

Degradación de los suelos y relación con prácticas de manejo en el área granera del departamento Burruyacu, utilizando metodologías de teledetección y SIG

F1

Campana 2022/2023

Carmina Fandos*, Federico J. Soria*, Pablo Scandaliaris*,
Javier I. Carreras Baldrés* y Mario R. Devani**

*Sección Sensores Remotos y S.I.G.; ** Sección Granos, Estación Experimental Agroindustrial Obispo, EEAOC. Av. William Cross 3150, (4101), Las Talitas, Tucumán, Argentina. E-mail: carminaf@eeaoc.org.ar

Introducción

La agricultura modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, llevando en algunas situaciones a la degradación de este, especialmente cuando se reduce la materia orgánica del suelo (MOS). El carbono orgánico del suelo (COS), un componente principal de la MOS, afecta a un gran número de propiedades edáficas físicas, químicas y biológicas.

El laboreo del suelo y determinadas prácticas de manejo provocan la degradación de la estructura y alteran las condiciones de aireación, humedad y temperatura del mismo. Este proceso acelera la descomposición microbiana y la oxidación de COS a CO₂, lo que determina un aumento en su concentración en la atmósfera. Por el contrario, el secuestro de carbono incrementa la calidad y fertilidad del suelo al mejorar su estructura y la capacidad de retención de humedad y nutrientes.

Entre las prácticas de manejo cabe destacar la importancia de una correcta secuencia de cultivos, ya que el cultivo antecesor condiciona el tipo de residuos que quedan en un sistema agrícola y que impactarán en el cultivo que se desarrolle posteriormente. En este sentido se

remarca que la alta relación C/N de los rastrojos de cereales de invierno y verano determina una descomposición lenta y favorece la formación de materia orgánica estabilizada del suelo. A la vez, el crecimiento de sus raíces contribuye a mejorar la estructura del suelo y genera grietas y canales que, al mejorar la porosidad superficial del suelo, incrementan la velocidad de infiltración del agua y el intercambio de gases, y facilitan el desarrollo de raíces de otros cultivos (Voisin *et al.*, 2018).

En el manejo de los cultivos debe destacarse además la adecuada gestión del agua, que considera el tipo de suelo y la topografía, lo que permite minimizar la erosión de los suelos y los daños en los cultivos generados por fuertes escorrentías. Todo ello en el marco de un manejo de cuenca, que puede definirse como “un conjunto de acciones integradas, orientadas y coordinadas sobre los elementos variables del ambiente en una cuenca, tendientes a regular el funcionamiento de este ecosistema con el propósito de elevar la calidad de vida de sus habitantes sin comprometer la sustentabilidad de dicho ecosistema” (Vich *et al.*, 2002).

El conocimiento del grado de degradación de los suelos es una herramienta fundamental al momento de aplicar una agricultura regenerativa, la cual utiliza técnicas que permiten reconstruir la materia orgánica y la biodiversidad de un suelo con el objetivo de reparar los daños generados por el modelo de la agricultura industrial tradicional y asegurar la sostenibilidad de los agroecosistemas.

La teledetección, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la inteligencia artificial facilitan la obtención de información e interpretación de procesos terrestres, por lo que se constituyen en herramientas fundamentales al momento del análisis de procesos de degradación de los suelos.

A nivel global, la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UN-CCD), como organismo custodio del modelo 15.3.1 de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), ha adoptado el mapeo de las reservas de COS como uno de los indicadores para estimar el área de tierras degradadas, en el contexto de monitorear la meta de alcanzar la neutralidad en la degradación de las tierras hacia el año 2030 (IUCN, 2015). En este marco, cabe mencionar el “Mapa de almacenamiento de C en los suelos de la República Argentina”, generado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), el cual fue realizado bajo un enfoque de mapeo digital de suelos, tomando como base mapas de COS a escala global, muestreos a campo e inteligencia artificial (Gaitán *et al.*, 2023).

A nivel local se destaca la aplicación en el departamento Burruyacu del modelo ODS 15.3.1, que permitió la generación de un mapa de degradación de suelo a nivel departamental (Carreras Baldrés, 2022). Cabe mencionar que el departamento Burruyacu es el de mayor producción de soja y maíz en la provincia de Tucumán, habiendo concentrado en la campaña 2022/2023 el 35% de la soja y el 50% del maíz cultivado a nivel provincial (Fandos *et al.*, 2023).

El objetivo de este trabajo fue identificar áreas con problemas de degradación de suelos en el área granera del departamento Burruyacu y relacionarla con tipos de suelos y prácticas de manejo, utilizando metodologías de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG).

■ Procedimiento de análisis

Se realizó un análisis de diversas coberturas temáticas, algunas ya existentes y otras generadas en el presente trabajo aplicando técnicas de SIG. Entre la cartografía existente se destacan:

- El mapa de degradación de suelos del departamento Burruyacu (Carreras Baldrés, 2022) y el mapa de almacenamiento de C en los suelos de la República Argentina (Gaitán *et al.*, 2023).
- Mapa de riesgo de erosión disponible en el Portal de Geoservicios de IDET - Tucumán (RIDES, 2019).
- Las coberturas de granos estivales y de caña de azúcar para la campaña 2022/2023, y de cítricos año 2022, generadas por la Sección Sensores Remotos y SIG de la EEAOC.

Con respecto a las capas temáticas generadas, resaltan las coberturas de:

- Repetición de cultivos de maíz y caña de azúcar en el período 2009/2023, obtenidas a partir de un análisis multitemporal de imágenes categorizadas, para el cual se tomaron como base las clasificaciones de maíz obtenidas para las campañas 2008/2009 a 2022/2023. Dichas capas temáticas fueron generadas a partir de clasificaciones multiespectrales de imágenes satelitales Landsat 8 OLI y Sentinel 2A y 2B MSI, adquiridas de los sitios <https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8> y <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, respectivamente.
- Potencial de escurrimiento hídrico teórico del área granera. El punto de partida para su obtención fue la cobertura de curvas de nivel obtenidas del modelo de elevación (MDE) generado por la Misión Topográfica Radar Shuttle (en inglés, Shuttle Radar Topography Mission, SRTM). Seguidamente se generaron micro cuencas y a partir de las mismas el potencial de escurrimiento hídrico.
- Escorrentías que difieren del potencial de escurrimiento hídrico teórico. Estas fueron generadas a partir del análisis visual de imágenes Sentinel 2B adquiridas del 03 de marzo de 2020, con posterioridad al registro de intensas lluvias en el departamento Burruyacu, e incluyen las zonas con signos evidentes de escorrentías; es posible que algunas cárcavas a lo largo de caminos no estén registradas.

Todas las capas temáticas fueron restringidas al área granera del departamento Burruyacu en la campaña 2022/2023 y fueron analizadas en un entorno SIG utilizando los softwares ERDAS Imagine, versión 8.4. y QGIS versión 3.16.9.

Resultados

La identificación de las áreas degradadas se realizó tomando como base el mapa de degradación de suelos del departamento Burruyacu (Carreras Baldrés, 2022) y el mapa de almacenamiento de C en los suelos de la República Argentina (Gaitán *et al.*, 2023). La Figura 1 muestra el mapa de degradación de tierras, mientras que la Figura 2 exhibe el mapa de almacenamiento de C del suelo.

El análisis de la Figura 1 revela mayor concentración de tierras degradadas hacia la zona oriental del departamento, principalmente en las comunas de Gobernador Piedrabuena, Gobernador Garmendia y 7 de abril.

La Figura 2 muestra una disminución en los niveles de almacenamiento de COS en el sentido oeste-este, que se corresponde con la mayor concentración de áreas degradadas en dichos sectores en la Figura 1.

Departamento Burruyacu
Área de tierras degradadas
según el indicador ODS 15.3.1.
Años 1987 a 2020

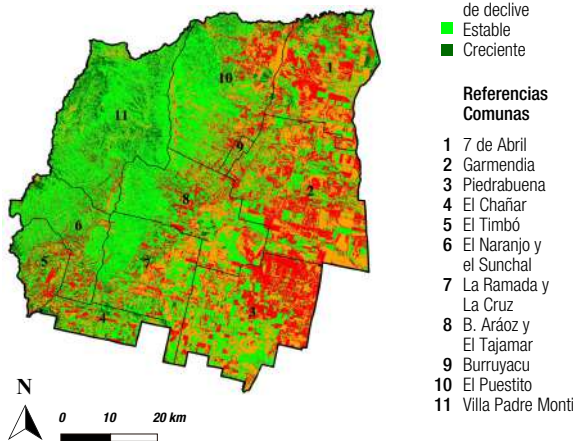


Figura 1. Mapa de degradación de tierras del departamento Burruyacu. (Adaptado de Carreras Baldrés *et al.*, 2022)

Departamento Burruyacu.
Mapa de almacenamiento de C
en los suelos

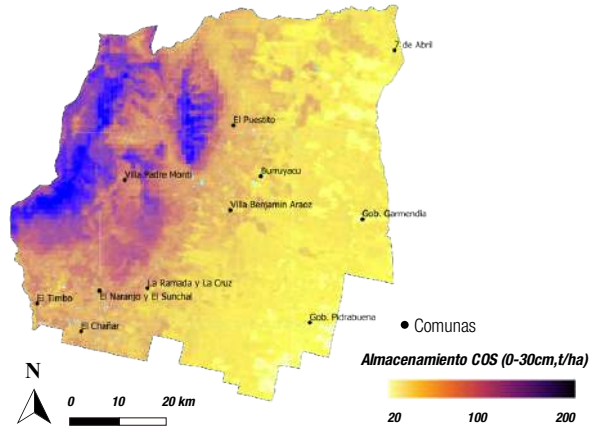


Figura 2. Mapa de almacenamiento de COS del departamento Burruyacu. (Adaptado de Gaitán *et al.*, 2023)

En la Figura 3 se superponen al mapa de almacenamiento de C en los suelos las áreas con cítricos, caña de azúcar y granos. Se constata que el área granera coincide con las zonas con menores valores de COS.

Departamento Burruyacu.
Mapa de almacenamiento de C
en los suelos

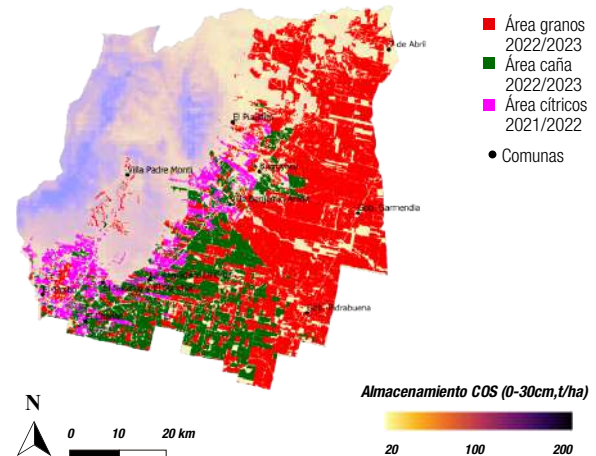


Figura 3. Mapa de almacenamiento de COS del departamento Burruyacu (adaptado de Gaitán *et al.*, 2023) y áreas con granos, caña de azúcar y cítricos

El contenido de COS depende de la interacción en el tiempo de múltiples factores formadores del suelo tales como la topografía, el clima, la vegetación y el uso y manejo de la tierra, así como de otras propiedades fisicoquímicas del suelo (Gaitán *et al.*, 2023). En la Figura 4 se exhiben las regiones agrológicas (Zuccardi y Fadda, 1985) correspondientes al departamento Burruyacu.

Departamento Burreuyacu

Regiones y subregiones
agrológicas

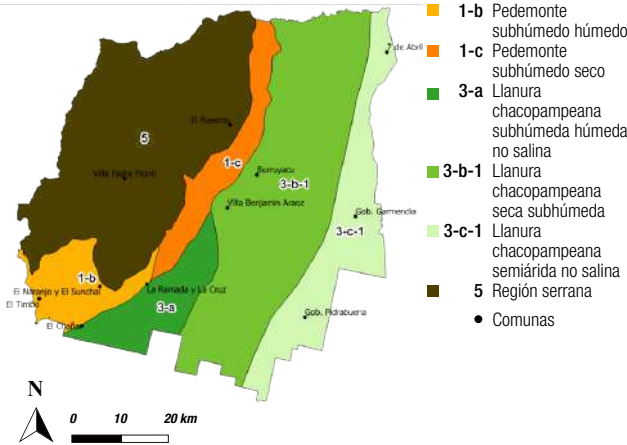


Figura 4. Regiones y subregiones agrológicas. Departamento Burreuyacu. (Adaptado de Zuccardi y Fadda, 1985)

Al comparar las Figuras 3 y 4 se aprecia que la mayor proporción del área granera se localiza en la región de la llanura chacompeana, específicamente en las subregiones seca subhúmeda (3-b-1) y semiárida no salina (3-c-1). Cabe destacar que la subregión 3-b-1 se caracteriza por precipitaciones que varían entre 750 mm al oeste y 650 mm al este, donde prevalecen suelos que se desarrollaron sobre material madre de origen eólico, con predominio de texturas franco limosas que requieren de prácticas agronómicas que contribuyan a favorecer la infiltración. En la subregión 3-c-1, las precipitaciones varían entre 650 mm en el oeste a 500 mm en el este, y se caracteriza por presentar suelos desarrollados sobre sedimentos loesoides que muestran en general solo la diferenciación del horizonte A, contenidos de materia orgánica de medios a bajos y textura predominantemente franco limosa, llegando en algunos suelos a limosa en profundidad. El gran predominio de la fracción limo da a estos suelos un débil desarrollo de la estructura y baja estabilidad estructural (Zuccardi y Fadda, 1985).

La baja estabilidad estructural de los suelos situados hacia el este del departamento Burreuyacu, en conjunto con la degradación de la cobertura vegetal y el régimen hídrico, determina áreas con alto riesgo de erosión. En la Figura 5 se aprecian los niveles de riesgo de erosión en el departamento Burreuyacu (Collantes *et al.*, 2014). Se constata que la zona granera se encuentra situada en áreas de niveles de riesgos de erosión entre severos y muy graves.

Departamento Burreuyacu

Áreas con riesgo de erosión

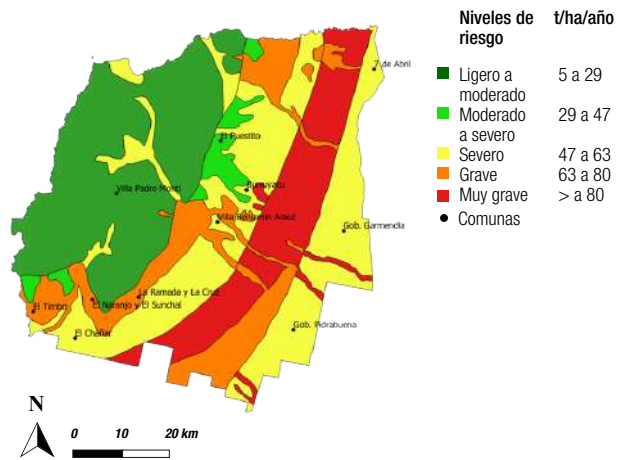


Figura 5. Áreas con riesgo de erosión. Departamento Burreuyacu. (Adaptado de RIDES, 2019).

Los altos niveles de riesgo de erosión que predominan en el área granera requieren una adecuada gestión del agua. En la Figura 6 se superponen a las zonas con mayor riesgo de erosión el potencial de escurrimiento hídrico teórico y las escorrentías que difieren de dicho potencial teórico en el departamento Burreuyacu. Las líneas en celeste indican el escurrimiento teórico que se verifica en el terreno, mientras que las líneas azules indican las escorrentías que difieren del potencial teórico. Se aprecia que las zonas con mayor concentración de escorrentías diferentes a las teóricas concuerdan con las áreas de mayor riesgo de erosión.

Departamento Burreuyacu

Áreas con riesgo de erosión

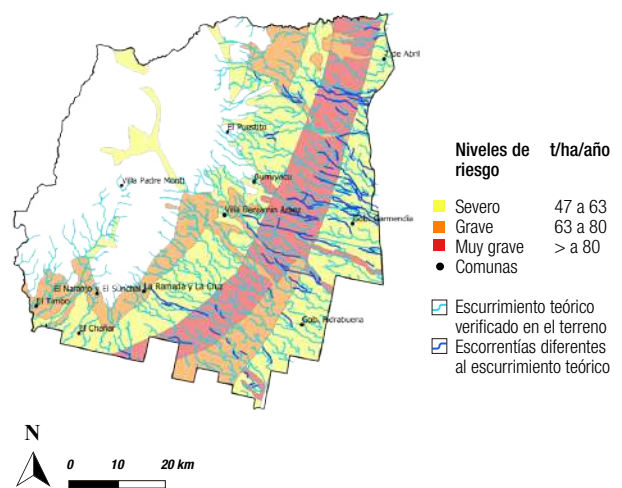


Figura 6. Áreas con riesgo de erosión, potencial de escurrimiento híbrido teórico y escorrentías detectadas. Departamento Burreuyacu. (Adaptado de RIDES, 2019).

El panorama descrito evidencia la necesidad de una adecuada gestión del agua que permita minimizar los riesgos de fuertes escorrentías y de la adopción de buenas prácticas de manejo, entre ellas, la rotación de cultivos. En este sentido cabe destacar que los sistemas de producción que no incluyen rotación de cultivos no son sustentables, lo que se manifiesta a través de serios problemas tales como la erosión hídrica, la disminución de los contenidos de materia orgánica y los menores rendimientos a la hora de la cosecha (Hernández *et al.*, 2013).

La Figura 7 muestra la frecuencia de siembra de los cultivos de maíz y de caña de azúcar en el periodo 2009/2023. Con respecto al maíz, es la alternativa de rotación para los cultivos de soja y poroto aunque no tiene el grado de adopción recomendable (40-50%) desde el punto de vista de la sustentabilidad ambiental, por razones coyunturales y estructurales (Valdez Naval *et al.*, 2018). El análisis de la frecuencia del maíz en el área granera revela menor repetitividad de siembra de maíz mayormente en las comunas de Gobernador Piedrabuena y 7 de abril, en varios casos coincidentes con la mayor concentración de zonas degradadas observadas en la Figura 1.

En cuanto al cultivo de caña de azúcar, cabe mencionar que la mayor rentabilidad del cultivo en las últimas campañas ha motivado su avance sobre zonas tradicionalmente dedicadas a cultivos de granos. Por otra parte, es una práctica habitual en el departamento Burruyacu la rotación de la caña con soja con el propósito principal de disminuir la infestación con malezas (Digonzelli *et al.*, 2009), además de contribuir al mantenimiento de un buen balance entre los elementos nutritivos del suelo, entre otros aspectos. La Figura 8 muestra mayor concentración de zonas con repetición de cultivos en uno a cinco años hacia el este del área cañera, evidenciando el avance sobre el área granera, proceso que se mantiene activo desde el año 2006 (Fandos *et al.*, 2020). En este sentido cabe destacar algunas de las ventajas que implica la inclusión de la caña de azúcar en el área tradicionalmente dedicada al cultivo de granos, ya que presenta abundantes residuos que quedan después de la cosecha, los cuales al presentar alta relación C/N se descomponen lentamente favoreciendo la formación de materia orgánica estabilizada del suelo. Además, el gran desarrollo de las raíces alrededor de la cepa contribuye a mejorar la estructura del suelo.

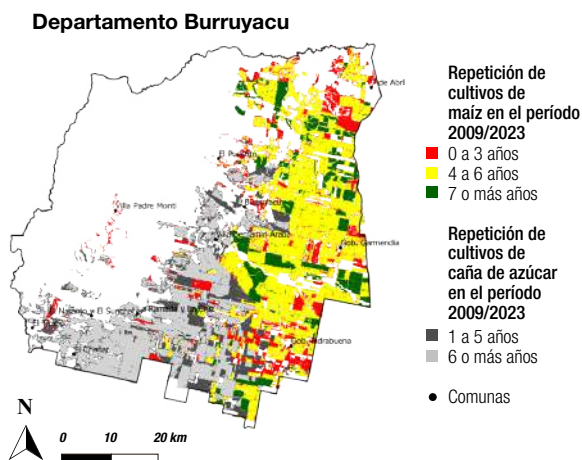


Figura 7. Frecuencia de los cultivos de maíz y caña de azúcar en el departamento Burruyacu. Periodo analizado 2009/2023

Consideraciones finales

La mayor concentración de suelos degradados se constató hacia la zona oriental del departamento Burruyacu, principalmente en las comunas de Gobernador Piedrabuena, Gobernador Garmendía y 7 de abril, información que se corresponde con la disminución en los niveles de almacenamiento de COS en el sentido oeste-este.

Diferentes factores formadores del suelo tienen influencia en el almacenamiento de COS, entre ellos la topografía, el clima, la vegetación y el uso y manejo de la tierra, así como otras propiedades fisicoquímicas del suelo.

En el área granera del departamento predominan las regiones agrológicas de la llanura chacompeana: seca subhúmeda (3-b-1) al oeste; y semiárida no salina (3-c-1) al este, caracterizadas en general por la baja estabilidad estructural de los suelos.

La inestabilidad estructural, sumada a la degradación de la cobertura vegetal y al régimen hídrico, determina áreas con alto riesgo de erosión y la necesidad de la implementación de prácticas de manejo de cultivos que favorezcan la infiltración y el desarrollo de estructura de los suelos, como el manejo de agua a nivel de cuenca y la rotación de cultivos.

El análisis de la frecuencia del maíz en el área granera mostró menor repetitividad de siembra de maíz mayormente en las comunas de Gobernador Piedrabuena y 7 de abril, en varios casos coincidentes con zonas que presentaban mayor

degradación de suelos.

La metodología empleada contribuye al diagnóstico de líneas de base que permiten la delimitación de ambientes que requieren prácticas de manejo específicas para su regeneración y para alcanzar la sostenibilidad de la producción en el tiempo.

Bibliografía citada

Carreras Baldrés, J. I. 2022. Dinámica del uso del suelo rural en el departamento de Burruyacu, provincia de Tucumán, desde finales del siglo XX y principios del XXI [Tesis de maestría no publicada]. Maestría en Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo.

Collantes, M.; J. Busnelli y J.

González. 2014. Riesgos geoambientales de la provincia de Tucumán. En: Geología de Tucumán. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.

Digonzelli, P. A.; J. A. Giardina; S. D. Casen; L. G. P. Alonso; J. Fernández de Ulivarri; J. Scandaliaris; E. R. Romero; M. J. Tonatto y M. F. Leggio Neme. 2009. Capítulo 5: Plantación de la caña de azúcar. Recomendaciones generales. En: Romero, E. R.; P. A. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.), Manual del Cañero. 1ª ed. EEAOC. Tucumán. Argentina. Editorial EEAOC, pp. 57-65.

Fandos, C.; F. J. Soria; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y M. R. Devani. 2020. Expansión del cultivo de caña de azúcar sobre el área granera tucumana en el período 2006-2020. Avance Agroind. 41 (4): 32-34.

Fandos, C.; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés; F. J. Soria; D. E. Gamboa; F. Ledesma; C. Espeche y M. R. Devani. 2023. Monitoreo de la superficie implantada con soja, maíz y poroto en la campaña 2022/2023 en Tucumán y comparación con campañas precedentes. Reporte Agroindustrial EEAOC 275 [En línea] Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=monitoreo-de-la-superficie-implantada-con-soja-maiz-y-poroto-en-la-campana-2022-2023-en-tucuman-y-comparacion-con-campanas-precedentes> (consultado 10 julio 2023).

Gaitán, J; A. Wingeyer y P. L. Peri. 2023. Mapa de almacenamiento de C en los suelos de la Republica Argentina. [En línea] Disponible en https://www.researchgate.net/publication/370124999_Mapa_de_almacenamiento_de_C_en_los_suelos_de_la_Republica_Argentina (consultado 12 julio 2023).

Hernández, C. F.; F. A. Sosa; G. A. Sanzano; G. Robledo; D. E. Gamboa; C. Sotomayor; J. I. Romero; M. Morandini y H. C. Rojas Quinteros. 2013. Consideraciones sobre fertilidad y fertilización en el área maicera tucumana, desde el año 2000 hasta la actualidad. En: Gamboa, D. E.; B. Lane Wilde; F. Goizueta y M. R. Devani (eds). Publicación especial (46) El maíz en el NOA, campaña 2011-2012. [En línea]. Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=maiz-2013-capitulo-10> (consultado 28 junio 2022).

IUCN. (2015). Land degradation neutrality: implications and opportunities for conservation. Technical Brief (2nd. edition), IUCN, Nairobi.

RIDES. 2019. Collantes *et al.* (2014). Riesgos geoambientales de la Provincia de Tucumán. En Geología de Tucumán, CGCGT. Disponible en http://rides.producciontucuman.gov.ar/ArcGIS/services/Ambientes_Naturales_WFS/MapServer/WFSServer? (consultado 06 julio 2023).

Valdez Naval, G.; A. I. Godoy; A. L. Zelarayan; M. G. Socias; M. E. De Simone y J. Peiretti. 2018. Cultivo de maíz en el NOA. Diagnóstico de Salta. [En línea] Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/cultivo-de-maiz-en-el-noa-diagnostico-para-salta> (consultado 26 octubre 2020). Ediciones INTA. Salta.

Vich, A. I. J.; D. R. Cobos y L. E. Lenzano. 2002. Manejo de cuencas

en Argentina: conceptos, diagnóstico y aspectos institucionales. Anexo del Boletín de Estudios Geográficos 97. Disponible en https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/10461/11-verdadero.pdf (consultado 13 de julio de 2023).

Voisin, A; B. Novillo, A. Chamorro; R. Bezus, A. Pellegrini y S. Golik. 2018. Análisis de diferentes secuencias de cultivos: aportes al sistema productivo. RIA. Revista de Investigaciones agropecuarias. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142018000200015 (consultado 15 setiembre 2022).

Zuccardi, R. B. y G. S. Fadda. 1985. Bosquejo agroecológico de la provincia de Tucumán. Miscelánea FAZ-UNT (86).