



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 103 (2):
10-17; 2026



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

Av. William Cross 3150
T4101XAC - Las Talitas.
Tucumán, Argentina.

Artículo Científico

*Parte del presente
trabajo expone
resultados
inéditos
correspondientes
a la Tesis
de Maestría
en Gestión
Ambiental,
presentada y
defendida por el
primer autor en el
año 2022.*

Fecha de
recepción:
13/07/2026

Fecha de
aceptación:
17/09/2026

Evaluación de la degradación de tierras mediante indicador ODS y geotecnologías: el caso del departamento Burruyacú, Tucumán

Carreras Baldrés Javier I.*, C. Fandos* y P. Scandaliaris*

*Sección Sensores Remotos y SIG. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC), William Cross 3150 Las Talitas, Tucumán, Argentina. Email: jcarreras@eeaoc.org.ar

RESUMEN

El departamento Burruyacú, Tucumán, ha experimentado una profunda transformación de su paisaje rural debido a la expansión de la frontera agrícola sobre el bosque chaqueño. El objetivo de este trabajo fue evaluar el estado de degradación de las tierras en dicho departamento mediante el indicador 15.3.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), analizando la dinámica ocurrida entre 1987 y 2020. La metodología integró el uso de sensores remotos (Landsat 5 y 8) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para determinar cambios en la cobertura, productividad y contenido de carbono orgánico del suelo. Los resultados indican que el 47,2% de la superficie departamental presentaba algún grado de degradación, concentrándose los niveles más críticos (21,5% de tierras declinantes) en las zonas de llanura por debajo de los 550 m.s.n.m. Se identificó una correlación directa entre el avance del monocultivo de granos en áreas de aptitud marginal y la pérdida de resiliencia del ecosistema. En particular, las comunas de Gobernador Garmendia y 7 de Abril muestran los escenarios más severos de declive temprano. Se concluye que la intensificación del uso del suelo sin criterios de sostenibilidad ha superado la capacidad de acogida del recurso, siendo imperativa la implementación de prácticas agroecológicas y cultivos de cobertura para mitigar los procesos de degradación detectados.

Palabras clave: ODS 15.3.1, Teledetección, SIG, Gestión Ambiental, Suelos.

ABSTRACT

Land degradation assessment using SDG indicators and geotechnologies: the case of Burruyacú department, Tucumán

The Burruyacú department, Tucumán, has undergone a deep transformation of its rural landscape due to the expansion of the agricultural frontier over the Chaco forest. This study aims to evaluate the land degradation status in the region using Sustainable Development Goal (SDG) Indicator 15.3.1, analyzing the dynamics that occurred between 1987 and 2020. The methodology integrated remote sensing (Landsat 5 and 8) and Geographic Information Systems (GIS) to determine changes in land cover, productivity, and soil organic carbon content. The results indicate that 47.2% of the department's surface exhibits some degree of degradation, with the most critical levels (21.5% of declining land) concentrated in the plains below 550 m.a.s.l. A direct correlation was identified between the expansion of grain monoculture in marginal aptitude areas and the loss of ecosystem resilience. Specifically, the districts of Gobernador Garmendia and 7 de Abril show the most severe scenarios of early decline. It is concluded that the intensification of land use without sustainability criteria has exceeded the land's carrying capacity. Therefore, the implementation of agroecological practices and cover crops is imperative to mitigate the detected degradation processes.

Key words: ODS 15.3.1, Remote Sensing, GIS, Environmental Management, Soil.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el Noroeste Argentino (NOA) ha experimentado una transformación drástica de su paisaje rural, caracterizada por el desplazamiento de la frontera agropecuaria sobre ecosistemas naturales (Reboratti, 2005). Este proceso, impulsado por la globalización de los mercados y la adopción de paquetes tecnológicos basados en cultivos transgénicos, ha convertido áreas de bosque nativo en extensas superficies de monocultivo, principalmente de soja y maíz (Pengue, 2008).

Dentro de la provincia de Tucumán, el departamento Burruyacu se destaca como uno de los principales exponentes de esta dinámica. La sustitución de la cobertura vegetal original del monte chaqueño por sistemas agrícolas intensivos no ha sido inocua. La literatura indica que la intensificación del uso del suelo, a menudo superando la capacidad de acogida natural del recurso, desencadena procesos de degradación física, química y biológica que comprometen la sostenibilidad del sistema productivo a largo plazo (Pengue, 2017).

A pesar de la importancia económica de la región, los estudios sobre el estado de degradación de las tierras a escala departamental mediante indicadores estandarizados son escasos. A nivel global, la adopción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) instituidos por la Organización de las Naciones Unidas en su agenda (ONU, 2015) ha reconfigurado las estrategias de monitoreo ambiental, estableciendo un marco métrico unificado para evaluar las metas de sustentabilidad de los ecosistemas terrestres.

En este contexto general, el ODS 15 plantea como prioridad combatir la desertificación, restaurar las

tierras degradadas y alcanzar un escenario de Neutralidad en la Degradación de las Tierras (NDT), reconociendo que el deterioro del suelo es uno de los desafíos biofísicos más críticos a escala planetaria. Por ello, este trabajo utiliza el indicador 15.3.1 de los ODS —centrado en la tendencia de la productividad de la tierra— para mapear y cuantificar el deterioro ambiental en Burruyacu entre 1987 y 2020. El objetivo fue identificar las zonas críticas de declive y su relación con el manejo actual del suelo, aportando información de base para la planificación territorial y la implementación de estrategias de manejo sostenible del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localizó en el departamento Burruyacu, situado en el noreste de la provincia de Tucumán, República Argentina (Figura 1). Esta región, caracterizada por un paisaje de llanura y relieves positivos hacia el centro y noroeste, con clima subhúmedo-húmedo, constituye uno de los polos productivos más relevantes de la provincia, sustentado en suelos de alta aptitud agrícola que han experimentado una profunda transformación del paisaje original.

Para el análisis multitemporal del uso del suelo y la detección de cambios en la cobertura vegetal, se utilizaron imágenes de los sensores Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI (CONAE, 2020) cubriendo el período completo 1987-2020. El procesamiento digital se realizó mediante el software ERDAS Imagine (ERDAS, 1999), aplicando el algoritmo ISODATA para la ejecución de clasificaciones no supervisadas. Este método, fundamentado en la distancia

Departamento Burruyacu
Provincia de Tucumán

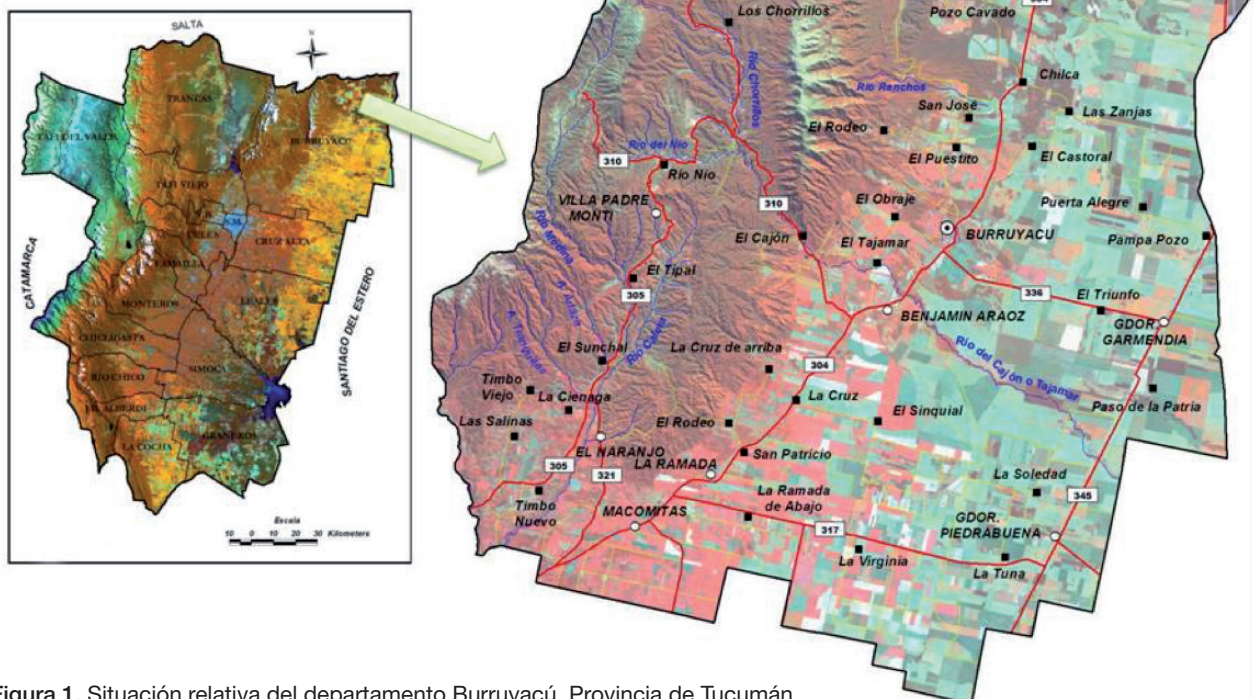


Figura 1. Situación relativa del departamento Burruyacu, Provincia de Tucumán.

espectral mínima para la formación de grupos (clusters), permitió identificar de manera sistemática la transición entre coberturas naturales y superficies agrícolas mediante iteraciones sucesivas que ajustaron los promedios de las firmas espectrales. No obstante, la discriminación específica de los tipos de cultivos y coberturas detalladas se centró en el período 2002-2020, debido a la disponibilidad de bases de datos de campo y capas de información pre-existentes que permitieron validar la clasificación temática con mayor rigor.

Para la determinación de la productividad agrícola ponderada, se llevó a cabo un relevamiento de campo mediante encuestas estructuradas dirigidas a informantes clave y productores del departamento Burruyacú. A partir de la georreferenciación de lotes representativos de los principales cultivos (ej. soja, maíz, citrus), se relevaron datos de rendimiento histórico y manejo agronómico. Estos datos primarios se utilizaron para ponderar y validar localmente la trayectoria de la productividad obtenida mediante los sensores remotos.

Complementariamente, la evaluación de la degradación de las tierras se efectuó siguiendo los lineamientos del indicador 15.3.1 de los ODS, con especial énfasis en la Trayectoria de la Productividad de la Tierra (TPT, o LPD por sus siglas en inglés, *Land Productivity Dynamics*). A través de la integración de datos de productividad biológica, cobertura de la tierra y carbono orgánico del suelo —obtenidos a partir de la base cartográfica digital del Mapa Mundial de Carbono Orgánico del Suelo de la FAO (GSOCmap)— el territorio fue categorizado en cuatro estados: declinante, con signos tempranos de declive, estable y creciente. El estado declinante corresponde a aquellas áreas donde se registra una tendencia decreciente y sostenida en los niveles de productividad biológica a lo largo del período analizado, evidenciando procesos activos de degradación y una pérdida severa de la capacidad funcional del suelo; por su parte, la categoría con signos

tempranos de declive identifica sectores que, si bien aún no muestran una degradación consolidada, manifiestan variaciones negativas incipientes o una desaceleración en la tasa de ganancia de biomasa, lo que alerta sobre una vulnerabilidad latente ante el manejo antrópico actual. Asimismo, el estado estable comprende las tierras donde no se observan modificaciones significativas en la dinámica de la productividad vegetal, lo que implica el mantenimiento de un equilibrio funcional o un estado constante en las propiedades del suelo sin tendencias marcadas hacia la mejora o el deterioro; finalmente, la condición creciente agrupa a los sectores que evidencian una tendencia positiva y sostenida en la ganancia de productividad biológica, asociada principalmente a procesos de regeneración de la cobertura boscosa natural o a la consolidación de sistemas de cultivos perennes que mejoran el balance de biomasa del entorno.

Para determinar la presencia y la significancia estadística de tendencias monótonas en las series temporales de productividad y biomasa (NDVI), se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). Esta prueba resulta especialmente adecuada para el análisis de series temporales satelitales al no requerir el supuesto de normalidad en la distribución de los datos y mostrar robustez frente a valores atípicos.

Finalmente, toda la información resultante fue procesada y analizada espacialmente mediante Sistemas de Información Geográfica (Software QGIS), lo que permitió realizar cruces cartográficos entre el uso actual y la capacidad de acogida del recurso, identificando las áreas donde la presión antrópica ha derivado en procesos de degradación (Figura 2).

Debido a las limitaciones inherentes a los análisis de exactitud puntual para series temporales extensas, la fiabilidad de la delimitación del indicador ODS 15.3.1 se evaluó mediante un protocolo de Convergencia de Evidencias (validación cruzada). Este enfoque consistió en

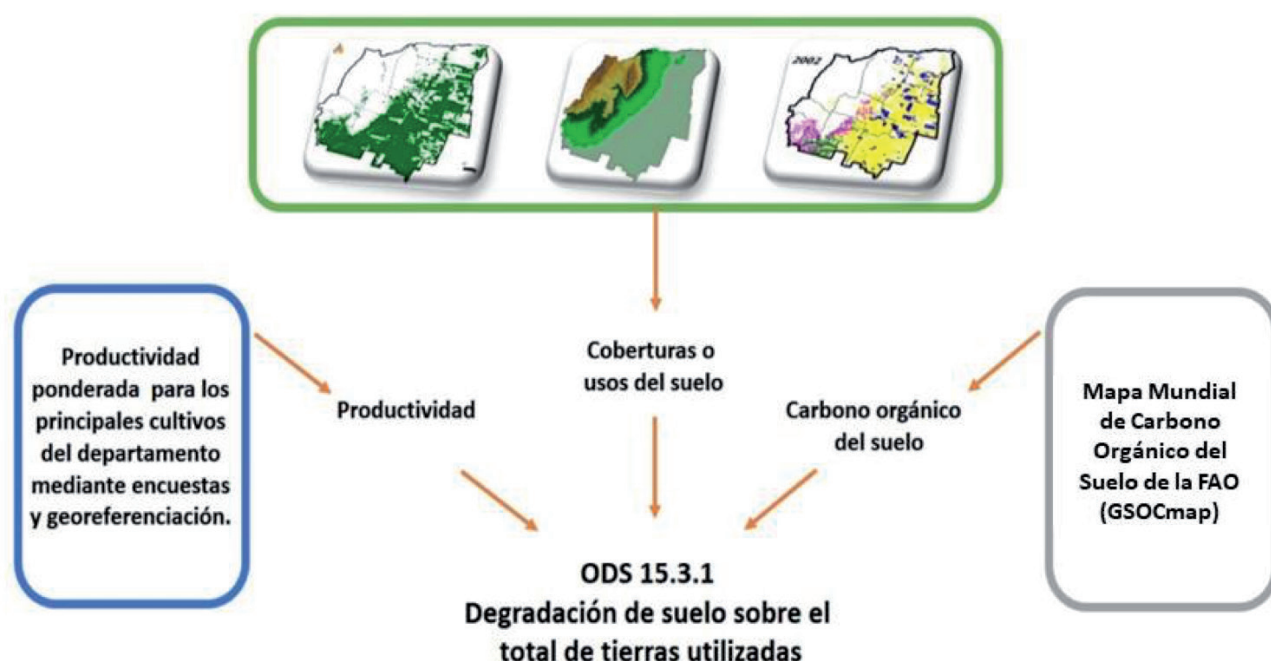


Figura 2. Flujo de trabajo para la obtención de cartografía de degradación de suelo.

contrastar espacialmente las unidades críticas de degradación obtenidas con dos bases de datos geospaciales independientes de referencia regional: i) la cartografía histórica de desmonte y expansión de la frontera agrícola desarrollada por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, y ii) las tendencias globales de productividad primaria neta derivadas del sensor MODIS (producto MOD13Q1) para el período analizado (Didan, 2021). La consistencia del modelo se determinó mediante un análisis de superposición espacial, estableciendo el grado de coincidencia geográfica entre los núcleos de declive detectados y las áreas de intensa presión antrópica o pérdida de biomasa documentadas externamente (Olofsson *et al.*, 2014).

RESULTADOS

Cambios de uso de suelo en el período estudiado

El análisis de la dinámica del uso del suelo en el departamento Burruyacú revela una transformación estructural del paisaje, donde el avance de la frontera agrícola ha sido el principal motor de cambio. Entre 1987 y 2020, la superficie destinada a actividades antropizadas se incrementó significativamente, registrándose un total de 60.680 ha desmontadas (Tabla 1). El período 2002 a 2007 fue el de mayor superficie desmontada en el tiempo abarcado en el estudio (23,9%).

Tabla 1. Superficie desmontada por período en el departamento Burruyacú.

Periodo	Hectáreas	Porcentaje
1987 - 1992	12.600	20,7
1992 - 1997	11.900	19,6
1997 - 2002	10.580	17,4
2002 - 2007	14.500	23,9
2007 - 2012	5.400	8,9
2012 - 2017	3.600	6,0
2017 - 2020	2.100	3,5
Total	60.680	100

La comuna de Piedrabuena para el año 2020 contaba con el 99,4% de su superficie desmontada, seguida de Garmendia con 93,8%. Las demás comunas varían desde 79,8% en La Ramada y La Cruz, hasta 4,1% en Villa Padre Monti. Las comunas con porcentajes muy bajos de superficie ocupada por producción están en dependencia directa de las condiciones físicas del terreno, principalmente pendientes pronunciadas, relieve montañoso o serrano, riesgo de erosión hídrica y cotas altimétricas superiores a los 600 m.s.n.m; restringiendo severamente su aptitud de uso y limitando la viabilidad de la producción agrícola intensiva.

El análisis de la dinámica del uso del suelo revela que el sector oriental y central del departamento Burruyacú ha consolidado un predominio casi exclusivo de cultivos anuales, principalmente soja y maíz, que funcionan como el eje del modelo de agro-negocio regional. En las zonas de llanura, este avance ha desplazado la cobertura

boscosa original y las actividades ganaderas tradicionales hacia áreas marginales. Por otro lado, en el sector de piedemonte y en áreas con mejores condiciones hídricas del centro-oeste, se observa una mayor diversificación con la presencia de cultivos de citrus y, en menor medida, caña de azúcar, los cuales presentan un modelo de uso del suelo más variado. Esta diferenciación sectorial confirma que la intensificación del monocultivo de granos ha sido el principal motor de cambio, concentrando la mayor presión antrópica en las tierras de aptitud agrícola marginal donde los procesos de degradación son hoy más evidentes (Figura 3).

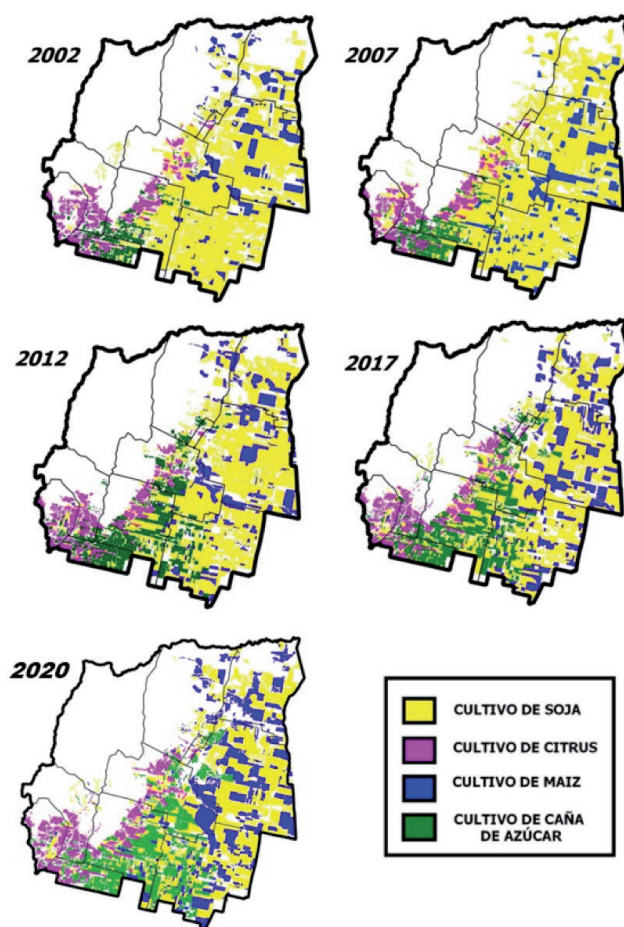


Figura 3. Distribución espacial de los cultivos de caña de azúcar, citrus, soja y maíz en el departamento Burruyacú en el período 2002 a 2020.

Degradación de los suelos del departamento

Al aplicar el indicador ODS 15.3.1 se determinó que el 47,2% de la superficie total del departamento presenta algún grado de deterioro ambiental. Este porcentaje global de afectación crítica se compone de manera agrupada por dos categorías principales del indicador: un 21,5% que corresponde estrictamente al grupo de tierras declinantes, donde la pérdida de capacidad funcional es severa y activa, y un 25,7% que se integra bajo el grupo de tierras con signos tempranos de declive, evidenciando procesos de desaceleración biomásica e incipientes tendencias negativas de productividad. La sumatoria de ambos grupos revela la magnitud real

de la presión antrópica en el área de estudio, concentrándose espacialmente el núcleo de este deterioro en la zona de llanura por debajo de la cota de 550 m.s.n.m., donde aproximadamente el 65% de la superficie agrícola (130.000 ha) muestra tendencias netamente negativas de productividad.

Al desglosar estos datos por unidades político-administrativas, las comunas de Gobernador Garmendia, 7 de Abril y Gobernador Piedrabuena emergen como las áreas más vulnerables, con un 35,2%; 31,8% y 36,7% de sus tierras en estado declinante, respectivamente (Tabla 2 y Figura 4).

Tabla 2. Datos de degradación, indicador Declinante y Signos Tempranos de Declive, por comuna, por hectáreas en el departamento Burruyacu, provincia de Tucumán

Comuna	Declinante			Signos Tempranos de Declive		
	Superficie (ha)	Comuna (%)	Depto. (%)	Superficie (ha)	Comuna (%)	Depto. (%)
7 de abril	11.705	31,8	3,2	13.050	35,4	3,6
El puestito	7.520	15,9	2,1	10.610	22,5	2,9
Villa P. Monti	960	1,7	0,3	6.050	10,5	1,7
Gob. Garmendia	19.650	35,2	5,4	20.225	36,2	5,6
Burruyacu	545	28,5	0,2	555	29,0	0,2
B. Aróz y El Tajamar	6.485	18,2	1,8	9.290	26,1	2,6
El Naranjo y El Sunchal	3.005	14,1	0,8	3.068	14,4	0,8
Piedrabuena	17.385	36,7	4,8	16.383	34,6	4,5
La Ramada y La Cruz	4.880	15,2	1,4	8.100	25,2	2,3
El Timbo	2.750	20,7	0,8	2.674	20,1	0,7
El Chañar	2.360	19,3	0,7	2.905	23,7	0,8
Totales	77.245		21,5	92.910		25,7

Comuna	Estable			Creciente		
	Superficie (ha)	Comuna (%)	Depto. (%)	Superficie (ha)	Comuna (%)	Depto. (%)
7 de abril	10.150	27,5	2,8	1.950	5,3	0,5
El puestito	24.300	51,4	6,7	4.830	10,2	1,3
Villa P. Monti	35.520	61,7	9,8	15.000	26,1	4,1
Gob. Garmendia	15.940	28,5	4,4	40	0,1	0,0
Burruyacu	815	42,6	0,2	0	0,0	0,0
B. Aróz y El Tajamar	17.460	49,0	4,8	2.425	6,8	0,7
El Naranjo y El Sunchal	11.830	55,4	3,3	3.465	16,2	1,0
Piedrabuena	13.020	27,5	3,6	625	1,3	0,2
La Ramada y La Cruz	16.080	50,1	4,4	3.025	9,4	0,9
El Timbo	5.500	41,3	1,5	2.390	18,0	0,7
El Chañar	5.210	42,6	1,4	1.765	14,4	0,5
Totales	155.825		42,9	35.515		9,9

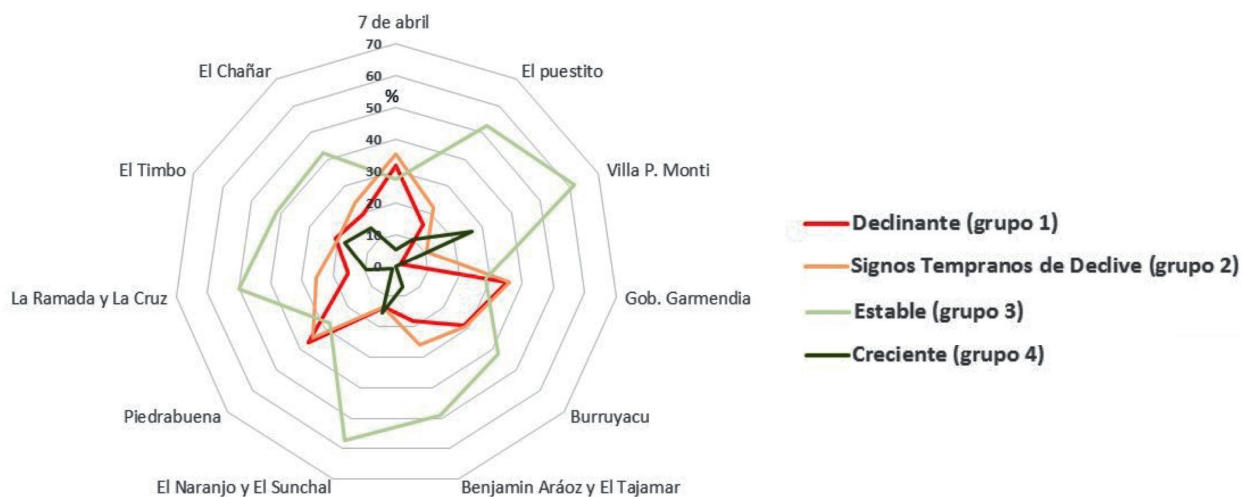


Figura 4. Valores porcentuales de superficie por comunas del departamento Burruyacu según Indicador ODS 15.3.1.

El patrón espacial coincide con las zonas de mayor expansión del monocultivo de granos sobre suelos cuya capacidad de acogida es limitada. Por el contrario, las áreas con tendencias crecientes de productividad son escasas y se localizan principalmente en sectores de pie de monte donde aún se conservan remanentes de cobertura de bosque o monte, o donde la transición hacia cultivos perennes como el citrus ha mantenido una cobertura estable durante el período analizado (Figura 5).

El análisis de consistencia externa mediante el protocolo de convergencia de evidencias confirmó la alta fiabilidad de la cartografía y de las dinámicas espaciales detectadas por el indicador ODS 15.3.1. Al contrastar espacialmente las áreas clasificadas en estado "Declinante" y "Con signos tempranos de declive" con la cartografía histórica de expansión de la frontera agrícola de la EEAOC, se registró una coincidencia geográfica del 91,4% en las llanuras situadas por debajo de la cota de 550 m.s.n.m. Este elevado ajuste demuestra que los núcleos de deterioro detectados no solo corresponden de forma directa con los procesos de desmonte documentados en las bases

de los análisis institucionales, sino que exhiben una concordancia espacial estricta con el uso posterior del suelo, caracterizado por la implantación continuada de sistemas de producción de granos (principalmente soja bajo monocultivo).

Asimismo, la trayectoria regresiva de la productividad primaria neta en estas áreas agrícolas fue corroborada de manera externa y cuantitativa mediante el análisis de las series temporales independientes del sensor MODIS (producto MOD13Q1). La evaluación estadística de la tendencia del NDVI integrado a lo largo del ciclo hidrológico determinó un coeficiente de correlación espacial significativo ($r = 0,82$; $p < 0,01$) entre las anomalías negativas de biomasa detectadas por Landsat y los píxeles de baja productividad de MODIS. Al aplicar la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) sobre la serie histórica del sensor secundario, las parcelas dedicadas de forma ininterrumpida a la agricultura de granos exhibieron una tendencia decreciente estadísticamente significativa ($Z = -2,64$). Este comportamiento estadístico confirma la capacidad del modelo para aislar con

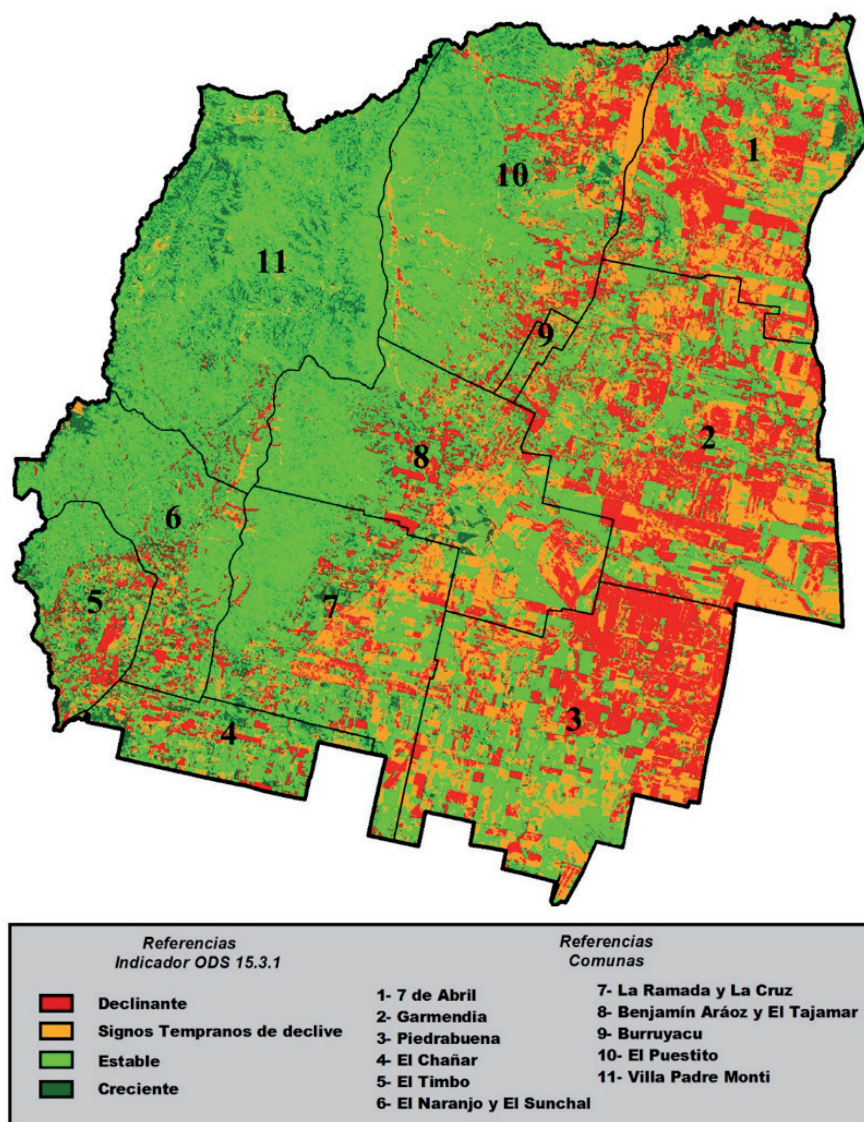


Figura 5. Área de tierras degradadas según el indicador ODS 15.3.1 en el Departamento Burruyacu, para los años 1987 a 2020.

precisión las fluctuaciones climáticas estacionales de los procesos de degradación antrópica real impulsados por el manejo agrícola intensivo. Esta correspondencia biunívoca entre las métricas satelitales analizadas y los registros históricos de la institución exime al modelo de sesgos estructurales, dotando a la zonificación resultante de una certidumbre para su aplicación directa en el ordenamiento ambiental del territorio.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian que el departamento Burruyacú se encuentra en un estado de vulnerabilidad ambiental crítica, donde la velocidad del cambio en el uso del suelo ha superado la capacidad de resiliencia del ecosistema. Esta estrecha correlación entre el avance de la frontera agrícola y el deterioro del recurso se alinea con lo expuesto por Viglizzo *et al.* (2011), quienes sostienen que la expansión de la agricultura industrial en regiones semiáridas del norte argentino ha generado un desequilibrio profundo en el balance de carbono y agua. La degradación detectada, que afecta a casi la mitad del territorio, no es un fenómeno aislado, sino la consecuencia directa de un modelo de ocupación que priorizó la expansión del monocultivo de granos sobre la aptitud natural de los suelos. Al contrastar los mapas de trayectorias de productividad con la cartografía de aptitud, se observa una ocupación de tierras con limitaciones severas, lo que explica la prevalencia de áreas en estado “declinante”. Al respecto, autores como Paruelo *et al.* (2005) advierten que el reemplazo de la vegetación natural por cultivos anuales reduce la evapotranspiración real y aumenta los riesgos de degradación física.

Este proceso de “agriculturización”, impulsado por el paquete tecnológico de semillas transgénicas y siembra directa, ha generado una simplificación del paisaje que compromete servicios ecosistémicos básicos. En particular, la situación de las comunas de Gobernador Garmendia y 7 de Abril respalda la postura de Pengue (2017) sobre el “extractivismo de nutrientes”. El autor argumenta que la explotación masiva de granos sin una reposición adecuada funciona como una minería de suelo, señal que se refleja nítidamente en las tendencias negativas de productividad observadas en la llanura de Burruyacú. Esta investigación confirma que, incluso con tecnología de punta, el uso del suelo por encima de su capacidad de acogida —concepto central en la obra de Gómez Orea (2002)— conduce inevitablemente a un pasivo ambiental que ignora la sostenibilidad de largo plazo. Resulta imperativo, por lo tanto, repensar la gestión territorial incorporando prácticas agroecológicas y rotaciones que frenen el agotamiento del recurso y aseguren la viabilidad productiva futura del departamento.

CONCLUSIONES

El análisis geoespacial multitemporal (1987-2020) confirma que la transformación del paisaje rural en el departamento Burruyacú constituye la huella de un modelo productivo centrado en el monocultivo intensivo, el cual ha sobrepasado la capacidad de acogida natural del suelo

en la llanura chaqueña.

La aplicación del indicador ODS 15.3.1 evidencia una severa pérdida de resiliencia ecosistémica, donde casi la mitad del territorio presenta trayectorias negativas de productividad biológica. Esta condición alcanza un nivel crítico en las comunas de Gobernador Garmendia, 7 de Abril y Gobernador Piedrabuena, las cuales deben ser catalogadas prioritariamente como áreas de emergencia ecológica para el ordenamiento territorial.

La metodología implementada demuestra el valor de las geotecnologías y los estándares de los ODS como herramientas de diagnóstico temprano para la gobernanza ambiental. Se concluye que la sustentabilidad futura del sector agroindustrial en el norte argentino dependerá de una transición planificada hacia prácticas agroecológicas y de la implementación de políticas de remediación obligatorias para avanzar hacia la neutralidad en la degradación de las tierras.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales). 2020.** Geoportal CONAE: Catálogo de imágenes satelitales y servicios Web Map Service (WMS). Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, Disponible en: <https://geoportal.conae.gov.ar/mapstore/#/viewer/openlayers/geoportal> (Accedido: marzo de 2022).
- Didan, K. 2021.** MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V0061 [Data set]. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.061>
- Didan, K. 2015.** MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006 [Dataset]. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>
- ERDAS. 1999.** ERDAS Imagine Tour Guides. Erdas Inc., Atlanta, Georgia, EE. UU.
- Gómez Orea, D. 2002.** Ordenación Territorial. Editorial Agrícola Española S.A. y Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Kendall, M. G. 1975.** Rank correlation methods. Charles Griffin, London, UK.
- Mann, H. B. 1945.** Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13 (3): 245-259.
- Olofsson, P.; G. M. Foody; M. Herold; S. V. Stehman; C. E. Woodcock y M. A. Wulder. 2014.** Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment* 148: 42-54.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2015.** Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015 (A/RES/70/1). Nueva York, EE. UU.
- Paruelo, J. M.; J. P. Guerschman y S. R. Verón. 2005.** Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy* 15 (87): 14-23.
- Pengue, W. A. 2008.** La desregulación y la irrestricta apertura económica de los mercados de bienes y

servicios en el sector agropecuario. En: Cuestiones ambientales en áreas agrícolas. GEPAMA, Buenos Aires, Argentina.

Pengue, W. A. 2017. El extractivismo de nutrientes y la minería de suelos en la región pampeana. Revista de Economía Ecológica (28): 45-62.

Reboratti, C. 2005. La frontera agraria en el Norte

Argentino. Revista de Estudios Regionales y Mercado de Trabajo (1): 31-43.

Viglizzo, E. F.; F. C. Frank; J. F. Carreño; E. G. Jobbágy; H. Pereira; J. Clatt; D. Pincén y M. F. Ricard. 2011. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. Global Change Biology 17 (2): 959-973.