

**Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG).** Revista digital del Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 12, Número 17, 2020, Sección I: Artículos. pp. 1-10

---

## **EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA DEFORESTACIÓN EN EL NOROESTE DE LA PROVINCIA DEL CHACO 1986-2018: MEDIANTE EL USO COMBINADO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES**

**Dante Edin Cuadra<sup>1</sup>- Juan Ariel Insaurrealde<sup>2</sup> - Eloy Montes Galbán<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Nordeste – Instituto de Geografía

<sup>2</sup>CONICET-UNAM – Instituto de Biología Subtropical

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Luján – Instituto de Investigaciones Geográficas

Ruta Nacional 5 y Constitución

6700 – Luján – Provincia de Buenos Aires, Argentina

E-mail: [emontesgalban@gmail.com](mailto:emontesgalban@gmail.com)

### **RESUMEN**

El territorio que comprende la provincia del Chaco ha experimentado un notorio avance de la frontera agropecuaria en las últimas décadas, proceso en el que se han desmantelado amplias extensiones de bosques nativos, en el noroeste los departamentos Almirante Brown, General Güemes y Maipú comprenden una de las áreas más afectadas. En el presente estudio se analizó el proceso de deforestación en el noroeste de la provincia del Chaco, desde 1986 hasta 2018. Para alcanzar este objetivo se elaboraron mosaicos satelitales con imágenes *Landsat 5 TM* y *Landsat 8 OLI*, correspondiente a los valores de reflectancia de superficie. Con la implementación de la plataforma *Google Earth Engine* se generaron áreas de entrenamiento mediante la creación de colecciones de geometrías de tipo puntual (*Features Collections*) para luego realizar un proceso de clasificación supervisada basada en árboles de decisión (*CART-Classification and Regression Tree*). A través del *Land Change Modeler (LCM)* del software *TerrSet* versión 18.31 se calcularon las pérdidas y permanencias de la cobertura forestal para el periodo de estudio. Los resultados permiten afirmar que para los tres departamentos evaluados en un periodo de 32 años la pérdida de cobertura forestal alcanzó las 539.321 ha. El análisis y evaluación cuantitativa de los recursos naturales que contemple la detección de cambios espacio-temporales es fundamental para la valoración, monitoreo y soporte en la toma de decisiones con fines de planificación y manejo ambiental.

**Palabras clave:** Sistemas de Información Geográfica - Procesamiento Digital de Imágenes - Deforestación - Noroeste chaqueño.

## ABSTRACT

The territory that comprises the province of Chaco has experienced a noticeable advance of the agricultural frontier in recent decades, a process in which vast extensions of native forests have been dismantled, in the northwest the departments Almirante Brown, General Güemes and Maipú comprise one of the most affected areas. In the present study, the deforestation process in the northwest of the Chaco province was analyzed, from 1986 to 2018. To achieve this objective, satellite mosaics were elaborated with Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI images, corresponding to the surface reflectance values. With the implementation of the Google Earth Engine platform, training areas were generated by creating collections of point-type geometries (Features Collections) to later carry out a supervised classification process based on decision trees (CART-Classification and Regression Tree). Through the Land Change Modeler (LCM) of the TerrSet software version 18.31, the losses and permanence of the forest cover were calculated for the study period. The results allow to affirm that for the three departments evaluated in a period of 32 years the loss of forest cover reached 539,321 ha. The quantitative analysis and evaluation of natural resources that includes the detection of spatio-temporal changes is essential for the assessment, monitoring and support in decision-making for planning and environmental management purposes.

**Keywords:** Geographic Information Systems - Digital Image Processing - Deforestation - Northwest Chaco.

## INTRODUCCIÓN

La deforestación es una de las problemáticas ambientales más preocupantes por sus efectos directos en la calidad de los suelos, la pérdida del hábitat de las especies y la reducción de la biodiversidad, asimismo, está demostrado su efecto en el cambio climático, ya que, al tener menor superficie de bosques, mayor será la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Benjamín y Masera citado en Montes Galbán, Insaurralde, & Cuadra, 2017). Es por esto por lo que, en las últimas décadas se observó un mayor interés por el monitoreo, reporte, planificación y gestión de los bosques. En cuanto al monitoreo de los cambios en los bosques y su utilidad como indicador la FAO lo define de la siguiente forma:

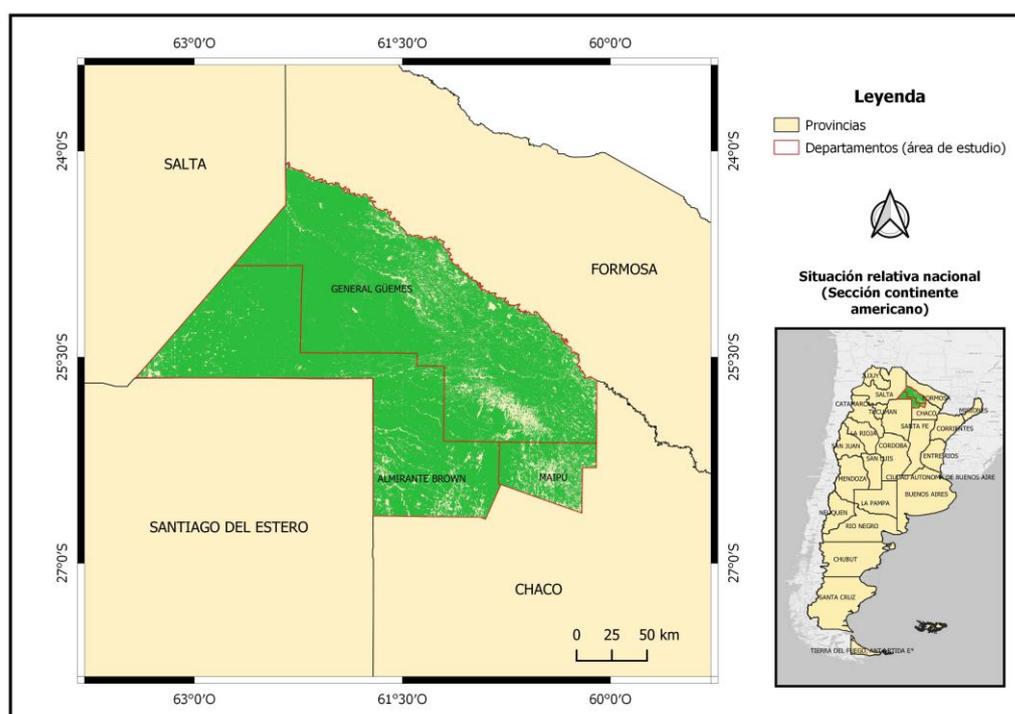
Los cambios en el bosque se pueden describir como un proceso de ganancias (expansión del bosque) y de pérdidas (deforestación). Este proceso en el área total de bosque proporciona un cuadro de cómo están cambiando todos los recursos forestales en conjunto. Su variación en los bosques naturales es quizás un indicador más adecuado de la dinámica del hábitat natural y de la biodiversidad. (FAO, 2015, p. 3)

El territorio que comprende la provincia del Chaco ha experimentado un notorio avance de la frontera agropecuaria en las últimas décadas, proceso en el que se han deforestado amplias extensiones de bosques nativos. En el reporte de la World Wildlife Fundation (WWF, 2015) se destaca la importante reducción de las áreas forestales en el ámbito de los Bosques Atlánticos y del Gran Chaco. Pero es en este último que la transformación se ha producido con valores elevados. Sostiene la WWF que:

En estudios recientes, la dinámica de la deforestación en el bioma (Gran Chaco) ha sido en torno a los 11,7 millones de hectáreas, de las cuales 7,9 ha corresponden a Argentina, 3,3 millones de ha a Paraguay y 0,5 millones de ha a Bolivia. (2015, p. 21)

La región analizada tiene un área aproximada de 46.384 Km<sup>2</sup> (Figura 1), limita al norte y noreste con la provincia de Formosa, al sur con los departamentos 9 de Julio, Comandante Fernández, General Belgrano e Independencia, al este con los departamentos Libertador General San Martín y Quitilipi y, al oeste, con la provincias de Salta y Santiago del Estero. El área de estudio presenta un clima cálido tropical con estación seca, la mayor superficie forma parte de la eco-región denominada Chaco Seco y solo una pequeña área al este en la eco-región Chaco Húmedo. Los departamentos localizados al noroeste de la provincia (Almirante Brown, General Güemes y Maipú) aún pueden ser considerados como verdaderos bastiones forestales, ya que conservan parte de las superficies de bosque nativo menos intervenidas con respecto al resto de la provincia, sin embargo, en los últimos años están registrando un incremento alarmante en la explotación de madera.

**Figura 1.** Localización del área de estudio



**Fuente:** elaboración propia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Fuente de datos y tratamiento digital de las imágenes

El proceso de clasificación de imágenes satelitales fue realizado en la plataforma *Google Earth Engine*<sup>1</sup> y, con el fin de ordenar los pasos metodológicos, se elaboraron 4 *scripts* con pasos consecutivos.

En una primera instancia se elaboró el mosaico satelital con imágenes *Landsat 5 TM* y *Landsat 8 OLI*, correspondiente a los valores de reflectancia de superficie<sup>2 3</sup> para ambas colecciones.

Las escenas que componen el mosaico final fueron seleccionadas empleando el criterio de cobertura nubosa al 10% con la finalidad de reducir el efecto atmosférico en las mismas, las imágenes resultantes fueron, para *Landsat 5* y *8* las identificadas en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1.** Path-row y fecha para *Landsat 5 TM*

Path	Row	Día	Mes	Año
227	079	19	02	1986
227	078	04	12	1986
228	077	27	12	1986
228	079	25	12	1986
229	077	05	10	1987
229	078	05	12	1987

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 2.** Path-row y fecha para *Landsat 8 OLI*

Path	Row	Día	Mes	Año
227	079	09	02	2018
227	078	09	02	2018
228	077	16	12	2017
228	079	16	12	2017
229	077	25	12	2017
229	078	23	11	2017

**Fuente:** elaboración propia.

Además, la elaboración del mosaico final se realizó considerando la mediana para las áreas de superposición de valores de celda.

<sup>1</sup> <https://earthengine.google.com/>

<sup>2</sup> [https://explorer.earthengine.google.com/#detail/LANDSAT%20FL05%20FC01%20FT1\\_SR](https://explorer.earthengine.google.com/#detail/LANDSAT%20FL05%20FC01%20FT1_SR)

<sup>3</sup> [https://explorer.earthengine.google.com/#detail/LANDSAT%20FL08%20FC01%20FT1\\_SR](https://explorer.earthengine.google.com/#detail/LANDSAT%20FL08%20FC01%20FT1_SR)

En una segunda etapa, se generaron las áreas de entrenamiento mediante la creación de colecciones de geometrías de tipo puntual en *Google Earth Engine (Features Collections)*. Las mismas fueron guardadas para su posterior uso en el proceso de clasificación. Este proceso se realizó tanto para el año 1986-87 como para el año 2017-18 por separado.

En una tercera etapa se realizó el proceso de clasificación de las imágenes utilizando el método de clasificación supervisada basada en árboles de decisión (*CART-Classification and Regression Tree*).

Las cinco categorías resultantes para ambas escenas fueron las siguientes: suelo desnudo, agua, pastizales, bosque y cultivo.

Finalmente, las imágenes clasificadas fueron sometidas a un proceso de validación, para asegurar su fiabilidad en su uso posterior, empleando la metodología de Olofsson et al. (2013).

### **Validación de la clasificación 1986 y 2018**

La escena correspondiente a 1986 fue validada en *QGIS 3.6* mediante el *plugin AcATaMa*<sup>4</sup> que emplea la metodología de Olofsson et al. (2013, 2014) para la validación de las clasificaciones.

Para el caso particular de las escenas de 1986 y 2018 se generaron 500 puntos aleatorios estratificados asignándole un total de 100 puntos por clase y mediante interpretación visual fueron asignados los valores correspondientes a las verdades de campos.

Según el método propuesto por Olofsson (2013) los errores de comisión (precisión del usuario) ocurren cuando un píxel es incluido incorrectamente en una categoría que está siendo evaluada y los errores de omisión (precisión del productor) ocurren cuando un píxel queda excluido de la categoría siendo evaluada. En la tabla 3, se muestran los valores de precisión para la escena de 1986, obteniendo una precisión global para la clasificación de 0.97165.

**Tabla 3.** Valores de precisión para la escena de 1986

User's accuracy matrix of estimated area proportion: Errores de comisión Classified values						Producer's accuracy matrix of estimated area proportion: Errores de omisión Classified values							
Thematic raster classes	1 (SD)	2 (A)	3 (P)	4 (B)	5 (C)	Thematic raster classes	1 (SD)	2 (A)	3 (P)	4 (B)	5 (C)		
	1	0.89	-	0.09	0.01		0.01	1	0.9283	-	0.0132	0.0001	0.0072
	2	-	0.98	0.01	-		0.01	2	-	0.9056	0.0009	-	0.0043
	3	0.01	0.01	0.91	0.06		0.01	3	0.064	0.0944	0.8166	0.0041	0.0439
	4	-	-	0.01	0.98		0.01	4	-	-	0.1328	0.995	0.6497
	5	0.01	-	0.34	0.09		0.56	5	0.0077	-	0.0366	0.0007	0.295

**Fuente:** elaboración propia.

<sup>4</sup> <https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/acetama/>

En la tabla 4, se muestran los valores de precisión para la escena de 2018, obteniendo una precisión global para la clasificación de 0.95539.

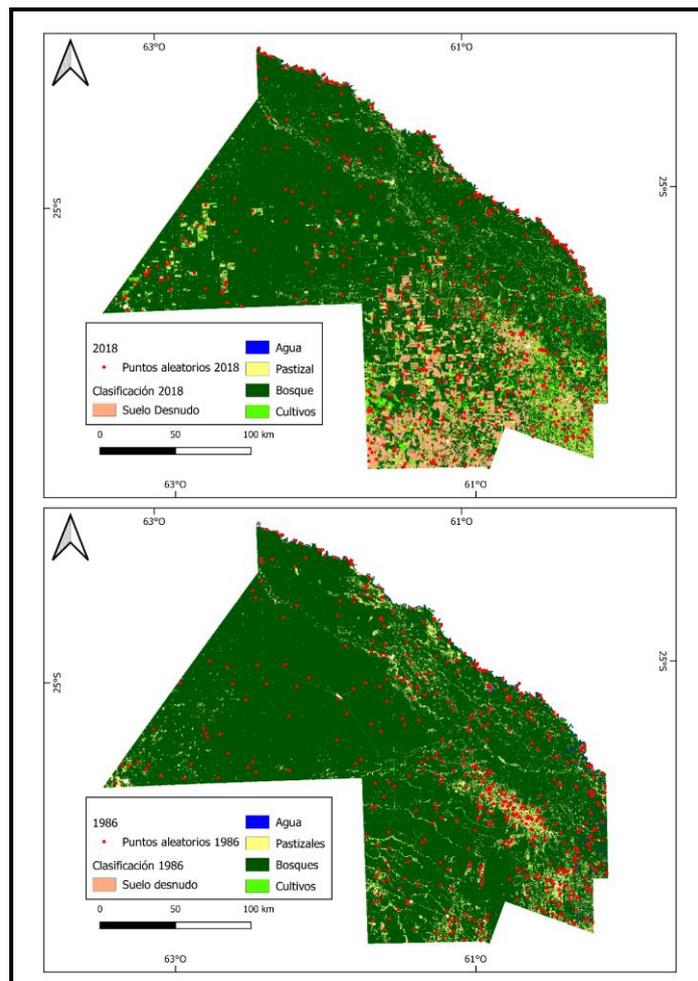
**Tabla 4.** Valores de precisión para la escena de 2018

User's accuracy matrix of estimated area proportion: Error de comisión Classified values						Producer's accuracy matrix of estimated area proportion: Error de omisión Classified values					
Thematic raster classes	1 (SD)	2 (A)	3 (P)	4 (B)	5 (C)	1 (SD)	2 (A)	3 (P)	4 (B)	5 (C)	
	1	0.97 -		0.02 -		0.01	0.95743 -		0.01871 -		0.02743
	2	-	0.98 -		0.02 -		-	1 -	4.00E-05 -		
	3	0.04 -		0.92	0.03	0.01	0.02808 -		0.61211	0.00246	0.01951
	4	-		0.03	0.97 -		-		0.25013	0.9975 -	
	5	0.03 -		0.26 -		0.71	0.01449 -		0.11905 -		0.95307

**Fuente:** elaboración propia.

En la figura 2, es posible observar la distribución de los puntos aleatorios para las escenas de 1986 y 2018.

**Figura 2.** Distribución de los puntos aleatorios para las escenas 1986 - 2018



**Fuente:** elaboración propia.

## **Procesamiento en el *Land Change Modeler***

En esta etapa de la investigación se tuvo en cuenta como referencia metodológica el trabajo desarrollado con anterioridad sobre la temática por el equipo de investigación (Montes Galbán, Insaurrealde, & Cuadra, 2017). El procesamiento de las imágenes clasificadas se llevó a cabo en los SIG de escritorio *TerrSet* versión 18.31 (Clark University, 2017) y la representación final en el *QGIS* versión 3.4.12 (QGIS Development Team, 2020). Como el objetivo requiere de obtener las estimaciones para el año 1986 y 2018, así como los cambios de las configuraciones territoriales, fue necesario realizar una secuencia de procedimientos de análisis espacial y estadístico a través del módulo *Land Change Modeler (LCM)* del *software TerrSet*, lo cual permitió calcular las pérdidas y permanencias de la cobertura forestal para el periodo de estudio.

Los procesamientos antes mencionados arrojaron como resultado las coberturas forestales para los años estudiados, así como una capa con la distribución de las áreas deforestadas, esto permitió obtener los valores absolutos y relativos de las pérdidas y permanencias de la cobertura de bosque en unidades de medida en hectáreas.

## **PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Los resultados representados en la cartografía final (Figura 3) permiten afirmar que, en el área comprendida por los tres departamentos evaluados (46.384 Km<sup>2</sup>) existía una cobertura forestal de 4.200.621 ha. en el año 1986 mientras que, para el 2018 pasaron a ser 3.661300 ha. resultando en una pérdida neta de cobertura forestal de 539.321 ha. en un periodo de 32 años. Al respecto de esta dinámica espacio-temporal del proceso de explotación forestal en el noroeste del Chaco:

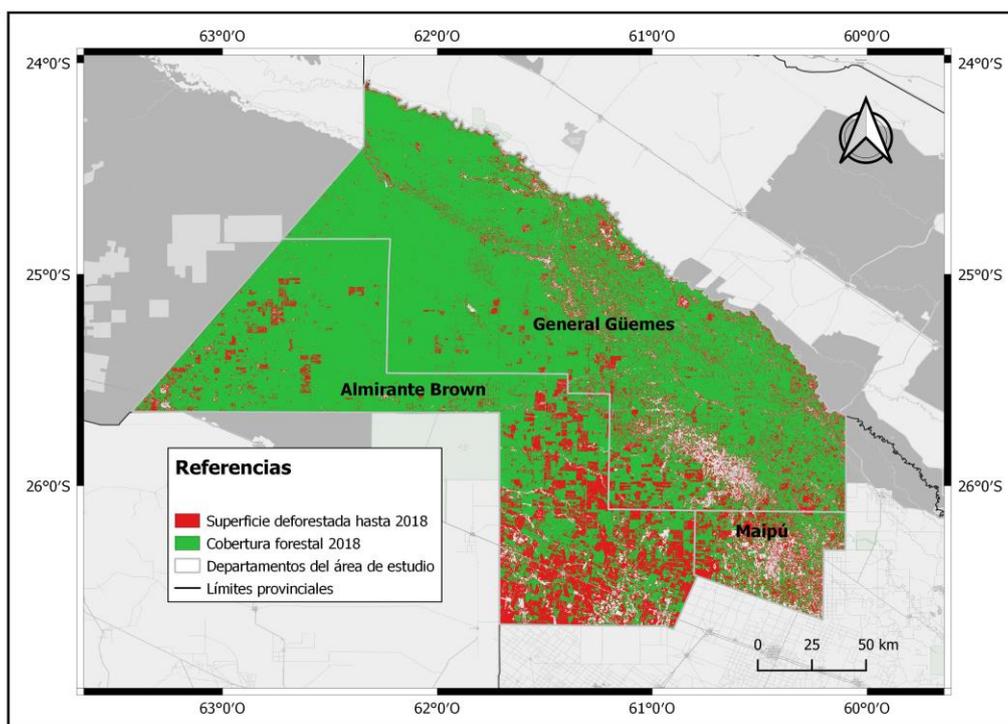
El centro gravitacional del proceso extractivo forestal fue desplazándose durante el corto pasado del Chaco: se inició en el sureste con pequeños obrajes antes del siglo XX y, durante gran parte de esta centuria, las fábricas de tanino se localizaron en diferentes puntos del oriente, sur y suroeste, aunque la explotación forestal también se expandía sobre el centro y norte del territorio. En la década de 1970 y siguientes se intensificaron los desmontes en el sector suroeste y, en los últimos años, el mayor volumen de maderas explotado tiene su origen en el área noroccidental. En los años que corresponden al siglo XXI, se observa cómo ese sector de la provincia (verdadero bastión forestal) ha ido incrementando sus aportes y, en la actualidad, lo hace con dos tercios del total de maderas producidas en el Chaco. (Cuadra, Montes Galbán, & Insaurrealde, 2019, p.213)

De un análisis sectorizado del área estudiada se desprende que, el cuadrante sureste es el más intervenido. Asimismo, en la clasificación inicial de la escena 2018, es posible percibir que gran parte de las tierras deforestadas son destinadas a actividades agropecuarias, estos resultados son coincidente con lo expuesto en análisis anteriores (Cuadra, Montes Galbán, & Insaurrealde, 2019, p.214):

El noroeste del Chaco se encuentra entre las jurisdicciones que más animales vacunos registran a nivel provincial y, a la vez, es el espacio que ha experimentado el mayor crecimiento de los stocks bovinos en los últimos años. No obstante, es el área que exhibe las densidades ganaderas más bajas. En oposición, el sector centro oriental del Chaco evidencia las mayores densidades bovinas. Ante este escenario, caracterizado por la existencia de un espacio

netamente ganadero, emplazado en la mitad oriental de la provincia y, la presencia de un potente núcleo agrícola emplazado en el centro suroeste, se colige que el único espacio con potencialidad para expandir e intensificar la actividad ganadera bovina en el Chaco (al menos con el patrón productivo tradicional) se localiza en el noroeste, situación que –justamente– se viene registrando en los últimos años.

**Figura 3.** Deforestación en el noroeste de la provincia del Chaco 1986-2018



**Fuente:** elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Los resultados preliminares permiten afirmar que para los tres departamentos evaluados en un periodo de 32 años la pérdida de cobertura forestal alcanzó las 539.321 ha, representando cerca de un 13% de la superficie de bosque del área evaluada.

El análisis a partir del procesamiento de los datos satelitales muestra claramente que la mayor transformación operada en el noroeste provincial durante el período 1986-2018 corresponde al sur del área de estudio (departamentos Almirante Brown y Maipú). Asimismo, existen un avance, un tanto más fraccionado hasta el momento, en el sector oeste de la jurisdicción Almirante Brown donde los bosques nativos han sido categorizados como II (aprovechamiento forestal y silvopastoril sustentable) según las zonificaciones establecidas en el Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos de la provincia del Chaco.

En el presente trabajo se destaca los aportes metodológico-técnicos del uso combinado de los Sistemas de Información Geográfica y el Procesamiento Digital de Imágenes con

el propósito de analizar y evaluar los recursos naturales a través de la detección de cambios espacio-temporales, ha quedado de manifiesto como su aplicación en la actualidad es fundamental para el monitoreo y valoración de los recursos forestales, permitiendo soportar la toma de decisiones con fines de planificación y manejo ambiental.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Clark University. (2017). *TerrSet. Versión 18.31*. Massachusetts: Clark Labs.

Cuadra, D. E., Montes Galbán, E., & Insaurralde, J. A. (2019). Territorialización y reterritorialización de las actividades agropecuarias en el Chaco. *XXXVIII Encuentro de Geohistoria Regional: VIII Simposio Región y Políticas públicas* (pp. 208-215). Resistencia: Instituto de Investigaciones Geohistóricas - CONICET/UNNE.

Instituto Geográfico Nacional. (2020). *Datos abiertos. Capas SIG*. Obtenido de <https://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>

Montes Galbán, E., Insaurralde, J. A., & Cuadra, D. E. (2017). Evolución y escenarios futuros de la deforestación en el suroeste de la provincia del Chaco, Argentina. *Estudios Socioterritoriales*(22), 121-131. Recuperado el 1 de Julio de 2017, de <https://revistaest.wixsite.com/revistaestcig/copia-de-no-21-enero-junio-2017>

Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., & Woodcock, C. E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment* (129), 122-131. doi:10.1016/j.rse.2012.10.031

Olofsson, P., Herold, M., Stehman, S., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment* (148), 42-57. doi:10.1016/j.rse.2014.02.015

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2015). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015 ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo?* Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/en/> (consulta 15 de octubre de 2015).

QGIS Development Team. (1 de agosto de 2020). *QGIS. Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto*. Obtenido de <https://qgis.org/es/site/>

World Wildlife Fundation (2015). *Living Forests Report*. Chapter 5: Saving Forests at Risk. Disponible en: [http://awsassets.panda.org/downloads/living\\_forests\\_report\\_chapter\\_5\\_1.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/living_forests_report_chapter_5_1.pdf) (consulta 15 de octubre de 2016).

© Dante Cuadra, Juan Ariel Insaurralde, Eloy Montes Galbán.

Cuadra, D.; Insaurralde, J.; Montes Galbán, E. 2020. Evaluación espacio-temporal de la deforestación en el noroeste de la provincia del Chaco 1986-2018: Mediante el uso combinado de Sistemas de Información Geográfica y Procesamiento Digital de Imágenes. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)*. 12(17)Sección I:1-10

On-line: [www.revistageosig.wixsite.com/geosig](http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig)

Recibido: 5 de mayo de 2019

Aceptado: 11 de agosto de 2019