

# La variabilidad climática por efecto del ENOS afecta diferencialmente la productividad de complejos ecosistémicos del centro de Argentina

Marcelo Luciano Gandini,<sup>1\*</sup> & Bruno Daniel Lara<sup>1,2</sup>

1 BIOLAB, Facultad de Agronomía Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Azul, Buenos Aires; 2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) Argentina. \* [mgandini@azul.faa.unicen.edu.ar](mailto:mgandini@azul.faa.unicen.edu.ar)

## RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento de la productividad de materia seca estimada con los datos de "Dry Matter Production" (DMP), un estimador de la productividad de materia seca aérea elaborado por la agencia espacial europea (ESA), en diferentes "Complejos Ecosistémicos" durante diferentes estados de El Niño Oscilación Sur (ENOS) a lo largo de una transecta en la zona central de Argentina, comparando lo que denominamos una "hipótesis regional" que predice más lluvias y mayor productividad de los ecosistemas cuando ocurren eventos "El Niño" y lo contrario para eventos "La Niña" comparado con un estado "Neutro" del ENOS. Se encontró que la hipótesis regional no se cumple en todos los complejos ecosistémicos. Existen diferencias entre la respuesta de los ecosistemas regionales a la escala estudiada, en el comportamiento de la productividad, medida como DMP entre los distintos estados climáticos ENOS: los que se ubican alrededor de la zona de la cuenca del plata tienen mayor productividad de materia seca en estado "Niña" y, en estado "Niño", los ecosistemas del sudeste de la zona de estudio tampoco responden a esta hipótesis.

**Palabras clave:** El Niño Oscilación Sur, Complejos Ecosistémicos, Productividad de Materia seca

## ABSTRACT

The objective of the work was to evaluate the behavior of the dry matter productivity estimated with the data of "Dry Matter Production" (DMP), an estimator of the productivity of aerial dry matter elaborated by the European Space Agency (ESA), in different "Ecosystem Complexes" during different states of the El Niño Southern Oscillation (ENSO) along a transect in central Argentina, comparing what we call a "regional hypothesis" that predicts more rainfall and greater ecosystem productivity when events occur "El Niño" and the opposite for "La Niña" events compared to a "Neutral" ENSO state. It was found that the regional hypothesis is not fulfilled in all ecosystem complexes. There are differences between the response of regional ecosystems at the scale studied, in the behavior of productivity, measured as DMP between the different ENSO climatic states: those located around the La Plata basin area have higher dry matter productivity in the "Niña" state and, in the "Niño" state, the ecosystems of the southeast of the study area do not respond to this hypothesis either.

**Key-words:** El Niño Southern Oscillation, Ecosystem Complexes, Dry Matter Productivity

## INTRODUCCIÓN

La visión espacial que brindan los Sensores Remotos constituye una herramienta importante en la planificación de recursos naturales y en el seguimiento de eventos naturales como sequías, inundaciones y otros (Da Silva et al., 2014). Estas herramientas son interesantes para lograr aproximaciones novedosas que permitan conocer y gestionar mejor los sistemas ecológicos (Cabello y Paruelo 2008).

El uso más difundido de la teledetección ha estado asociado a las descripciones de tipos de usos/coberturas del suelo, caracterizando la heterogeneidad del paisaje y su patrón espacial (Cabello y Paruelo 2008). A pesar del alto impacto que ha tenido este enfoque en los estudios ecológicos, la utilización de los sensores remotos brinda la capacidad de ir un poco más allá de lo estructural y analizar aspectos funcionales de los ecosistemas (Lara et al., 2018). A esta escala, el análisis de atributos

funcionales de los ecosistemas involucra evaluar diferentes aspectos del intercambio de materia y energía entre la biota y la atmósfera (Noss 1990). El fenómeno climático ENOS (El Niño - Oscilación del Sur) está dado por la alternancia de anomalías de temperaturas del océano Pacífico ecuatorial. Éste incluye dos fases contrapuestas: "El Niño", producida por el calentamiento atípico de las aguas tropicales del océano Pacífico, y "La Niña", producida, por el enfriamiento de las mismas. Entre estas dos fases hay periodos neutros o "medios" donde el fenómeno no ocurre. Esta oscilación de temperaturas causa grandes variaciones climáticas en todo el mundo, provocando aumentos o disminución de las precipitaciones y temperaturas dependiendo de la zona.

Los eventos ENOS se han relacionado con la defoliación casi completa de manglares, hierbas alpinas, bosques boreales y otros (Holmgren et

al., 2001). La evaluación de la dinámica de la vegetación a partir de datos derivados de satélites en la región de América del Sur se está volviendo cada vez más importante para que los estudios de modelado climático puedan capturar las variaciones de vegetación por efecto de la ENOS en la variabilidad interanual (Barbosa et al., 2015; Brendel et al., 2017).

Numerosos estudios muestran que la ENOS tiene importantes implicaciones para el funcionamiento de diferentes ecosistemas, desde desiertos hasta bosques tropicales húmedos (Gandini y Castellar 2014). Los impulsos inducidos por ENOS de una mayor o menor productividad de la vegetación pueden impactar en cascada a través de la red alimentaria invocando retroalimentaciones imprevistas. Además, los cambios producidos en el régimen hídrico tanto por causas naturales como antrópicas afectan directamente a los diversos ecosistemas terrestres modificando su productividad. Estos cambios en la productividad de las comunidades vegetales, afectan directamente las actividades productivas, como en el caso de las forestales. La productividad de la materia seca (Dry Matter Productivity; DMP) representa la tasa de crecimiento general o el aumento de la biomasa seca de la vegetación y está directamente relacionada con la productividad primaria neta (NPP) del ecosistema. Históricamente esta productividad ha sido estimada (y modelada su variación) por los ecólogos mediante cosechas de biomasa, pero en los últimos años, el desarrollo de las aplicaciones satelitales ha llevado a que las distintas agencias espaciales intenten diferentes

aproximaciones a su cálculo global mediante teledetección. Así, la National Aeronautics and Space Administration (NASA) desde el Earth Observing System de Estados Unidos, ha realizado cálculos de la misma en base a los datos de sus plataformas satelitales MODIS (Zhao et al., 2020). Por otro lado, la agencia espacial europea utilizó sus datos de las series de satélite de NDVI (Vegetation, Proba-V, y Sentinel OLCI) para realizar similares estimaciones con unidades personalizadas para fines agroestadísticos (en kg/ha/día).

El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento de la productividad de materia seca (estimada con los datos de DMP) de diferentes "Complejos Ecosistémicos" (CE) (Morello et al., 2012) en diferentes estados ENOS a lo largo de una transecta en la zona central de Argentina, comparando lo que denominamos una "hipótesis regional" que predice más lluvias y por ende mayor productividad de los ecosistemas cuando ocurren eventos "El Niño" y lo contrario para eventos "La Niña" comparado con un estado "Neutro" del ENOS.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de Estudio comprendió una transecta de Oeste a Este entre los 31,2 y 42,6 grados de Latitud Sur que contiene complejos de ecosistemas del centro de Argentina (Figura 1).

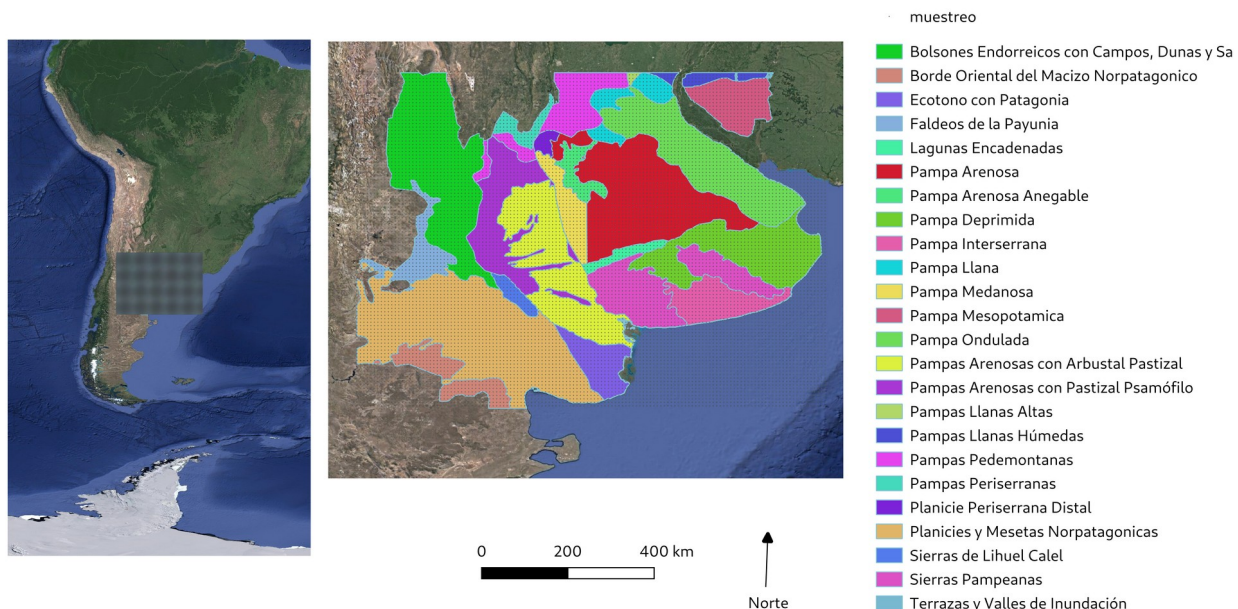


Figura 1: Complejos ecosistémicos de Morello et al. (2012) con la grilla de puntos de muestreo superpuesta (10 K puntos)

Se utilizó una serie temporal global de datos de productividad de materia seca calculados por la Agencia Espacial Europea (ESA, COPENICUS, Swinnen et al 2022). La definición del estado ENOS, para cada imagen, fue de acuerdo a los datos NINO 3.4 proporcionados por la National Oceanic an Atmospheric Administration (NOAA) de Estados Unidos. Los datos utilizados correspondieron a un subset de datos de Productividad de Materia Seca (DMP) del período 2014-2022, disponibles en el sitio de VITO (ESA). Los mismos corresponden al procesamiento de datos de NDVI de los sensores PROBA-V y Sentinel OLCI de 300 m de resolución espacial, datos de eficiencia de uso de la radiación derivados de datos meteorológicos, datos de cobertura terrestres (uso) y FAPAR (Fracción de uso de radiación fotosintéticamente activa). Para más detalles sobre el algoritmo ver Swinnen (2022). Los mismos, junto con los datos de calidad del pixel, fueron importados, y manipulados mediante el software QGIS 3.28.1-Firenze. De esta manera se obtuvieron 3 series temporales de ENOS; una para el estado "neutro" (2014-2015; 35 imágenes), una para el estado "Niño" (2015-2016; 34 imágenes) y otra para el estado "Niña" (2020-2022; dos años; 70 imágenes).

Los datos se compilaron en el GIS junto a un vector de los complejos ecosistémicos definidos por Morello et al. (2012). Luego se realizó un muestreo de 10000 puntos regulares sobre cada imagen (Figura1), mediante el plugin "point sampling tool" de QGIS, obteniéndose la pertenencia de cada pixel a cada complejo ecosistémico, y los valores de las series temporales de DMP en un archivo vectorial (.shp) de puntos, cuya base de datos es capaz de ser leída por una planilla de cálculo. Los puntos de muestreo fueron previamente filtrados en QGIS, de acuerdo a los parámetros de calidad de las

imágenes (Swinnen et al 2022), descartándose aquellos que tuvieran reducida la misma o existieran datos faltantes en alguna de las fechas analizadas, obteniéndose 7576 datos con las características deseadas. La base de datos resultante fue luego exportada a un software estadístico.

El análisis estadístico realizado consistió en un test de ANOVA no-paramétrico de Friedman para los pares de combinaciones de estados ENOS, en el que se probó la significación de la diferencia de valores máximos promedios de cada CE en los distintos estados climáticos. Luego se realizó un test de Wilcoxon para comparar los datos de DMP de a pares de complejos ecosistémicos en estados Niña y Niño contra el estado Neutro.

### Resultados y Discusión

El test de Wilcoxon, cuando se compara los estados de a pares, muestra que existen diferencias significativas solamente para el estado "Niña" vs "Neutro" ( $p < 0,0006$ ) mientras que esto no ocurre para "Niño" vs. "Neutro" ( $p < 0,12$ ). Estos resultados indican, para la hipótesis planteada a escala regional, que la misma se cumple parcialmente tanto en el tiempo como en el espacio, solamente para el estado "Niña".

Un cambio de escala, permite encontrar diferencias de comportamiento entre los distintos complejos ecosistémicos. Los resultados que se presentan en la Tabla 1 reflejan diferencias altamente significativas para todas las fechas analizadas, explicadas por el comportamiento de algunos complejos. Por otro lado, para el análisis debe tenerse en cuenta además la gran diferencia entre la representatividad espacial de los distintos complejos ecosistémicos, con 1295 puntos de muestreo para las planicies y mesetas norpatagónicas y sólo 3 datos para terrazas y valles de inundación.

Tabla 1: Valores promedios de los máximos por píxel de DMP ( $\times 100$ , tal como se distribuyen en el sitio VITO) para estados ENOS: Neutro, Niña, y Niño, la diferencia entre los mismos y número de pixeles de datos utilizado (N). El test de Friedman arroja valores de ANOVA Chi Cuadrado ( $N = 24$ ,  $df = 2$ ) = 7,750000; una  $p = 0,02076$  Coef. de Concordancia = 0,16146 rank promedio  $r = 0,12500$ . Se resaltan las diferencias que no cumplieron con la hipótesis regional.

Complejo Ecosistémico	Neutro	Niña	Niño	Dif_Niña	Dif_Niño	N
Bolsones EndorreicosC. D. y Salares	4835,85	3666,64	3775,77	1169,21	1060,08	486,00
Borde Oriental Macizo Norpatagonico	1490,62	1293,83	9056,44	196,79	-7565,82	144,00
Ecotono con Patagonia	5701,81	4620,41	9593,97	1081,40	-3892,15	162,00
Faldeos de la Payunia	2234,37	1656,68	9250,02	577,69	-7015,65	180,00
Lagunas Encadenadas	11320,46	10373,74	6273,61	946,72	5046,85	50,00
Pampa Arenosa	13458,82	12786,12	4044,38	672,70	9414,44	893,00
Pampa Arenosa Anegable	13590,12	11726,42	6942,40	1863,70	6647,72	84,00
Pampa Deprimida	12760,67	11847,38	8896,70	913,28	3863,97	542,00
Pampa Interserrana	11183,93	10012,96	7491,17	1170,96	3692,75	267,00
Pampa Llana	13666,13	13360,42	9573,80	305,71	4092,32	151,00
Pampa Medanosa	13029,03	12044,41	8950,50	984,62	4078,52	145,00
Pampa Mesopotamica	11926,41	12302,83	9801,22	-376,41	2125,19	268,00
Pampa Ondulada	12604,54	12866,68	10285,62	-262,14	2318,92	686,00
Pampas Arenosas Arbustal Pastizal	6926,19	6488,56	9177,76	437,62	-2251,57	678,00
Pampas Arenosas Pastizal Psamófilo	6922,34	5907,41	9323,71	1014,94	-2401,36	478,00
Pampas Llanas Altas	14350,86	15029,50	5788,46	-678,64	8562,40	14,00
Pampas Llanas Húmedas	12548,47	13290,88	8499,17	-742,40	4049,31	97,00
Pampas Pedemontanas	13779,55	11700,98	5408,69	2078,57	8370,86	312,00
Pampas Periserranas	12016,74	10989,03	9686,79	1027,71	2329,95	69,00
Planicie Periserrana Distal	15201,10	14181,42	2779,43	1019,68	12421,66	31,00
Planicies y Mesetas Norpatagonicas	2612,01	2102,75	9337,72	509,26	-6725,71	1295,00
Sierras de Lihue Calel	5528,45	4120,75	10613,48	1407,70	-5085,03	60,00
Sierras Pampeanas	9585,56	8376,94	9920,67	1208,62	-335,12	481,00
Terrazas y Valles de Inundación	13241,67	14819,67	11516,10	-1578,00	1725,56	3,00

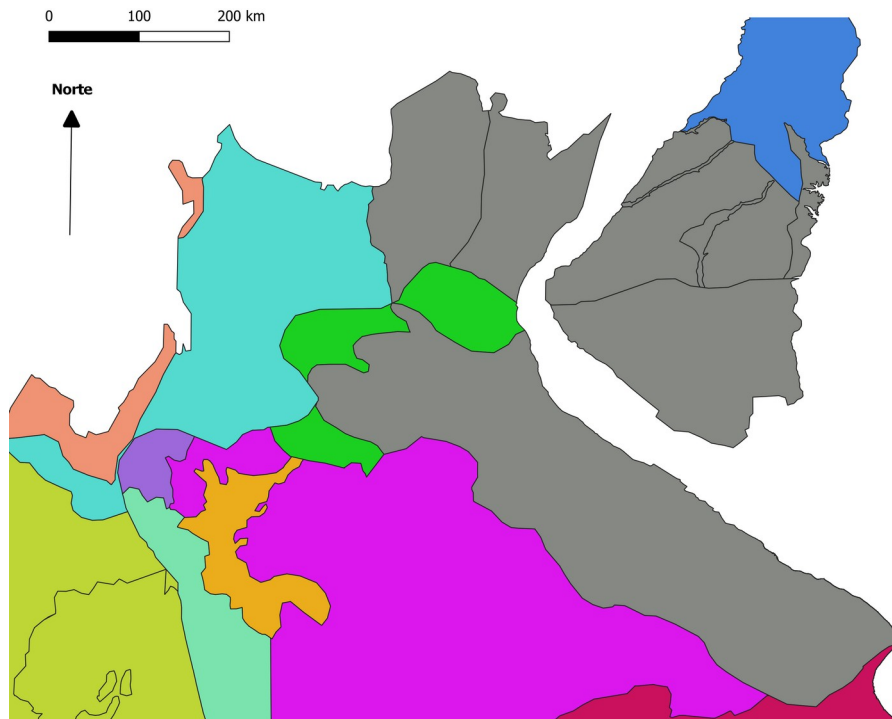


Figura 2: En color gris complejos ecosistémicos con valores menores de productividad (DMP) en el estado “Neutro” que durante “La Niña” 2020-2022. Los complejos en que se cumple la hipótesis regional mantienen diferentes colores (se aumenta únicamente la zona donde existieron diferencias

con la predicción).

El test de Friedman muestra que existen diferencias entre estados Neutro y Niña-Niño para los complejos analizados, con diferentes comportamientos. Las Pampas Mesopotámica, Ondulada, Llanas Altas, y Húmedas, además de las Terrazas de Inundación; poseen valores menores en estado "Neutro" que en estado "Niña", en contra de la hipótesis regional, mientras que los restantes complejos ecosistémicos se comportan de manera contraria a éstos siguiendo las predicciones para la zona. Todos los complejos que no cumplen con la hipótesis regional se encuentran ubicados al Norte y Noreste de la zona de estudio. Estos

complejos contienen el bosque marginal del Río de la Plata y zonas forestadas de Santa Fe y Entre Ríos (Figura 2). Al tratarse de complejos ecosistémicos que tienen un carácter regional, podríamos hipotetizar que existe alguna diferencia climática por efecto de la cuenca del río de la plata, que podría estar actuando de manera diferencial de acuerdo a su posición geográfica. Diferencias de temperatura, y, principalmente de precipitaciones y/o anegamientos en general explicarían estos comportamientos a escala regional (Gandini y Lara 2011; Barbosa et al., 2011).

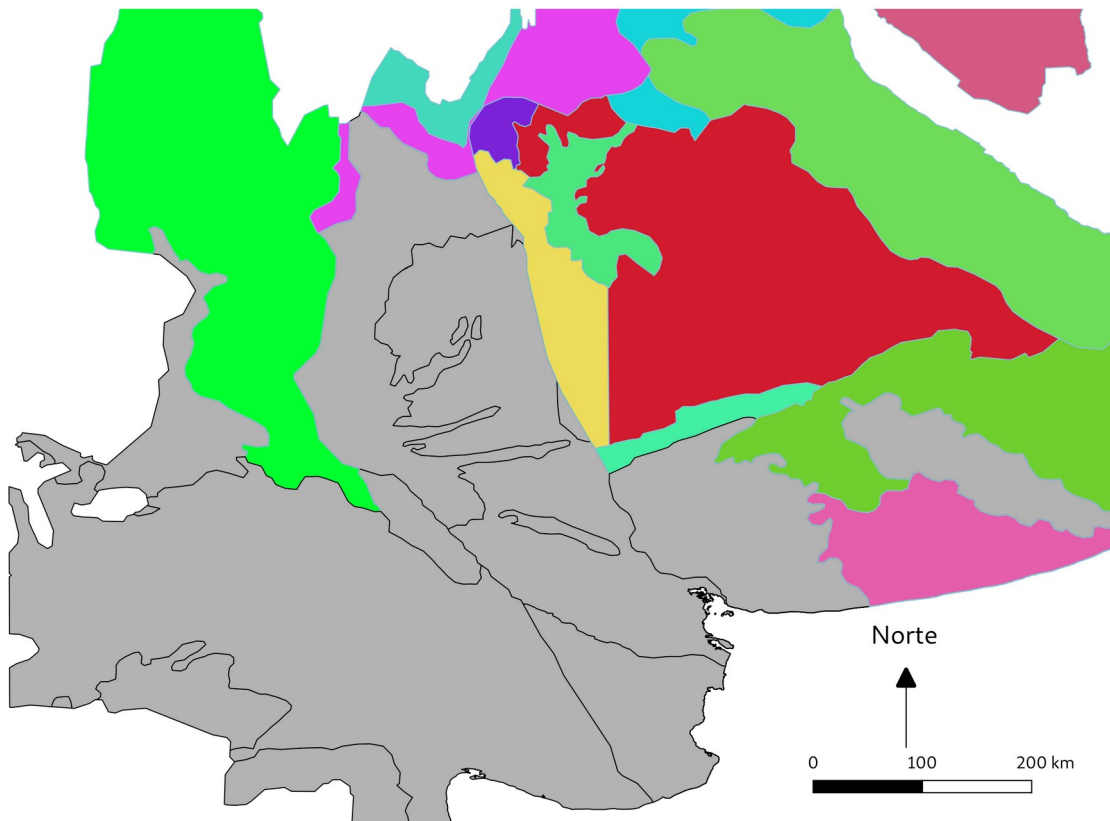


Figura 3: En color gris complejos ecosistémicos con valores máximos de productividad (DMP) que no responden a las predicciones regionales (mayores en el estado "Neutro" que durante "El Niño"). Los complejos en que se cumple la hipótesis regional mantienen diferentes colores (se aumenta únicamente la zona donde existieron diferencias con la predicción)

En sentido contrario a lo que ocurre durante "La Niña", se observa que no se cumple la hipótesis regional en los complejos ecosistémicos más alejados de la influencia de la zona del río de la plata, con valores mayores en estado neutro, que

durante meses en los que ocurre "El Niño". Los complejos afectados por este comportamiento son el Borde Oriental Macizo Norpatagonico, Ecotono con Patagonia, Faldeos de la Payunia, Pampas Arenosas Arbustal Pastizal, Pampas



Arenosas Pastizal Psamófilo, Planicies y Mesetas Norpatagónicas, Sierras de Lihue Calel y Sierras Pampeanas.

Los resultados obtenidos muestran cómo influyen los diferentes eventos climáticos extremos sobre la variabilidad de la productividad de complejos ecosistémicos (medida como DMP), tanto a nivel regional como a una mayor escala. Paralelamente, se observa una interacción de los efectos climáticos regionales, con la presencia del Río de la Plata, una masa de agua dulce, cuyos flujos hídricos se consideran de gran importancia para la regulación del clima regional en las variables de precipitaciones y temperatura (García y Vargas 1998), siendo las mismas aparentemente potenciadas por el cambio climático global según los resultados de modelos de simulación a largo plazo (Mindlin et al., 2023). El conocimiento de este comportamiento debido a la variabilidad climática es fundamental para la gestión de los recursos hídricos y de las actividades agroeconómicas que se desarrollan en toda la región (Brendel et al., 2017).

#### **Bibliografía**

Barbosa HA, Lakshmi TV, Silva LR. 2015. Recent trends in vegetation dynamics in the South America and their relationship to rainfall. *Natural Hazards (Dordrecht. Online)* 75: 1-17.

Brendel, Andrea; Bohn, Vanesa Yael; Piccolo, Maria Cintia 2017; Efecto de la variabilidad climática sobre el estado de la vegetación y la cobertura de agua en una cuenca de clima templado (Argentina); Universidade Federal do Rio de Janeiro. Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza. Instituto de Geociências; Anuário do Instituto de Geociências; 40; 2; 2; 5-16

Cabello J, Paruelo JM. 2008. La teledetección en estudios ecológicos. *Ecosistemas* 17(3): 1-3.

Copernicus Global Land Service (2022) <https://land.copernicus.eu/global/products/dmp>

Da Silva CJ, Insaurrealde JA, Cardozo OD. 2014 Cartografía de coberturas del suelo mediante sensores remotos. *Revista Geográfica Digital IGUNNE*: 1-18.

Gandini M, Lara B. 2011. Last La Niña affects agroecological systems of Argentine Pampas". *Actas 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment. The GEOSS Era: Towards Operational Environmental Monitoring* Sydney, Australia, Australia: ISRSE

García, N.O., Vargas, W.M. The Temporal Climatic Variability in the 'Río De La Plata' Basin Displayed by the River Discharges. *Climatic Change* 38, 359–379 (1998).

Jönsson P, Eklundh L. 2002. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40: 1824-1832.

Jönsson P, Eklundh L. 2004. TIMESAT - a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers and Geosciences* 30: 833-845.

Lara B, Gandini M, Gantes P, Matteucci SD. 2018. Regional patterns of ecosystem functional diversity in the Argentina Pampas using MODIS time-series. *Ecological Informatics* 43: 65-72.

Mindlin, Julia, Vera, Carolina, Shepherd, Theodore, Osman, Marisol. (2023). Plausible Drying and Wetting Scenarios for Summer in Southeastern South America. *Journal of Climate*. <http://10.1175/JCLI-D-23-0134.1>.

Morello J, Matteucci S, Rodríguez A. 2012. Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. *Orientación Gráfica Editora*. 752 p.

Noss RF. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* 4(4): 355-364.

Swinnen E, Toté C, Van Hoolst R. 2022. Copernicus Global Land Operations "Vegetation and Energy" Algorithm Theoretical Basis Document. Document-No. CGLOPS1\_ATBD\_DMP300m-V1.1 Issue: Date: 10.05.2022

Zhao M, Heinsch FA, Nemani RR, Running SW. 2005. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. *Remote Sensing of Environment* 95(2): 164-176.