arbórea, arbustiva o herbácea inundada o regularmente inundada); 5) tierras sin cobertura (suelos desnudos y áreas con nieve y hielos permanentes), y 6) cuerpos de agua (cursos permanentes de agua [Tabla 1]).

Para el área de estudio se consideraron como cambios negativos a las transiciones de áreas con árboles, pastizales y humedales a cualquier otro tipo de cobertura; por su parte, se consideraron cambios positivos a las transiciones de pastizal y cultivos a áreas con árboles, y de tierras sin cobertura a cualquier otro tipo de cobertura. Por último, se consideraron como situaciones estables a aquellas áreas que en el período de análisis mantuvieron el mismo tipo de cobertura.

Para determinar los cambios en la PPNA entre 2001 y 2018 se utilizó el indicador de trayectoria o tendencia de la PPNA, que mide la tasa de cambio en la productividad a lo largo del tiempo. Para calcular este indicador se utilizaron los productos quincenales de MODIS (MOD 13Q1, anual), con una resolución espacial de 250 m y una resolución temporal de 16 días. A partir de las imágenes disponibles en la herramienta Trends.Earth se calcularon las integrales anuales de NDVI (media anual para simplificar la interpretación de los resultados). Trends.Earth calcula una regresión lineal a nivel de píxel para identificar

Tabla 1. Equivalencia entre las coberturas del Proyecto MapBiomias Chaco y las coberturas reportadas por UNCCD para el cálculo del indicador de cambios en la cobertura del suelo mediante Trends.Earth.

Table 1. Equivalence between land cover of the MapBiomias Chaco Project and land cover reported by UNCCD for the calculation of the indicator of changes in land cover using Trends.Earth.

| Coberturas Proyecto MapBiomias Chaco | Coberturas de la UNCCD |
|--|------------------------|
| Formación forestal leñosa cerrada, abierta y dispersa | Áreas con árboles |
| Pastizal cerrado, abierto y disperso | Pastizal |
| Áreas agropecuarias: pasturas y cultivos | Cultivo |
| Formación forestal leñosa inundable y pastizal inundable | Humedal |
| Área no vegetada | Tierras sin cobertura |
| Cuerpos de agua | Cuerpos de agua |

áreas que experimentan cambios en la PPNA para el período bajo análisis. Luego se aplica una prueba de significancia no paramétrica de Mann-Kendall. Tendencias significativas positivas en PPNA indicarían una mejora potencial en la condición de la tierra, mientras que tendencias significativas negativas, degradación potencial.

Relación entre la PPNA, variables estructurales de la vegetación y propiedades físico-químicas del suelo

Se seleccionaron 50 parcelas de muestreo de 50x50 m en áreas bajo diferentes coberturas y usos del suelo en el SPChS. En cada parcela se recolectó información sobre la estructura de la vegetación y propiedades físico-químicas de los suelos durante octubre-diciembre de 2018. La selección de los sitios muestreados estuvo dirigida por el acceso y las autorizaciones de los propietarios o poseedores de las tierras.

La estructura de la vegetación se analizó a partir de las variables cobertura vegetal, densidad de árboles y área basal de árboles. La cobertura vegetal se registró sobre una línea central de cada parcela, y cada 10 m se estimó de forma visual la proyección de todos los estratos de vegetación sobre el terreno (Camardelli et al. 2021). La densidad de árboles y el área basal de árboles se obtuvieron a partir de un inventario forestal. Se registraron como árboles a las plantas con un tronco leñoso capaces de alcanzar al menos una altura de 5 m en la madurez y 20 cm de diámetro (Food and Agriculture Organization 2020). Se contaron todos los árboles presentes en cada parcela y se midió el diámetro a la altura de pecho (DAP) para calcular la densidad y el área basal, respectivamente (Camardelli et al. 2021).

Dentro de las propiedades físico-químicas de los suelos, analizamos las variables textura fina (% limo+arcilla), materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE) y estabilidad de los agregados. La textura del suelo se define por la proporción relativa de partículas de arena (0.05-2.00 mm), limo (0.002-0.05 mm) y arcilla (<0.002 mm). Esto influye fuertemente en el tipo de suelos que se desarrollan y explica gran parte de la variación regional en el funcionamiento de los ecosistemas (Dominati et al. 2010). La MO define la fertilidad del suelo que sustenta a las plantas con nutrientes, y ejerce la función de la protección del suelo, el control de la erosión, la resistencia a la invasión de malezas y arbustos (Díaz and Cabido 2001; Dominati et al. 2010). La CE mide la salinidad

del suelo que afecta principalmente a suelos de zonas áridas y semiáridas, generando bajos flujos de drenaje que se traducen en perfiles de suelos cargados de sales en profundidad (Jobbágy and Noretto 2015). La estabilidad de los agregados es una medida de la resistencia que los agregados del suelo ofrecen al deterioro causado por factores externos, ya sean climáticos o antrópicos (Quiroga et al. 2018).

En el centro de cada parcela muestreada recolectamos muestras compuestas de los primeros 30 cm del suelo con tres repeticiones siguiendo la metodología propuesta por Santos et al. (2012). Las muestras se analizaron en el laboratorio del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA Estación Experimental Agropecuaria Salta). Las técnicas empleadas para obtener los datos fueron Bouyoucos (textura), micro Walkley-Black (materia orgánica), el método del extracto saturado (conductividad eléctrica) y el método de microtamices (estabilidad de agregados).

Análisis estadístico

Para explorar la relación entre la PPNA, variables estructurales de la vegetación y propiedades físico-químicas del suelo se realizó un análisis de correlación entre todas las variables. Dado que no se cumplió el supuesto de normalidad, se usó el coeficiente de correlación de Spearman (ρ). La variable PPNA se calculó a partir del valor medio de NDVI del año 2018 para cada una de las 50 parcelas de muestreo, utilizando imágenes satelitales Landsat 8 con una resolución espacial de 30 m, lo que resulta pertinente para el análisis a escala local. Las imágenes fueron seleccionadas en el período comprendido entre el 01-01-2018 y el 31-12-2018, desde la plataforma Google Earth Engine; se aplicó un filtro de porcentaje de nubes para seleccionar aquellas que tengan una cobertura nubosa menor al 60%, lo cual resultó en un producto compuesto por 15 imágenes satelitales. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el *software* Infostat (Di Rienzo et al. 2019).

RESULTADOS

Cambios en la cobertura del suelo y en la PPNA entre 2001 y 2018 en el Chaco Salteño y en el SPChS

El indicador de cobertura del suelo arrojó que un 14.3% del Chaco Salteño ha experimentado

cambios negativos entre 2001 y 2018, y un 2.1% de cambios positivos; mientras tanto, el 83.6% del territorio no experimentó cambios en la cobertura del suelo (Figura 2a). Los cambios negativos de cobertura —donde la vegetación nativa (área con árboles) fue reemplazada por cultivos— resultaron en un 12.7% (941304 ha) de la superficie cultivada entre 2001 y 2018 (Tabla 2). A su vez, se constató un 0.9% de cambios positivos de cobertura en sitios que experimentaron la transición de áreas con cultivos a áreas con árboles y pastizales. También se observó un 0.5% de cambios positivos asociados a la transición de tierras sin cobertura a áreas con árboles, pastizales, cultivos y humedales (Tabla 2). Por otro lado, se observó un 0.2% de cambios negativos asociados a la pérdida de humedales (Tabla 2). La categoría que experimentó la menor proporción de cambios de cobertura del suelo entre 2001 y 2018 corresponde a áreas con árboles equivalente a un 74.4% (5536840 ha) de la región del Chaco Salteño que aún conserva superficie con bosques nativos (Tabla 2). En particular para el SPChS, el indicador de cobertura del suelo arrojó que un 6.4% experimentó cambios negativos entre 2001 y 2018, y un 3.0% de cambios positivos; mientras tanto, el 90.2% del territorio no experimentó cambios en la cobertura del suelo (Figura 2a).

El indicador de PPNA arrojó que el 20.8% del Chaco Salteño experimentó cambios negativos ($P < 0.05$) entre 2001 y 2018, el 17.1% de cambios positivos ($P < 0.05$), mientras que el 62.1% del territorio no experimentó cambios significativos en la PPNA (Figura 2b). Los cambios negativos en la PPNA resultaron en

un 9.7% (716387 ha) asociados a la transición de la cobertura de área con árboles a cultivos (Tabla 3). A su vez, se constataron cambios negativos en la PPNA en sitios que no experimentaron cambios de cobertura entre 2001 y 2018. Tal es el caso de la categoría de área con árboles, que experimentó un 7.8 % (578501 ha) de cambios negativos en la PPNA (Tabla 3). Por otro lado, los cambios positivos también predominan en áreas con árboles que no experimentaron cambios de cobertura, en el período bajo análisis, pero sí en la PPNA equivalente al 15.0% (1112955 ha) (Tabla 3). En particular para el SPChS, el indicador de PPNA arrojó que un 8.5% de su territorio experimentó cambios negativos ($P < 0.05$) entre 2001 y 2018, un 31.1% cambios positivos ($P < 0.05$), y que el 60.5% no experimentó cambios en la PPNA (Figura 2b).

Relación entre la PPNA, variables estructurales de la vegetación y propiedades físico-químicas del suelo en el SPChS

El SPChS presentó una importante variabilidad en los atributos estructurales y funcionales de la vegetación y propiedades físico-químicas del suelo (Tabla 4). La PPNA, en promedio, presentó un valor de 0.46, con un rango entre 0.27 y 0.58. La cobertura vegetal presentó un valor promedio de 67.3%, con un rango entre 20% y 100%. La densidad de árboles presentó, en promedio, 65 individuos por hectárea, con valores iguales a 0 en parcelas donde se eliminó el estrato arbóreo (áreas de cultivos), alcanzando 175 individuos por hectárea en áreas con árboles. De igual manera, la densidad de árboles tuvo valores de cero en áreas de cultivos y alcanzó 21.19 m²/

Tabla 2. Superficie (ha) con cambios negativos, positivos o sin cambios por tipo de transición de la cobertura del suelo entre 2001 y 2018 en el Chaco Salteño. Cambios negativos (color rojo), cambios positivos (color verde), sin cambios (color natural).

Table 2. Area (ha) with negative changes, positive changes or unchanged by type of land cover transition between 2001 and 2018 in the Chaco Salteño. Negative changes (red color), positive changes (green color), unchanged (natural color).

| | | Cobertura del suelo en el año 2018 | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------|----------|-----------|-----------------------|-----------------|
| | | Área con árboles | Pastizales | Cultivos | Humedales | Tierras sin cobertura | Cuerpos de agua |
| Cobertura del suelo en el año 2001 | Área con árboles | 5,536,840 | 30,888 | 941,304 | 10,458 | 8,895 | 5,636 |
| | Pastizales | 48,658 | 57,494 | 50,330 | 1,128 | 587 | 203 |
| | Cultivos | 64,513 | 4,967 | 573,679 | 710 | 1,362 | 116 |
| | Humedales | 7,910 | 788 | 1,536 | 4,544 | 1,577 | 1,010 |
| | Tierras sin cobertura | 28,960 | 279 | 7,479 | 1,914 | 18,353 | 3,687 |
| | Cuerpos de agua | 6,186 | 59 | 246 | 582 | 2,080 | 15,252 |

Tabla 3. Superficie (ha) de PPNA con cambios negativos, positivos o sin cambios por tipo de transición de la cobertura del suelo entre 2001 y 2018 en el Chaco Salteño. Cambios negativos (color rojo), cambios positivos (color verde), sin cambios (color natural).

Table 3. Area (ha) of ANPP with negative changes, positive changes or unchanged by type of land cover transition between 2001 and 2018 in the Chaco Salteño. Negative changes (red color), positive changes (green color), unchanged (natural color).

| | | Cobertura del suelo en el año 2018 | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------|----------|-----------|-----------------------|
| | | Área con árboles | Pastizales | Cultivos | Humedales | Tierras sin cobertura |
| Cobertura del suelo en el año 2001 | Áreas con árboles | 1,112,955 | 2,863 | 15,121 | 1,932 | 1,045 |
| | | 3,842,451 | 13,908 | 209,690 | 6,105 | 2,290 |
| | | 578,501 | 14,080 | 716,387 | 2,376 | 5,120 |
| | Pastizales | 19,040 | 17,113 | 4,572 | 505 | 063 |
| | | 26,352 | 39,425 | 32,063 | 571 | 208 |
| | | 3,153 | 643 | 13,687 | 51 | 310 |
| | Cultivos | 17,136 | 1,084 | 45,974 | 238 | 097 |
| | | 36,905 | 3,309 | 351,082 | 407 | 470 |
| | | 10,421 | 572 | 176,489 | 64 | 785 |
| | Humedales | 1,571 | 032 | 103 | 828 | 138 |
| | | 4,850 | 629 | 736 | 3,246 | 364 |
| | | 1,332 | 127 | 695 | 391 | 920 |
| | Tierras sin cobertura | 15,984 | 119 | 1,916 | 1,252 | 4,168 |
| | | 9,051 | 114 | 4,880 | 485 | 6,133 |
| | | 2,816 | 043 | 624 | 113 | 5,579 |

Tabla 4. Resumen de estadísticos descriptivos (media, desvío estándar, mínimo y máximo) de las variables estructurales de la vegetación y propiedades físico-químicas del suelo. Datos colectados en 50 parcelas del SPChS.

Table 4. Summary of descriptive statistics (mean, standard deviation, minimum and maximum) of the structural variables of vegetation and physical-chemical properties of the soil. Collected data in 50 plots of the SPChS.

| Variabes | n | Media | D.E. | Mínimo | Máximo |
|--|----|-------|-------|--------|--------|
| PPNA (integral anual de NDVI) | 50 | 0.46 | 0.07 | 0.27 | 0.58 |
| Cobertura vegetal (%) | 50 | 67.30 | 25.99 | 20 | 100 |
| Densidad de árboles (individuos/ha) | 50 | 65.40 | 49.20 | 0 | 175 |
| Área basal de árboles (m ² /ha) | 50 | 5.79 | 4.83 | 0 | 21.19 |
| Textura fina (%) | 50 | 66.28 | 15.47 | 12 | 90 |
| Materia orgánica (%) | 50 | 3.39 | 1.62 | 0.26 | 7.60 |
| Conductividad eléctrica (mmhos/cm) | 50 | 1.51 | 1.75 | 0.20 | 7.52 |
| Estabilidad de agregados (%) | 50 | 45.94 | 17.23 | 15 | 89 |

Tabla 5. Coeficiente de correlación de Spearman entre PPNA, variables estructurales de la vegetación y propiedades físico-químicas del suelo medidas en 50 parcelas del SPChS.

Table 5. Spearman's correlation coefficient between ANPP, structural variables of vegetation and physical-chemical properties of the soil measured in 50 plots of the SPChS.

| | PPNA | Cobertura vegetal (%) | Densidad de árboles (ind/ha) | Área basal de árboles (m ² /ha) | Textura fina (%) | MO (%) | CE (mmhos/cm) |
|--|---------|-----------------------|------------------------------|--|------------------|---------|---------------|
| PPNA | | | | | | | |
| Cobertura vegetal (%) | 0.68*** | | | | | | |
| Densidad de árboles (ind/ha) | 0.65*** | 0.91*** | | | | | |
| Área basal de árboles (m ² /ha) | 0.6*** | 0.89*** | 0.93*** | | | | |
| Textura fina (%) | -0.02 | 0.13 | 0.12 | 0.16 | | | |
| MO (%) | 0.64*** | 0.71*** | 0.64*** | 0.69*** | 0.27* | | |
| CE (mmhos/cm) | -0.01 | 0.13 | 0.17 | 0.21 | 0.08 | 0.09 | |
| Estabilidad de agregados (%) | 0.36** | 0.48*** | 0.48*** | 0.4*** | -0.31* | 0.44*** | 0.17 |

*P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001

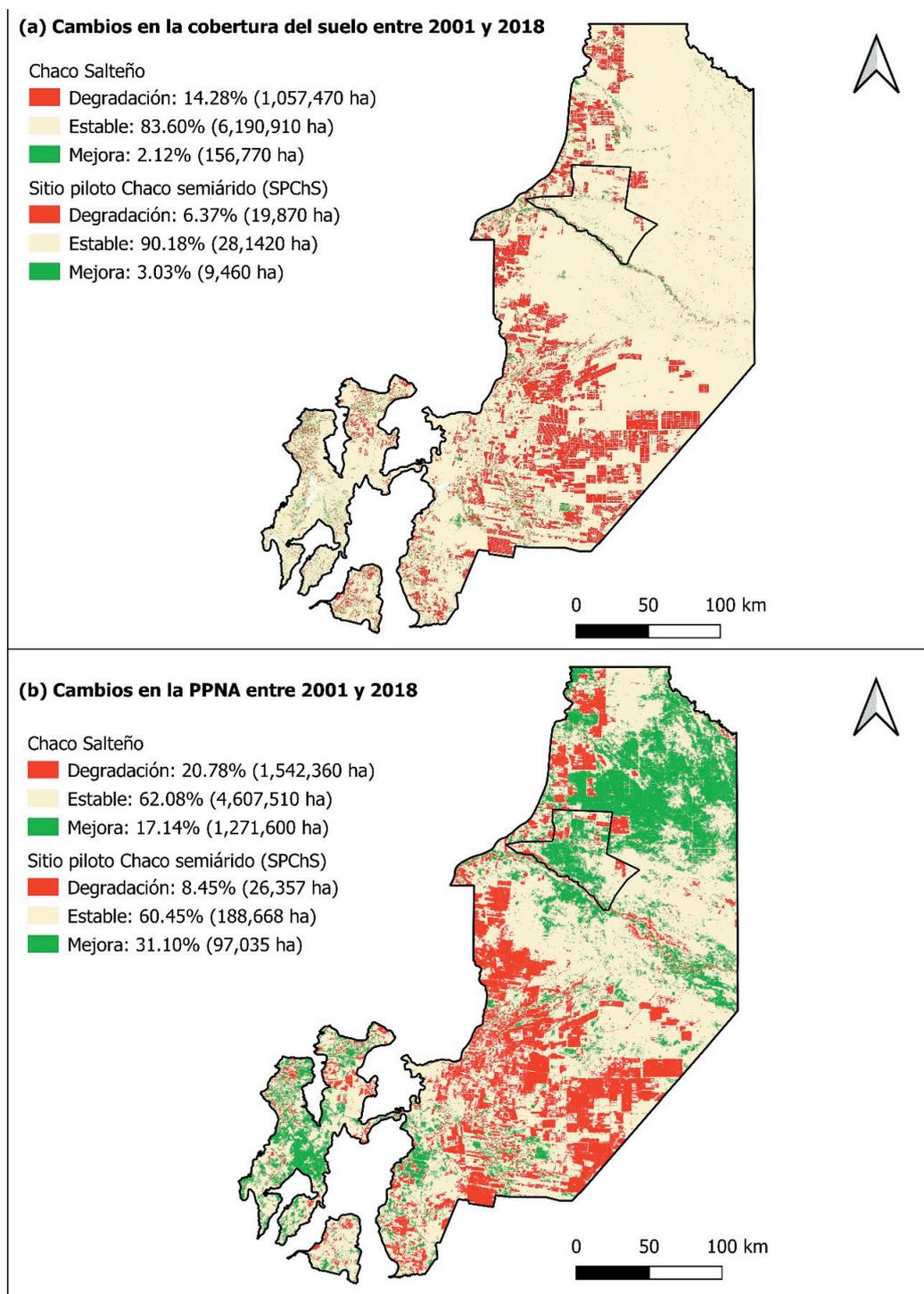


Figura 2. Cambios en la cobertura del suelo (a) y en la PPNA (b) entre 2001 y 2018 en el Chaco Salteño y en el sitio piloto Chaco Semiárido (SPChS) de la provincia de Salta, perteneciente al Observatorio Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación de la República Argentina. Los sectores en color rojo corresponden a cambios negativos (áreas degradadas), en color verde corresponden a cambios positivos (áreas con mejoras) y en color natural a sectores sin cambios (áreas estables).

Figure 2. Changes in land cover (a) and ANPP (b) between 2001 and 2018 in the Chaco Salteño and the Semi-arid Chaco pilot site (SPChS) in the province of Salta, of the National Observatory of Land Degradation and Desertification in the Argentine Republic. Sectors in red correspond to negative changes (degraded areas), sectors in green correspond to positive changes (areas with improvements) and sectors in natural color to unchanged (stable areas).

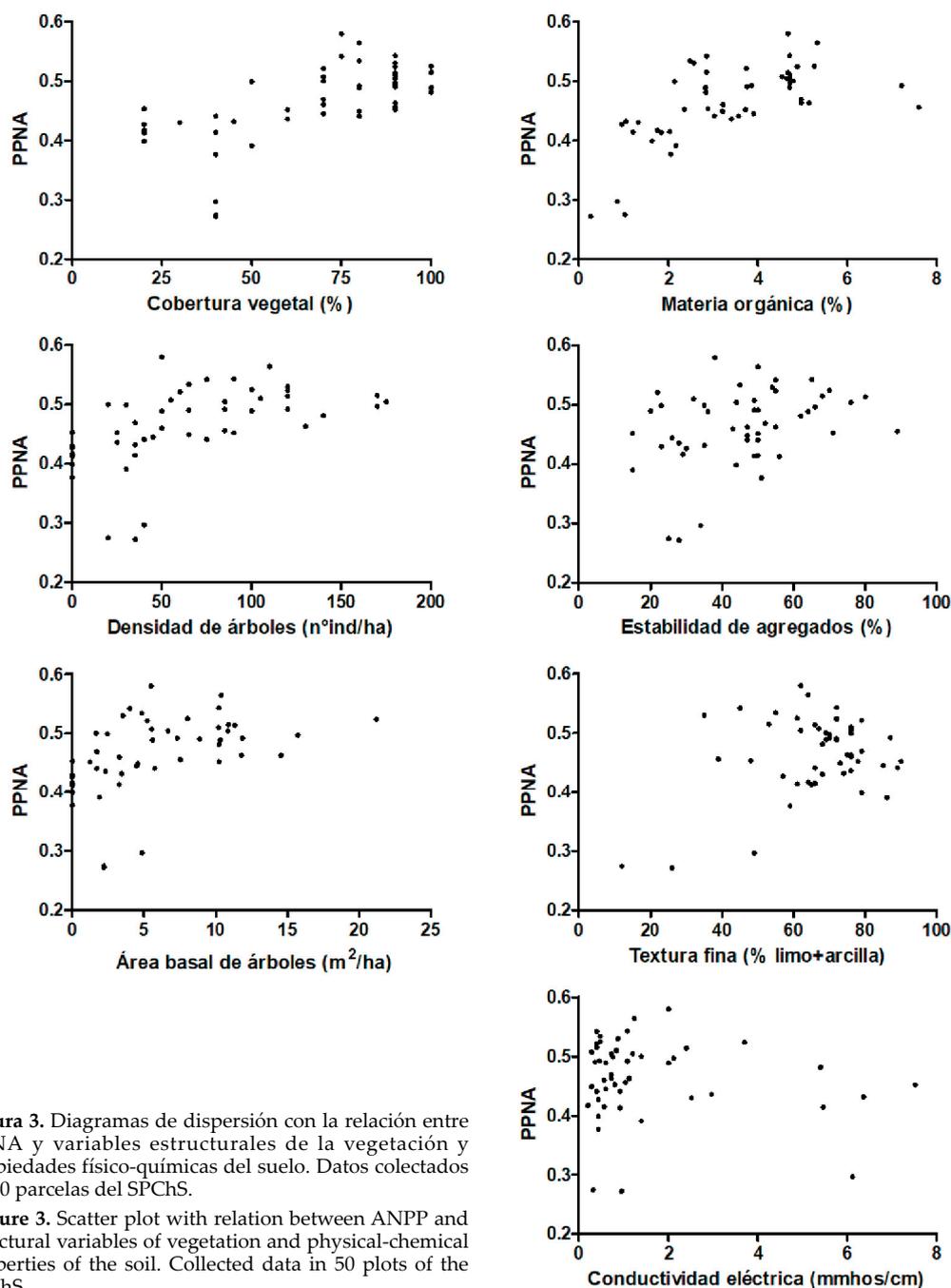


Figura 3. Diagramas de dispersión con la relación entre PPNA y variables estructurales de la vegetación y propiedades físico-químicas del suelo. Datos colectados en 50 parcelas del SPChS.

Figure 3. Scatter plot with relation between ANPP and structural variables of vegetation and physical-chemical properties of the soil. Collected data in 50 plots of the SPChS.

ha en áreas con árboles, con un promedio de 5.79 m²/ha (Tabla 4). Dentro de las propiedades físico-químicas del suelo, la textura fina presentó, en promedio, un 66.3%, asociado al contenido de limo y arcilla, con un rango que osciló entre 12% y 90%. La materia orgánica también presentó una alta variabilidad (entre 0.3% y 7.6%), con un promedio de 3.4%. La conductividad eléctrica, si bien presentó en promedio un valor de 1.51 mmhos/cm², obtuvo valores entre 0.20 y 7.52 mmhos/cm².

Por último, la estabilidad de agregados con un promedio de 45.9% obtuvo valores entre 15% y 89% (Tabla 4).

La PPNA presentó valores altos y positivos de correlación con las variables estructurales de la vegetación (Tabla 5, Figura 3). La máxima correlación fue alcanzada con la cobertura vegetal ($\rho=0.68$), seguida por la densidad de árboles ($\rho=0.65$) y área basal de árboles ($\rho=0.60$), todas con un nivel de significancia

<0.001. Como es de esperar, las variables de vegetación presentaron altos coeficientes de correlación entre ellas, alrededor de 0.90. La materia orgánica del suelo también correlacionó positiva y significativamente con PPNA ($\rho=0.64$, $P<0.001$). Esta variable presentó correlaciones positivas y significativas con las variables estudiadas, tanto de vegetación como de suelo (Tabla 5). La estabilidad de los agregados también presentó correlación positiva y significativa con la PPNA ($\rho=0.36$, $P=0.01$), las variables de vegetación, materia orgánica y textura fina. La textura fina sólo correlacionó de manera significativa con la materia orgánica del suelo y la estabilidad de los agregados. Con materia orgánica la correlación fue positiva ($\rho=0.27$) y con estabilidad de los agregados fue negativa ($\rho=-0.31$).

DISCUSIÓN

Nuestros resultados indican que entre 2001 y 2018, en la región chaqueña de Salta, 1057470 ha cambiaron negativamente su cobertura, sobre todo por la deforestación de áreas con árboles para la agricultura y ganadería, y por otros eventos antrópicos o naturales que originaron pastizales (matorrales) o tierras sin cobertura (suelos desnudos). Para el mismo período y región, el Proyecto de Monitoreo de Deforestación en el Chaco Seco reportó desmontes de 1102497 ha. La diferencia entre ambos trabajos podría atribuirse a que la herramienta Trends.Earth se basa en el análisis de los productos en formato *raster* obtenidos a partir de la clasificación de imágenes, mientras que el Proyecto digitaliza los cambios de cobertura y uso, y los muestra como deforestaciones; sin embargo, según lo que hemos observado, puede tener diversos orígenes. Las pérdidas en la PPNA en el período evaluado también se debieron principalmente a la transición de áreas con árboles a cultivos para la agricultura y ganadería. Investigaciones previas (Volante et al. 2012; Gaitán et al. 2015; Teich et al. 2019; Baldassini and Puelo 2020) reportaron para la Región Chaqueña que las caídas en la PPNA son el resultado de un proceso de cambio del uso del suelo, dominado por el incremento de la superficie agrícola y ganadera con pasturas implantadas, a expensas de ecosistemas nativos. En este caso, se corrobora la hipótesis planteada que relaciona tierras degradadas con el uso del suelo implementado por los sistemas ganaderos basados en la deforestación de la vegetación nativa.

Por otro lado, se constatan cambios positivos en la cobertura del suelo asociados a la transición de cultivos a áreas con árboles y pastizales (matorrales), lo que según los antecedentes debe atribuirse a un proceso de arbustización de leñosas nativas. En el Chaco es común encontrar esta arbustización en potreros que fueron desmontados mecánicamente y sometidos a prácticas periódicas de mantenimiento mediante rolados o aradas. Estos cambios, si bien resultan positivos en cuanto a la recuperación de la cubierta vegetal, no son permanentes debido a las prácticas de re-rolado o quema que practican los productores para controlar el enmalezamiento con leñosas (Córdoba and Camardelli 2019). Estas prácticas promueven aumentos de la densidad aparente de los suelos y caídas en la estabilidad de los agregados (Caruso et al. 2012). También cabe mencionar que estos cambios positivos de cobertura del suelo podrían deberse, en parte, a errores de clasificación aleatorios en las distintas clasificaciones anuales y no a transiciones que ocurrieron realmente. Además, se constatan cambios positivos y negativos en la PPNA en áreas que no experimentaron cambios en la cobertura del suelo entre 2001 y 2018, especialmente en áreas con árboles. Esta situación debería monitorearse en futuras investigaciones para determinar los factores desencadenantes de tales cambios en la PPNA.

En el SPChS, las pérdidas en la cobertura del suelo y en la PPNA representan una baja extensión de la superficie con cambios negativos, en comparación con otras áreas por donde avanza la frontera agropecuaria en la provincia de Salta (Camardelli et al. 2019). Ello debe atribuirse a la baja expansión, hasta la fecha, de los sistemas empresariales que transforman bosques y otras unidades de vegetación nativa en cultivos y pasturas exóticas (Camardelli et al. 2021).

La alta correlación encontrada entre valores de PPNA y variables estructurales de la vegetación y propiedades físico-químicas del suelo en el SPChS permite corroborar nuestra hipótesis de que estas variables se pueden usar como indicadores complementarios en la evaluación de la NDT a escala local. Todas las variables de vegetación presentaron correlación positiva alta y significativa con la PPNA, aunque la que mejor correlacionó fue la cobertura vegetal, explicando un 68% de la variabilidad. La misma es, además, de fácil medición a campo, interpretable y

cuantificable, lo que la convierte en un muy buen indicador para evaluar la NDT (Orr et al. 2017). La densidad de árboles y el área basal de árboles también presentaron una correlación alta y positiva, explicando el 65% y el 60% de la variabilidad, respectivamente, y ambas variables correlacionan en un 90% con la cobertura vegetal. Esto demuestra que en el Chaco la PPNA está relacionada principalmente a la presencia de áreas con árboles (Zerda and Tiedemann 2010; Volante et al. 2012; Benedictto et al. 2019) y pone de relieve la importancia de la conservación de los bosques nativos si se quiere alcanzar la NDT.

Entre las variables físico-químicas del suelo, la materia orgánica arrojó la mejor correlación con la PPNA, explicando el 64% de la variabilidad. Esta variable, a su vez correlaciona fuertemente con las variables de vegetación. Estos resultados coinciden con lo reportado por recientes investigaciones (Li et al. 2018; Zhang et al. 2019) que demuestran una correlación significativa y positiva entre la PPNA y la materia orgánica del suelo. Dado que la materia orgánica está influenciada por la productividad primaria y afectada fuertemente por el uso del suelo (Therburg et al. 2019) podría resultar en un buen indicador para evaluar la NDT y detectar cambios en la calidad del suelo. Otra variable edáfica que presentó buena correlación fue la estabilidad de los agregados que también correlacionó positivamente con las variables de vegetación y materia orgánica, y negativamente con la textura fina del suelo. Esta variable, que

indica la resistencia que los agregados del suelo ofrecen al deterioro y por lo tanto su vulnerabilidad a la erosión (Quiroga et al. 2018), está relacionada tanto con la presencia de materia orgánica del suelo como con la textura del mismo.

Esta investigación, si bien muestra resultados preliminares sobre los cambios en la cobertura del suelo y en la PPNA en el Chaco Salteño, y en particular en el SPChS entre 2001 y 2018, constituye un primer marco de referencia para articular prioridades en la planificación de intervenciones de la NDT. Los sectores con cambios negativos en la cobertura del suelo y en la PPNA nos alertan sobre diversas causas en los procesos de degradación y la necesidad de revertir las áreas degradadas a través de la restauración o rehabilitación. Mientras que, los sectores con cambios positivos y sin cambios, sugieren adoptar medidas de gestión sostenible de la tierra para evitar futuros procesos de degradación. Finalmente, el desafío de alcanzar la NDT implica cambios en las políticas, instituciones y prácticas a partir de enfoques participativos, con el fin de asegurar la provisión de servicios ecosistémicos indispensables para los actores rurales del territorio.

AGRADECIMIENTOS. Agradecemos el apoyo recibido del Observatorio Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación y del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Proyecto Soporte de decisiones para la integración y ampliación del Manejo Sustentable de Tierras GCP/GLO/337/GFF.

REFERENCIAS

- Baldassini, P., C. Despósito, G. Piñeiro, and J. M. Paruelo. 2018. Silvopastoral systems of the Chaco forests: Effects of trees on grass growth. *Journal of arid environments* 156:87-95. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.05.008>.
- Baldassini, P., and J. M. Paruelo. 2020. Sistemas agrícolas y silvopastoriles en el Chaco Semiárido Impactos sobre la productividad primaria. *Ecología Austral* 30(1):045-062. <https://doi.org/10.25260/EA.20.30.1.0.961>.
- Benedictto, M. N., B. Gómez-Valencia, and S. A. Torrella. 2019. Structural and functional characterization of the dry forest in central Argentine Chaco. *Madera y Bosques* 25(2):1-16. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521611>.
- Bianchi, A. R., C. E. Yañez, and L. R. Acuña. 2005. Base de datos mensuales de precipitaciones del Noroeste Argentino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina.
- Cabrera, A. L. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* XIV(1-2): 1-50.
- Camardelli, M. C. 2005. Estrategias Reproductivas y Sustentabilidad de Sistemas Ganaderos Criollos del Chaco Salteño: El caso de los puesteros criollos del Lote Fiscal N° 20 en el Departamento Rivadavia. *Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios* 22(1):57-94.
- Camardelli, M. C., S. M. Pérez de Bianchi, S. Miranda, and N. Salazar. 2019. Cambios de uso del suelo al norte del río Bermejo en la Provincia de Salta: A 10 años desde la sanción de la Ley 26331 de protección de Bosques Nativos. Pp. 135-162 in S. Ataide and M. Faraldo (eds.). *Repensando el Desarrollo Rural en los Territorios del Norte Argentino*. Cartoon S.A., Salta, Argentina.
- Camardelli, M. C., S. Miranda, and G. S. Córdoba. 2021. Cartografía de Unidades Ambientales Homogéneas (UAH): Un insumo para el ordenamiento del bosque chaqueño en Salta. *Ecología Austral* 31:410-430. <https://doi.org/10.25260/EA.21.31.3.0.1245>.

- Caruso, H., M. Camardelli, and S. Miranda. 2012. Efecto del método de desmonte sobre los indicadores de calidad del suelo y la condición de las pasturas en el Chaco semiárido salteño. *AgrisScientia* XXIX(2):99-105.
- Chapin, F. S., P. A. Matson, and P. M. Vitousek. 2011. *Principles of terrestrial ecosystem ecology* Second edition. Springer, New York, USA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9504-9>.
- Conservation International Trends.Earth. 2021. Trends.Earth - Trends.Earth 1.0.7 documentation. URAL: trends.earth/docs/en.
- Córdoba, G. S., and M. C. Camardelli. 2019. Tipos de usos de la tierra en el Chaco Salteño: Consecuencias de las formas de apropiación de los servicios ecosistémicos sobre el Sistema Socio-Ecológico. Pp. 163-192 in S. Ataide and M. Faraldo (eds.). *Repensando el Desarrollo Rural en los Territorios del Norte Argentino*. Cartoon S.A., Salta, Argentina.
- Cowie, A. L., B. J. Orr, V. M. Castillo Sánchez, P. Chasek, N. D. Crossman, et al. 2018. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science and Policy* 79:25-35. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011>.
- Díaz, S., and M. Cabido. 2001. Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution* 16(11):646-655. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02283-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02283-2).
- Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada, et al. 2019. InfoStat versión 2019. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL: infostat.com.ar.
- Dominati, E., M. Patterson, and A. Mackay. 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics* 69(9):1858-1868. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2020. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA). Documento de Trabajo No. 188. FAO, Roma, Italia.
- Gaitán, J. J., D. Bran, G. Oliva, G. Ciari, V. Nakamatsu, et al. 2013. Evaluating the performance of multiple remote sensing indices to predict the spatial variability of ecosystem structure and functioning in Patagonian steppes. *Ecological Indicators* 34:181-191. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.05.007>.
- Gaitán, J. J., G. E. Oliva, D. E. Bran, F. T. Maestre, M. R. Aguiar, et al. 2014. Vegetation structure is as important as climate for explaining ecosystem function across Patagonian rangelands. *Journal of Ecology* 102(6):1419-1428. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12273>.
- Gaitán, J. J., D. Bran, and C. Azcona. 2015. Tendencia del NDVI en el período 2000-2014 como indicador de la degradación de tierras en Argentina: Ventajas y limitaciones. *AgriScientia* 32(2):83-93. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v32.n2.16559>.
- Gillespie, T. W., B. R. Zutta, M. K. Early, and S. Saatchi. 2006. Predicting and quantifying the structure of tropical dry forests in South Florida and the Neotropics using spaceborne imagery. *Global Ecology and Biogeography* 15(3):225-236. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2005.00203.x>.
- Gómez, I. A., and G. C. Gallopin. 1991. Estimación de la productividad primaria neta de ecosistemas terrestres del mundo en relación a factores ambientales. *Ecología Austral* 1(01):024-040. URL: tinyurl.com/4ud2sutn.
- Grau, H. R., N. I. Gasparri, and T. M. Aide. 2008. Balancing food production and nature conservation in the Neotropical dry forests of northern Argentina: Food production and Neotropical dry forests. *Global Change Biology* 14(5):985-997. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01554.x>.
- Huber-Sannwald, E., M. Ribeiro Palacios, J. T. Arredondo Moreno, M. Braasch, R. M. Martínez Pena, et al. 2012. Navigating challenges and opportunities of land degradation and sustainable livelihood development in dryland social-ecological systems: A case study from Mexico. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 367(1606):3158-3177. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0349>.
- Jobbágy, E. G., and M. D. Noretto. 2015. Las napas freáticas superficiales como agente de degradación de suelos. Pp. 287-297 in R. R. Casas and G. F. Albarracín (eds.). *El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina: Tomo I*. FECIC, Buenos Aires, Argentina.
- Kunst, C., R. Ledesma, M. Castañares, M. Cornacchione, H. van Meer, et al. 2014. Yield and growth features of *Panicum maximum* (Jacq.) var *Trichoglume* cv *Petrie* (Green Panic) under woody cover, Chaco region, Argentina. *Agroforestry Systems* 88:157-171. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9663-4>.
- Kunst, C., M. Navall, R. Ledesma, J. Silberman, A. Anríquez, et al. 2016. Silvopastoral Systems in the Western Chaco Region, Argentina. Pp. 63-87 in *Silvopastoral Systems in Southern South America*. Springer, Cham, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24109-8_4.
- Li, X., M. Yu, J. Ma, Z. Luo, F. Chen, et al. 2018. Identifying the Relationship between Soil Properties and Rice Growth for Improving Consolidated Land in the Yangtze River Delta, China. *Sustainability* 10(9):3072. <https://doi.org/10.3390/su10093072>.
- Macchi, L., H. R. Grau, P. V. Zelaya, and S. Marinaro. 2013. Trade-offs between land use intensity and avian biodiversity in the dry Chaco of Argentina: A tale of two gradients. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 174:11-20. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.011>.
- Maestre, F. T., R. Salguero-Gómez, and J. L. Quero. 2012. It is getting hotter in here: Determining and projecting the impacts of global environmental change on drylands. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 367(1606):3062-3075. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0323>.
- Millennium Ecosystem Assessment (ed.). 2005. *Ecosystems and human well-being: Desertification synthesis*. World Resources Institute, Washington, USA.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 2018. Informe: Taller de la Comisión Ad hoc para el Mapeo de Sistemas de Uso de Tierras (LUS) y la Degradación de Tierras (DT). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires, Argentina.

- Nadir, A., and T. Chafatinos. 1990. Los suelos del NOA (Salta y Jujuy), Tomos I, II y III. Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina.
- Orr, B. J., A. L. Cowie, V. M. Castillo Sánchez, P. Chasek, N. D. Crossman, et al. 2017. Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn, Germany.
- Proyecto MapBiomias Chaco - Colección [2.0] de la Serie Anual de Mapas de Cobertura y Uso del Suelo del Chaco. URL: chaco.mapbiomas.org.
- Quiroga, A., R. Fernández, and C. Álvarez. 2018. Análisis y evaluación de propiedades físico hídrica de los suelos. INTA, Argentina. URL: tinyurl.com/3jcu8nr4.
- Rejžek, M., R. D. Coria, C. Kunst, M. Svátek, J. Kvasnica, et al. 2017. To chop or not to chop? Tackling shrub encroachment by roller-chopping preserves woody plant diversity and composition in a dry subtropical forest. *Forest Ecology and Management* 402:29-36. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.032>.
- Reynolds, J. F., F. T. Maestre, P. R. Kemp, D. M. Stafford-Smith, and E. Lambin. 2007. Natural and Human Dimensions of Land Degradation in Drylands: Causes and Consequences. Pp. 247-258 in J. Canadell, D. Pataki and L. F. Pitelka (eds.). *Terrestrial ecosystems in a changing world*. Springer, New York, USA. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32730-1_20.
- Rueda, C. V., G. Baldi, S. R. Verón, and E. G. Jobbágy. 2013. Apropiación humana de la producción primaria en el Chaco Seco. *Ecología Austral* 23(1):44-54. <https://doi.org/10.25260/EA.13.23.1.0.1191>.
- Russo, A., A. Ferello, and G. Chebil. 1979. Llanura Chaco - Pampeana. Pp. 139-184 in Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Santos, D. J., M. G. Wilson, and M. M. Ostinelli. 2012. Metodología de muestreo de suelo y ensayos a campo. *Protocolos básicos comunes: 1ª Edición*. INTA, Paraná, Argentina.
- Sims, N. C., C. Green, G. J. Newnham, J. England, A. Held, et al. 2017. Good Practice Guidance: SDG Indicator 15.3.1. Proportion of land that is degraded over total land area. United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn, Germany. URL: tinyurl.com/2xwzme8j.
- Teich, I., M. González Roglich, M. L. Corso, and C. L. García. 2019. Combining Earth Observations, Cloud Computing, and Expert Knowledge to Inform National Level Degradation Assessments in Support of the 2030 Development Agenda. *Remote Sensing* 11(24):2918. <https://doi.org/10.3390/rs11242918>.
- Therburg, A., M. L. Corso, M. Stamati, C. Bottero, P. Lizana, et al. 2019. Informe Síntesis de Resultados de la Evaluación de la Degradación de Tierras: 2012-2017. Observatorio Nacional de la Degradación de Tierras y Desertificación. SAyDS, CONICET, IADIZA-CONICET, INTA, FAUBA, Buenos Aires, Argentina.
- Toledo López, V. B., and M. A. Schmidt. 2019. Agronegocio en Salta y Santiago del Estero: ¿desarrollo para quiénes? Pp. 251-281 in S. Ataide and M. Faraldo (eds.). *Repensando el Desarrollo Rural en los Territorios del Norte Argentino*. Cartoon S.A., Salta, Argentina.
- United States Department of Agriculture (USDA). 1999. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Soil Survey Staff, Washington, USA.
- Viglizzo, E. F. 2008. Impacto ecológico-ambiental de los cambios en la relación ganadería-agricultura. *Revista Argentina de Producción Animal* 28(2):169-172.
- Volante, J. N., D. Alcaraz-Segura, M. J. Mosciaro, E. F. Viglizzo, and J. M. Paruelo. 2012. Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 154:12-22. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.012>.
- Zerda, H. R., and J. L. Tiedemann. 2010. Dinámica temporal del NDVI del bosque y pastizal natural en el Chaco de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Ambiència* 6(1):13-24.
- Zhang, Y., L. Guo, Y. Chen, T. Shi, M. Luo, et al. 2019. Prediction of Soil Organic Carbon based on Landsat 8 Monthly NDVI Data for the Jiangnan Plain in Hubei Province, China. *Remote Sensing* 11(14):1683. <https://doi.org/10.3390/rs11141683>.