



Universidad Nacional de San Martín
Fundación Innovación y Tecnología (FUNINTEC)
Director: Alberto Pochettino

Programa FUTUROS
Escuela de Posgrado: Agua + Humedales

Agriculturización y degradación de humedales: cambios e intensificación en el uso de la tierra y efectos sobre la biodiversidad taxonómica y funcional de la vegetación en el Bajo Delta del Paraná

(Trabajo de investigación)

Por Aquino, Diego Sebastián¹

Filiación:

¹ Laboratorio de Biodiversidad, Limnología y Biología de la Conservación-Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, UNSAM, Argentina. Email: daquino@unsam.edu.ar.

Registro del trabajo de investigación en el libro digital

Título del capítulo: Agriculturización y degradación de humedales: cambios e intensificación en el uso de la tierra y efectos sobre la biodiversidad taxonómica y funcional de la vegetación en el Bajo Delta del Paraná

Autor/es capítulo: Aquino, Diego Sebastián.

Páginas: 378-389

Título del libro: Agua + Humedales

Edición: 1ª edición.

Editor: UNSAM Edita.

Serie: Futuros

Fecha de publicación: junio 2018

Páginas: 485

Derechos: Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos, mencionando la fuente.

Idioma: Español

Identificación y acceso

ISBN: 978-987-4027-68-9

URL: <https://www.funintec.org.ar/contenidos/aguahumedales-es-el-primer-libro-de-la-serie-futuros/>

Cita del capítulo: Aquino, Diego Sebastián. (2018) Agriculturización y degradación de humedales: cambios e intensificación en el uso de la tierra y efectos sobre la biodiversidad taxonómica y funcional de la vegetación en el Bajo Delta del Paraná. En: Universidad Nacional de San Martín y Fundación Innovación Tecnológica (FUNINTEC). *Programa Futuros: Escuela de Posgrado: Agua + Humedales*. (Serie Futuros). Buenos Aires: UNSAM Edita.

Área de conocimiento

Área: Recursos naturales

Categoría: Ciencias ambientales e ingeniería

Palabras clave: ZONA HÚMEDA; EFECTO DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS; CRISIS ECOLÓGICA; EQUILIBRIO ECOLÓGICO; DESARROLLO SOSTENIBLE

Este documento forma parte de la Colección Programa FUTUROS del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Martín, desarrollado por la Biblioteca Central. El propósito es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica y con reconocimiento de la fuente.

Disponible en el Repositorio Institucional de la UNSAM

Aquino, D. S. (2018) Agriculturización y degradación de humedales: cambios e intensificación en el uso de la tierra y efectos sobre la biodiversidad taxonómica y funcional de la vegetación en el Bajo Delta del



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN



FUNINTEC
Fundación Innovación y Tecnología
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

**REPOSITORIO
INSTITUCIONAL**

BIBLIOTECA
CENTRAL

Paraná. En: Universidad Nacional de San Martín y Fundación Innovación Tecnológica (FUNINTEC). *Programa Futuros: Escuela de Posgrado: Agua + Humedales*. (Serie Futuros). Buenos Aires: UNSAM Edita. [En línea] Disponible en: Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Martín: Colección Programa Futuros. (PFAH 2018 TADS) <http://bit.ly/2gDqQLp> [Fecha de consulta:.....]

Agriculturización y degradación de humedales: cambios e intensificación en el uso de la tierra y efectos sobre la biodiversidad taxonómica y funcional de la vegetación en el Bajo Delta del Paraná¹



Diego Sebastián Aquino²

Palabras clave: Humedales; NDVI; fenología; diversidad funcional; uso del suelo.

1. Introducción

Los humedales son fundamentales para el ser humano, dado que proveen numerosos bienes y servicios ecosistémicos. Estos van desde agua, alimentos, fibras vegetales y materiales de construcción a servicios de regulación de inundaciones y enfermedades, formación de suelos productivos e, incluso, servicios recreacionales, espirituales o religiosos. Actualmente, se encuentran entre los ecosistemas más vulnerables frente al cambio climático debido a su estrecha dependencia con los regímenes térmico e hídrico [1] así como por los impactos antrópicos. Por esta razón, la degradación y pérdida de estos ecosistemas a nivel mundial ocurre más rápidamente [2].

El Delta del Paraná está sufriendo un acelerado proceso de transformación de sus ecosistemas, con

¹ Agradezco la infraestructura provista por el Instituto de Investigación en Ingeniería Ambiental (3iA) de la UNSAM, en donde desarrollo mi trabajo diariamente; la colaboración de las autoridades de la Sociedad Rural de Ibicuy y de los productores que la conforman, por permitirme el ingreso a los sitios de muestreo; del INTA Castelar, por permitirme, a través de mi codirector de tesis, el uso de una camioneta para ir al campo; y del CONICET, por proveerme una beca doctoral para realizar mis estudios.

² Laboratorio de Biodiversidad, Limnología y Biología de la Conservación-Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, UNSAM, Argentina.
daquino@unsam.edu.ar.

consecuencias desconocidas para su biodiversidad, sostenibilidad y provisión de servicios ecosistémicos. En este contexto, es necesario mencionar el proceso de pampeanización, entendido como el traslado del paquete tecnológico usado en la región pampeana para la agricultura y la ganadería hacia otras zonas del país, bajo el supuesto de que todos los ecosistemas se comportan de la misma forma y que los resultados obtenidos serán idénticos [3].

Producto de la “agriculturización” de la región pampeana, sobre todo en la última década del siglo XX y la primera del XXI, aconteció una reconfiguración territorial de la ganadería en todo el país. En consecuencia, una importante parte del *stock* ganadero fue desplazado hacia zonas de humedales como la región del Delta del Paraná, donde existen extensas superficies de pastizales con una alta productividad natural que constituyen una importante fuente de forraje [4] y agua de buena calidad para los diferentes sistemas ganaderos de producción de carne que se desarrollan en la región [5].

Al mismo tiempo, la expansión de complejos urbanos y la modificación de regímenes hídricos avanzan a una tasa sin precedentes [6, 7].

Los cambios anteriormente enunciados hicieron que la ganadería bovina en el Delta pasara de un sistema estacional y de baja carga a uno permanente y de alta carga. Esto implicó cambios en la modalidad de producción y la construcción de diques y terraplenes o la obstrucción de cursos de agua realizados con el fin de facilitar la circulación y evitar el ingreso de agua al interior de los campos, con la consiguiente alteración del régimen hidrológico [7].

Tal es así, que en el área de estudio se han detectado cambios en las coberturas vegetales asociadas a la intensificación de la actividad ganadera. La quintuplicación de cabezas de ganado expulsadas de la región pampeana por la expansión sojera determina la transformación de áreas de humedales en pastizales [8]. Sin embargo, no se conoce cuándo ni cómo han sucedido, si son graduales o repentinos y si realmente se expresan en el componente funcional de las comunidades vegetales asociadas.

La vegetación se utiliza como indicadora de las condiciones ambientales para monitorear el estado de los cambios del funcionamiento ecosistémico. Los indicadores pueden ser especies dominantes, diversidad específica, tipos funcionales de plantas (TFP) o valores promedio de los rasgos funcionales [9]

o índices verdes de vegetación como el NDVI [10]. El componente funcional aporta información complementaria al análisis de especies o comunidades, y un enfoque posible es medir rasgos funcionales e identificar Tipos Funcionales de Plantas (TFP) que pueden responder a las condiciones ambientales o a los disturbios, así como afectar el funcionamiento ecosistémico [11]. Por otro lado, la combinación lineal de las bandas roja (R) e infrarroja (IR) en sensores remotos puede ser empleada para monitorear la biomasa fotosintéticamente activa de la vegetación [10] y construir series temporales de NDVI. Para el análisis de series temporales largas, que incluyen muchos ecosistemas, es común optar por modelos simples que sean capaces de: (1) explicar la variabilidad fenológica típica del ecosistema y (2) detectar perturbaciones importantes en estos patrones típicos [12].

La sostenibilidad en la provisión de bienes y servicios en el Delta dependerá de las condiciones estructurales y funcionales de su hábitat, como de la manera en que sus recursos van a ser manejados y la forma en que se van a gestionar las actividades humanas [13, 14]. En este contexto, resulta imprescindible establecer políticas y mecanismos para el manejo sostenible y la conservación a largo plazo de los humedales [14]. Si se pretende conservar la diversidad ecológica de la región, se debe contribuir a mantener, o al menos no afectar significativamente, los factores que la determinan [7]. Los resultados de este estudio permitirán comprender los efectos de las actividades humanas en la condición y funcionamiento de las comunidades vegetales del Bajo Delta, contribuyendo sustancialmente a la disciplina de ecología de humedales y generando recomendaciones de manejo que permitan conservar y manejar en forma sostenible uno de los humedales más importantes y amenazados de la Argentina.

2. Objetivos

Detectar áreas de cambio desde un punto de vista funcional, en términos de la dinámica de la vegetación y de los patrones de disturbios y estrés ambiental, a partir de datos de NDVI derivados de las observaciones del sistema Terra-MODIS y/o LANDSAT (L1T) y evaluar su tendencia temporal entre 1999 y 2016.

Estudiar la dinámica temporal del cambio en las características y funcionamiento de la vegetación en áreas con cambio o intensificación del uso del suelo y áreas sin cambio.

Clasificar el área de estudio en Unidades Funcionales de Ecosistema (UF).

Integrar aspectos del componente taxonómico, funcional y fenológico de la vegetación para evaluar la producción primaria neta de la región.

3. Actividades y metodología

3.1. Área de estudio

El área de estudio se ubica en el Bajo Delta del río Paraná, en la porción terminal de la Cuenca del río Paraná [13]. La región constituye una compleja planicie inundable con características biogeográficas y ecológicas únicas en la Argentina [7], cuya elevada heterogeneidad ambiental permite la yuxtaposición de diferentes comunidades de flora y fauna, resultando en una alta biodiversidad [13]. Está conformada por 5 Unidades de Paisaje, producto de su historia geomorfológica y su complejo régimen hidrológico, los que condicionan su perfil diferencial en términos de vegetación, fauna silvestre y de las actividades humanas que se desarrollan en él [13]. Al mismo tiempo, constituye el límite sur de distribución de varias especies tanto animales como vegetales [7]. Dentro de las actividades productivas más representativas se destacan la ganadería extensiva, la forestación de álamo y sauce, y el manejo mixto silvopastoril [13].

En el marco de este estudio, se propone trabajar con aquellas Unidades de Paisaje afectadas principalmente por la ganadería en el Bajo Delta del río Paraná (fig. 1): ZG-5, ZG-6 y ZG -7 [15], correspondientes a las Unidades de Paisaje F, C2, C3, y H de [16], o Unidades I, IIa, II y III descriptas por [13].

Como se ha mencionado en la introducción, la transición hacia un sistema cada vez más intervenido implica un cambio en las condiciones ecológicas de la región. Considerando que se está cambiando de un sistema más húmedo a uno más seco, la sustitución de tipos de cobertura (fig. 2) [8] implicaría una modificación en la fenología de las comunidades vegetales. En este contexto, la evaluación del componente funcional es necesaria para diagnosticar integralmente las propiedades de las

comunidades vegetales y del ecosistema. Cabe destacar que, hasta el momento, este tipo de trabajos no se han llevado a cabo en la zona. Al mismo tiempo, se desconoce cuándo y cómo se han dado estos cambios.

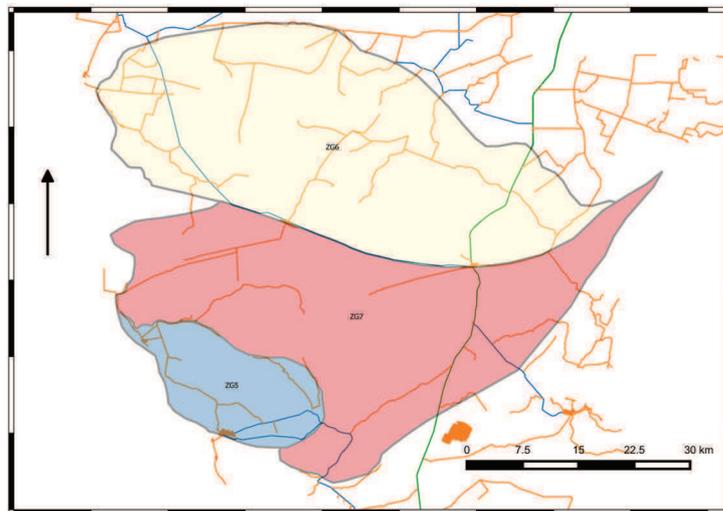
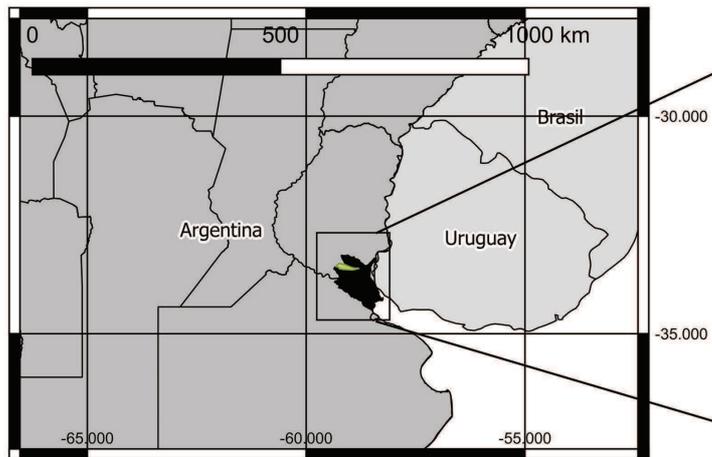


Figura 1. Arriba: Mapa del Bajo Delta del río Paraná (Negro) en la porción centro-este de Argentina. Fuente: IGN. Abajo: Unidades Ganaderas (Quintana *et al.*, 2014) y caminos (verde: autopistas; azul: rutas; naranja: camino rural). Fuente: [15].

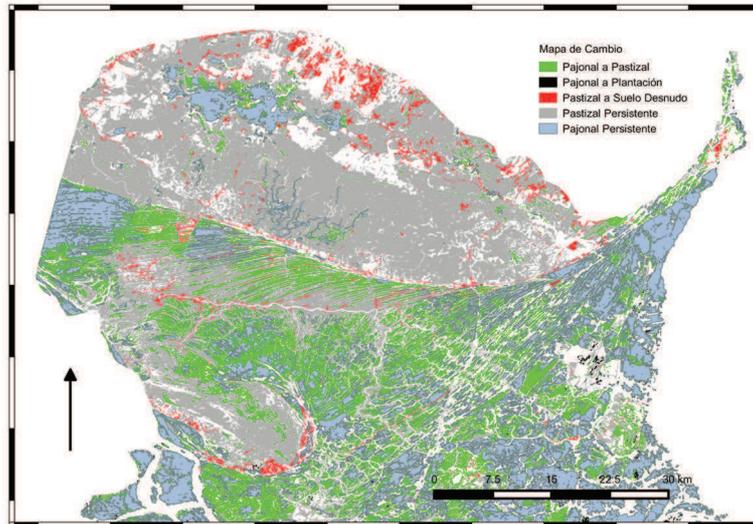


Figura 2. Mapa de cambio de coberturas 97-13. [8]. De ahora en más, “sitios de cambio” son pajonal a pastizal y pastizal a suelo desnudo. Mientras que “sitios no cambio” son pajonal persistente y pastizal persistente. Fuente: [8].

3.2. Tareas a desarrollar

1) Obtención de patrones funcionales a partir de NDVI. Determinación y caracterización de unidades funcionales (UF) de paisaje.

Se trabajará con base en un mapa elaborado a partir de imágenes de tipo Landsat de los años 1997-2013 [8], (fig. 2). Se seleccionarán “sitios de cambio” y “sitios no cambio” para después comparar las tendencias fenológicas a lo largo del tiempo, en el período 1997-2016.

A partir del NDVI, sensible al contenido de clorofila presente en las coberturas vegetales [17,18], se definirán ambientes en términos del patrón temporal de NDVI.

Con esta aproximación se busca caracterizar zonas homogéneas desde el punto de vista funcional. Cada una de las zonas que se obtienen presenta una firma temporal cuyo análisis permite evaluar su sensibilidad frente a la variabilidad ambiental. Esto se basa en la capacidad de la señal para capturar tanto alteraciones en los patrones de precipitación o temperatura como de presencia de eventos tales como inundaciones, incendios o cambios en la cobertura del suelo. La determinación y caracterización

de unidades funcionales de ecosistema se basa en la premisa de que el patrón de crecimiento de la vegetación está íntimamente relacionado con las condiciones climáticas generales. A su vez, modeladas a escala local por las condiciones litológicas, edáficas y geomorfológicas que afectan el balance hídrico [19].

Se seleccionarán estaciones meteorológicas de la provincia de Buenos Aires, Entre Ríos y sus alrededores que presenten registro en el intervalo 1999-2016, y se encuentren distribuidas de forma tal de abarcar toda el área de estudio [19]. También se trabajará con los datos del Instituto Nacional del Agua (INA) correspondientes a los parámetros hidrológicos de la Cuenca del Plata. En lo posible, se obtendrán datos cada 15 días coincidiendo con los intervalos de tiempo de los productos MODIS/LANDSAT utilizados.

En el caso de utilizar Imágenes MODIS, se analizarán los valores del índice verde NDVI del producto MOD13Q114 (cuadrante h12v13) con una resolución espacial de 250 m para la serie de tiempo comprendida entre enero del año 1999 y enero del año 2016/7 [20].

En el caso de utilizar Imágenes LANDSAT de resolución espacial de 30 m, la data dentro de la colección *Tier 1* será la de mayor calidad disponible y nivel de procesamiento (L1T), y en consecuencia, apropiada para análisis y procesamiento de series temporales. La información estará caracterizada y corregida radiométricamente, y será intercalibrada entre los diferentes sensores LANDSAT. La geolocalización de cada escena LANDSAT será consistente y dentro de los límites de tolerancia prescriptos (<http://landsat.usgs.gov//landsatcollections.php>). El índice NDVI será calculado para cada escena con el software correspondiente, también para la serie temporal comprendida entre enero de 1999 y enero de 2017. Dado que existen varios elementos del paisaje del Bajo Delta del Paraná que tienen una escala menor a los 250 m de MODIS, los esfuerzos están orientados a la obtención de imágenes LANDSAT. En este caso, se pierde resolución temporal a cambio de resolución espacial. Como se trabaja en una ventana de tiempo amplia (casi 20 años), se permiten algunas ausencias en la serie temporal.

Posteriormente, se generarán imágenes multitemporales de NDVI mediante el ensamble de todas las imágenes MOD13Q1/LANDSAT disponibles para el cuadrante e intervalo de tiempo de estudio. Se clasificará el ensamble de imágenes por medio de un algoritmo no supervisado (ISODATA) implementado en el

programa ENVI para identificar las UF con diferentes patrones de comportamiento temporal para el índice [21, 22]. Los criterios de clasificación serán fijados según [23] y [24].

Para cada Unidad Funcional (UF) se extraerá su perfil temporal como el valor del NDVI medio para cada fecha durante el período estudiado mediante el algoritmo *BFAST* en R, para detectar posibles cambios en tendencia y fenología de los sitios [25]. Se analizará la tendencia temporal monótona de cada perfil mediante el test de Mann-Kendall [26, 27]. Esta prueba estima si las observaciones posteriores en el tiempo tienden a ser mayores o menores, con lo cual se observa una tendencia a creciente o decreciente respectivamente.

2) Productividad Primaria Neta.

En los sitios de muestreo seleccionados se buscará evaluar y comparar de manera integrada la Productividad Primaria Neta a fin de confrontar áreas con diferentes modalidades productivas.

Por un lado, la estrecha relación entre el NDVI y la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida posibilita el uso de este índice como potencial indicador de la productividad fotosintética a escala global y de paisaje [28]. Constituye, además, un buen indicador del estado de un ecosistema, dado que una tendencia decreciente en el tiempo se halla relacionada con procesos de degradación del ambiente [29]. En este caso, la relación entre la PPN aérea (PPNA) y el NDVI se realizará a través de un modelo empírico [30, 31, 32] basado en la eficiencia en el uso de la radiación. Este modelo ha sido ampliamente utilizado y puesto a prueba en distintos tipos de ambientes naturales y antropizados [33, 29, 34, 35, 36], incluso para la evaluación de impacto por cambios en el uso del suelo [37].

Bibliografía

- [1] **Brinson, M.** (2006). “Consequences for wetlands of a changing global environment”, en Batzer, D. P. y Sharitz, R. R. (eds.): *Ecology of freshwater and estuarine wetlands*. Berkley, University of California Press, pp. 436-461.
- [2] **Millennium Ecosystem Assessment** (2005). *Ecosystems and Human Well-being*. Washington DC, Island Press and World Resources Institute.
- [3] **Pengue, W.** (2004). “Producción, agroexportadora e (in)seguridad alimentaria: El caso de la soja en Argentina”, *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 1, pp. 46-55.
- [4] **Magnano, A. et al.** (2013). “Ganadería en humedales. Respuestas de la vegetación a la exclusión del pastoreo en tres tipos de ambientes en un paisaje del Delta del Paraná”, *RASA-DEP* 5, pp. 137-148.
- [5] **Rossi, A. C. et al.** (2014). *Plantas de interés ganadero de la región del Bajo Delta del Paraná (Argentina)*. Lomas de Zamora, Editorial UNLZ, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Lomas de Zamora.
- [6] **Bó, R. F. et al.** (2010). *Efectos de los Cambios en el régimen hidrológico por las actividades humanas sobre la vegetación y la fauna silvestre del Delta del Río Paraná. En. Endicamientos y terraplenes en el Delta del Paraná: Situación, efectos ambientales y marco jurídico*. Buenos Aires, Fundación Humedales/Wetlands International, pp. 33-64.
- [7] **Quintana, R. D. y Bó, R. F.** (2011). *Caracterización general de la región del Delta del Paraná. En. Endicamientos y terraplenes en el Delta del Paraná: Situación, efectos ambientales y marco jurídico*. Buenos Aires, Fundación Humedales/Wetlands International, pp. 5-14.
- [8] **Sica, Y. V. et al.** (2016). “Wetland loss due to land use change in the Lower Paraná River Delta, Argentina”, *Science of the Total Environment* 568, pp. 967-978.

- [9] Garnier, E. y Navas, M. L. (2012). "A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review", *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), pp. 365-399.
- [10] Tucker, C. J. (1978). *Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation*. NASA Technical Memorandum 79620.
- [11] Hamilton, A. J. (2005). "Species diversity or biodiversity?", *Journal of Environmental Management*, 75(1), pp. 89-92.
- [12] Salvia, M. M. (2010). *Aporte de la teledetección al estudio del funcionamiento del macrosistema Delta del Paraná: análisis de series de tiempo y eventos extremos*, tesis de doctorado, Universidad de Buenos Aires.
- [13] Kandus, P.; Quintana, R. D. y Bó, R. F. (2006). *Patrones de paisaje y biodiversidad del Bajo Delta del Río Paraná. Mapa de ambientes*. Buenos Aires, Pablo Casamajor Ediciones.
- [14] Quintana, R. D. (2011). "El patrimonio natural y cultural desde la perspectiva de la conservación de los humedales", en: *El patrimonio natural y cultural del Bajo Delta Insular del Río Paraná*. Buenos Aires, Aprendelta, pp. 19-28.
- [15] Quintana, R. D. et al. (2014). *Lineamientos para una ganadería ambientalmente sustentable en el Delta del Paraná*. Buenos Aires, Fundación Humedales/Wetlands International LAC.
- [16] Malvarez, A. I. (1997). *Las comunidades vegetales del Delta del Río Paraná. Su relación con factores ambientales y patrones del paisaje*, tesis doctoral, FCEyN, Universidad de Buenos Aires.
- [17] Grist, J.; Nicholson, S. E. y Mpolokang, A. (1997). "On the use of NDVI for estimating rainfall fields in the Kalahari of Botswana", *Journal of Arid Environments* 35, pp. 195-214.
- [18] Tarpley, J.; Schneider, S. y Money, R. (1984). "Global vegetation indices from NOAA-7 meteorological satellite", *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 23, pp. 491-494.

[19] Schivo, F. M. (2015). *Modelos de respuestas de anfibios frente a cambios ambientales en humedales de Corrientes*, tesis de doctorado, Universidad de Buenos Aires.

[20] Huete, A. R.; Justice, C. y Van Leeuwen, W. (1999). MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document. Version 3.0. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771. Disponible en: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/land_atbd.php.

[21] Tou, J. T. y González, R. C. (1974). *Pattern Recognition Principles*. Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, Reading.

[22] Richards, J. A. (1999). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Berlin, Springer-Verlag.

[23] Jensen, J. R. (1986). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. New Jersey, Prentice-Hall.

[24] Richards, J. A. (1986). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. Berlin, Springer-Verlag.

[25] Verbesselt, J. *et al.* (2010). "Phenological Change Detection while Accounting for Abrupt and Gradual Trends in Satellite Image Time Series", *Remote Sensing of Environment*, 114(12), pp. 2970-2980.

[26] Mann, H. B. (1945). "Nonparametric tests against trend", *Econometrica* 13, pp. 245-259.

[27] Hipel, K. W. y Mcleod, A. I. (2005). *Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems*. Disponible en <http://www.stats.uwo.ca/faculty/aim/1994Book/>.

[28] Pettorelli, N. *et al.* (2005). "Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change", *Trends in Ecology and Evolution*. Vol. 20(9), pp. 503-510.

[29] Paruelo, J. M. y Oesterheld, M. (2000). "Estimation of primary production of subhumid rangelands from remote sensing data", *Applied Vegetation Science*, 3(2), pp. 189-195.

- [30] **Monteith, J. L.** (1972). "Solar radiation and productivity in tropical ecosystems", *Journal of Applied Ecology* 9, pp. 747-766.
- [31] **Monteith, J. L.** (1977). "Climate and efficiency of crop production in Britain", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B 281, pp. 277-294
- [32] **Kumar, M. y Monteith, J. L.** (1981). "Remote sensing of crop growth" en Smith, H. (ed.): *Plants and the daylight spectrum*. London, Academic Press, pp. 133-144.
- [33] **Paruelo, J. M. et al.** (1997). "ANPP Estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the United States", *Ecology*, 78(3), pp. 953-958.
- [34] **Jobbágy, E. G.; Sala, O. E. y Paruelo, J. M.** (2002). "Patterns and control of primary production in the Patagonian Steppe: a remote sensing approach", *Ecology* 83, pp. 307-319.
- [35] **Baeza, S. et al.** (2010). "Spatial variability of above-ground net primary production in Uruguayan grasslands: a remote sensing approach", *Applied Vegetation Science*, 13(1), pp. 72-85.
- [36] **Irisarri, J. G. N. et al.** (2012). "Patterns and controls of above-ground net primary production in meadows of Patagonia. A remote sensing approach", *Journal of Vegetation Science*, 23(1), pp. 114-126.
- [37] **Guerschman, J. P. et al.** (2003). "Land use impacts on the Normalized difference vegetation index in temperate Argentina", *Ecological Applications* 13, pp. 616-628.