
Producción ganadera climáticamente inteligente y restauración del suelo en pastizales uruguayos

Entregable 4

**Reporte del proceso de selección de predios de control,
documentando la metodología y los resultados, incluyendo
la lista de los, al menos, 20 predios de control y la información
inicial relevada en cada uno de ellos.**

Junio 2020



**Ganadería
y Clima**

Proyecto GCP/URU/034/GFF “Producción ganadera climáticamente inteligente y restauración del suelo en pastizales uruguayos”

Ejecutado por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) y el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), con el apoyo técnico de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) y de la Coalición Clima y Aire Limpio (CCAC).

“Diseño y establecimiento de un sistema de coinnovación para la gestión ganadera climáticamente inteligente y la restauración de tierras a nivel de campo”

Carta de acuerdo entre la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) en Uruguay.

Entregable 4. Reporte del proceso de selección de predios de control, documentando la metodología y los resultados, incluyendo la lista de los, al menos, 20 predios de control y la información inicial relevada en cada uno de ellos.

Elaboración:

Juan Manuel Piñeiro, Micaela Abrigo y Gervasio Piñeiro (Facultad de Agronomía, UDELAR).

Revisión:

Soledad Bergós (Coordinadora Nacional), Felipe García (Coordinador Ajunto), Ruth Bernheim (Especialista en Género), Valentín Balderrín (Especialista en Monitoreo y Evaluación), Cecilia Márquez (Responsable de Comunicación) y Lucía Pais (Administrativa Contable) (Proyecto GyC – FAO).

Comunicación y Diseño:

Cecilia Márquez (Responsable de Comunicación – Proyecto GyC, FAO).

Revisión y aprobación final:

Walter Oyhançabal (MGAP), Carolyn Opio (FAO).

Montevideo, junio de 2020

Contenido

Siglas y Acrónimos	4
Antecedentes	6
Componentes del proyecto	7
Estado actual de la selección de predios para monitoreo ambiental intensivo	8
Próximos pasos para la selección de predios para monitoreo ambiental intensivo	9
Metodología para la identificación de potreros testigos mediante la comparación de series temporales	9
Construcción de un sistema de información geográfica.....	9
Extracción de datos	10
Identificación de píxeles testigos utilizando la técnica de similitud de series temporales.....	11
Un ejemplo de aplicación de la metodología en un predio del proyecto.....	12
Bibliografía.....	15

Siglas y acrónimos

ATDR	Agente Territorial de Desarrollo Rural
CAF	Cooperativas Agrarias Federadas
CC	Cambio Climático
CCAC	Coalición Clima y Aire Limpio
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional
CDP	Comité Directivo de Proyecto
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNFR	Comisión Nacional de Fomento Rural
CONEAT	Índice de productividad del suelo en Uruguay
DACC	Desarrollo y Adaptación al Cambio Climático “Proyecto Manejo Sostenible de los Recursos Naturales y Cambio Climático”
DGDR	Dirección General de Desarrollo Rural-MGAP
DGRN	Dirección General de Recursos Naturales-MGAP
DCC	Dirección de Cambio Climático-MVOTMA
DINAMA	Dirección Nacional de Medio Ambiente-MVOTMA
ETDR	Equipo Territorial de Desarrollo Rural
FAGRO	Facultad de Agronomía
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FUCREA	Federación Uruguaya de grupos CREA
GCI	Ganadería Climáticamente Inteligente
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM)/Global Environment Facility
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GFCC	Proyecto Ganaderos Familiares y Cambio Climático “Construyendo Resiliencia al Cambio Climático en Pequeños Productores Vulnerables”
GLEAM	Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería/Global Livestock Environmental Assessment Model
GRAS	Unidad de Agro-Clima y Sistemas de información del INIA
INAC	Instituto Nacional de Carnes
INC	Instituto Nacional de Colonización
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático / Intergovernmental Panel on Climate Change

IPA	Instituto Plan Agropecuario
M&E	Monitoreo y Evaluación
MDR	Mesa de Desarrollo Rural
MGAP	Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca
MGCN	Mesa de Ganadería sobre Campo Natural
MRV	Monitoreo, Reporte y Verificación
MVOTMA	Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
NAMA	Acción Nacional Apropiada de Mitigación/Nationally Appropriate Mitigation Action
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional
OPP	Oficina de Planeamiento y Presupuesto
OPYPA	Oficina de Programación y Política Agropecuaria-MGAP
PPNA	Productividad Primaria Neta Aérea
PNRCC	Plan Nacional de Respuesta al Cambio Climático
SIG	Sistema de Información Geográfico
SNAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
SNIA	Sistema Nacional de Información Agropecuaria
SNRCC	Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático y Variabilidad
UASYCC	Unidad Agropecuaria de Sostenibilidad y Cambio Climático-MGAP
UD	Unidad de Descentralización-MGAP
UDELAR	Universidad de la República
UGP	Unidad de Gestión de Proyectos-MGAP

Antecedentes

En Uruguay, más del 85 % de su superficie es adecuada para la producción agropecuaria y en particular, la pecuaria, ha sido históricamente uno de los rubros principales. Según datos de Uruguay XXI, la carne bovina fue el principal producto de exportación en 2019, representando un 20 % del valor total de las exportaciones.

De acuerdo con datos oficiales, 43.957 establecimientos ganaderos ocupan una superficie de 12.579.000 hectáreas, de las cuales aproximadamente el 80 % tienen como base forrajera, el campo natural. El campo natural, además de ser un valioso recurso para la producción, provee diversos servicios ecosistémicos y posee una gran resiliencia frente a eventos climáticos extremos. Sin embargo, su potencial productivo se ha visto limitado por el sobrepastoreo lo que implica menor productividad de carne por hectárea, erosión de suelos, pérdida paulatina de materia orgánica y degradación de la biodiversidad.

Existen evidencias de que un alto número de predios ganaderos tienen niveles bajos de productividad y reducidos ingresos netos por hectárea. Según datos de la Encuesta Ganadera Nacional de 2016, se constata un bajo nivel de adopción de tecnologías. Estudios nacionales determinan una productividad media de carne por superficie de pastoreo de entre 70 y 81 kg/ha en el período 2010-2017, constatándose además una fuerte brecha entre quienes alcanzan los mejores y los peores desempeños productivos. Entre el percentil 75 y el 25 de desempeño, la diferencia en productividad fue mayor a 65 kg/ha. La posibilidad de reducir esta brecha en productividad tendría un alto impacto, no solo a nivel de los establecimientos individuales sino de la economía uruguaya.

En adición, el sector agropecuario es responsable de aproximadamente tres cuartos de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero en Uruguay, y el sector ganadero vacuno explica el 62 % del total de emisiones. Por lo tanto, en el actual contexto de cambio climático la ganadería se presenta como un sector estratégico para acciones de mitigación. Uruguay así lo ha definido en su primera Contribución Determinada a nivel Nacional para el Acuerdo de París (NDC) y ha presentado metas desagregadas para el sector agropecuario, entre ellas la reducción de emisiones de la ganadería vacuna por kilogramo de carne producida.

Las políticas públicas han planteado enfrentar los desafíos del sector ganadero a través de un enfoque que abarca la seguridad alimentaria, la competitividad económica, el manejo sostenible de la tierra, la adaptación al cambio climático y su mitigación y el avance hacia la igualdad de género, promoviendo prácticas de ganadería climáticamente inteligente (GCI). Una GCI permite aumentar la productividad de una manera sostenible reduciendo la vulnerabilidad climática y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En este sentido, el MGAP, en colaboración con el MVOTMA, con apoyo técnico de FAO y financiamiento del GEF, implementan desde marzo del 2019, el proyecto “Producción ganadera climáticamente inteligente y restauración de suelos en pastizales uruguayos” (GCP/URU/034/GFF), conocido como “Ganadería y Clima”, con el objetivo de promover el aumento sostenible de la productividad y el ingreso neto en los sistemas ganaderos familiares y medianos, y contribuir a mitigar el cambio climático, restaurar tierras degradadas y mejorar la resiliencia en los sistemas a través de un proceso de coinnovación.

Componentes del proyecto

El proyecto está estructurado en 3 componentes que conjuntamente contribuyen al logro del objetivo.

Componente 1: fortalece el marco institucional y las capacidades nacionales para implementar la gestión de la GCI a gran escala. Dentro de este componente se desarrolla: (I) una Estrategia Nacional de GCI, que sirve como insumo a las autoridades y hacedores de políticas; y (II) una Acción Nacional para una Adecuada Mitigación (NAMA) con su correspondiente sistema de monitoreo, reporte y verificación para el sector carne vacuna.

Componente 2: trata del desarrollo e implementación de prácticas y tecnologías de GCI a nivel de 60 predios comerciales que abarcan 35.000 ha distribuidos en cuatro regiones ganaderas utilizando un enfoque de coinnovación. Establece un sistema de monitoreo para realizar el seguimiento de los impactos de los cambios introducidos en la gestión, sobre las variables relacionadas con las emisiones de GEI, el secuestro de carbono, los cambios en la vegetación y en la calidad del suelo, así como la producción y los resultados socioeconómicos. Para poder alcanzar los resultados previstos en el Componente 2, la FAO ha firmado una Carta de Acuerdo con INIA. En dicho acuerdo se establecen las actividades a ser desarrolladas por INIA, contando con la colaboración de la Facultad de Agronomía (UDELAR).

Componente 3: establece un sistema de monitoreo y evaluación para una gestión del proyecto basada en resultados. Se realiza un monitoreo y evaluación permanente del proyecto, así como de la gestión y el intercambio de conocimientos. Esto se desarrolla a través de un sistema de indicadores de gestión que incluye procesos de: calidad, eficacia y eficiencia, monitoreo de actividades, gestión de riesgos, control y gestión de cambios, lecciones aprendidas y el diseño de la evaluación del proyecto.

Dentro del proyecto se implementa además una estrategia de comunicación con el objetivo de generar vínculos y fluidez entre todos los participantes, para comunicar actividades y resultados y asegurar una amplia difusión. A lo largo de todo el ciclo del proyecto se incorpora de forma transversal a los 3 componentes un enfoque de

género. Finalmente, el proyecto establece y mantiene lazos con proyectos anteriores e iniciativas en curso para el desarrollo de una ganadería sostenible, con el fin de compartir lecciones aprendidas y beneficiarse de las experiencias.

Estado actual de la selección de predios para monitoreo ambiental intensivo

El proyecto se propone realizar mediciones satelitales en los 64 predios participantes del proyecto (predios participantes) y mediciones intensivas en 20 predios participantes y 20 predios vecinos (o control) que no realicen prácticas de coinnovación. Esto garantiza que la línea de base del proyecto en términos biofísicos se establezca en comparación con potreros de predios vecinos que no implementan el sistema de gestión de la ganadería climáticamente inteligente (GCI), pero que sí sufrirán cambios en su funcionamiento debido a las condiciones ambientales particulares de cada año (temperaturas, lluvias, heladas, etc.) que también afectarán a los predios que coinnovan.

La selección de los potreros a comparar dentro y fuera del establecimiento se realizará utilizando información histórica satelital y un SIG de cada predio como base y en conjunto con las familias productoras y el equipo de extensionistas, ya que la información y conocimiento brindados por éstos es clave para la correcta identificación de potreros comparables que sirvan como testigos.

Debido a las condiciones actuales de distanciamiento social por la pandemia de COVID-19, las tareas del proyecto han sufrido cambios de distinta magnitud según las actividades previstas. El grupo de MRV ambiental está compuesto por docentes de la Facultad de Agronomía (UDELAR). En primera instancia las condiciones de restricción de acceso a la UDELAR y el uso de sus vehículos por la emergencia sanitaria ha imposibilitado realizar las visitas planeadas a los predios en los tiempos originalmente previstos, para recabar información y seleccionar los potreros de predios participantes y testigos con las familias productoras y el equipo de extensionistas. En segunda instancia, la demora en la visita de los técnicos y las técnicas a los predios, debido también a las condiciones de pandemia, han demorado la confección del SIG de cada predio y su estudio.

Desde la segunda quincena de mayo las visitas del equipo de extensionistas a los predios se han empezado a realizar con mayor fluidez y se está actualmente confeccionando los SIG de cada predio, los cuales necesitan ser corregidos y verificados con el equipo técnico y las familias de productores y productoras. Esto estaba planeado para ser realizado en las visitas a campo del equipo de MRV ambiental, pero se ha comenzado a realizarlas de manera virtual, tanto con el equipo de extensionistas como con los productores y las productoras, debido a las condiciones sanitarias actuales y a las restricciones al acceso a las instalaciones y vehículos dispuestas por el rectorado de la UDELAR.

En principio las reuniones virtuales han sido muy buenas y se está avanzando rápidamente en actualizar los SIG y en la identificación de posibles potreros vecinos testigos.

Próximos pasos para la selección de predios para monitoreo ambiental intensivo

A partir del 18 de mayo se ha comenzado a tener reuniones virtuales con el equipo de extensionistas y las familias productoras (o contactos telefónicos), para confeccionar los SIG correctamente de cada predio y seleccionar los 20 predios donde realizar mediciones intensivas. También mediante actividades virtuales se seleccionarán los potreros focales de los predios a estudiar y los testigos en los vecinos. Como base para la búsqueda y selección de los potreros vecinos se utilizarán técnicas de estadística multivariada, para la selección de píxeles de imágenes satelitales de los predios y sus alrededores. Se cargarán en el SIG series temporales de datos satelitales de los predios participantes, antes de realizar sus prácticas de GCI, que serán comparadas con la información satelital de los predios vecinos que no implementan.

Es importante señalar que, en caso de ser necesario, se realizarán salidas a campo, en la medida que las restricciones sanitarias futuras de la UDELAR lo permitan, para terminar de seleccionar potreros o testigos que no se hayan podido identificar con las reuniones virtuales. A su vez, las salidas de relevamiento y colecta de muestras del tiempo cero o tiempo inicial del proyecto, proyectadas para la primavera (septiembre a diciembre) siguen establecidas para ese período. Por lo tanto, **no** se alterarán las mediciones previstas para la línea base del proyecto.

Los integrantes del equipo de MRV ambiental están haciendo las planificaciones necesarias para superar esta demora, impuestas por las condiciones de pandemia y realizar las mediciones iniciales del proyecto en tiempo y forma. A continuación, se describe la metodología que se utilizará, luego del confeccionado del SIG de cada predio, como base para realizar la selección de los potreros participantes y testigos con los productores y las productoras y el equipo de extensionistas. Se estima que la selección completa de los potreros vecinos podría estar concluida, si las condiciones de aislamiento sanitario continúan relajándose, para el 15 de octubre.

Metodología para la identificación de potreros testigos mediante la comparación de series temporales

Construcción de un sistema de información geográfica

La selección de potreros testigos en los predios vecinos implica la construcción de

un SIG, la selección de píxeles focales dentro de los predios participantes y la delimitación de un área buffer. Se confeccionará un SIG de los 64 predios. De esta forma, se contará con una base de datos espaciales con la ubicación, la superficie, la región geomorfológica, posición topográfica, los usos del suelo, la división de los potreros y los grupos CONEAT de suelos de cada establecimiento.

Observando la grilla de píxeles, se elegirán píxeles para ser considerados como “píxeles focales” dentro de los predios participantes, que deberán estar al menos 80 % dentro de un potrero y tener homogeneidad en el uso o cobertura del suelo.

Estos píxeles potenciales serán luego presentados a las familias participantes y al equipo de extensionistas para la selección definitiva. Además, se delimitará un área de 15 km de diámetro alrededor de cada predio, denominada “área buffer”, para extraer las series temporales del índice de vegetación mejorado (EVI) de los píxeles contenidos dentro del área desde el año 2000 hasta la actualidad, es decir hasta la última imagen MODIS disponible (Figura 1).

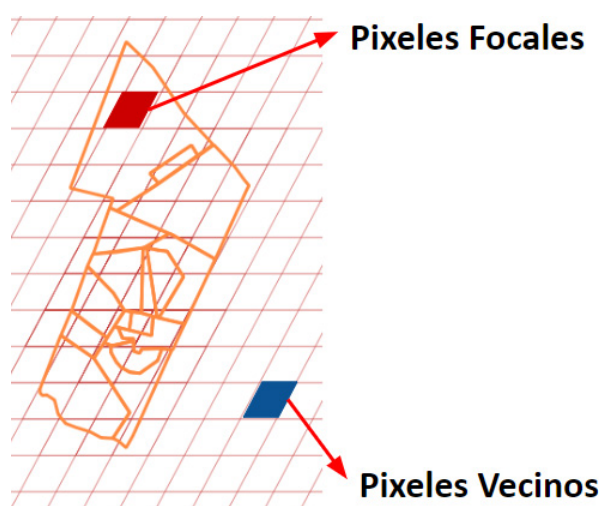


Figura 1. Esquema de identificación de un posible píxel focal dentro del predio de estudio.

Extracción de datos

La similitud de la productividad forrajera de los predios participantes y los predios control previo al cambio de manejo será evaluada utilizando series temporales del índice espectral EVI (Índice de Vegetación Mejorado). Los índices espectrales como el EVI sirven para monitorear los cambios en la productividad, ya que cuantifican la cantidad de energía absorbida por la vegetación durante un período determinado (fR-FAA) y se vinculan directamente con la productividad primaria neta aérea (PPNA) de la vegetación por el modelo ecofisiológico de Monteith (1972) (Ecuación 1).

$$\text{PPNA (kg/ha/mes)} = \text{RFAi (MJ/ha/mes)} \times \text{fRFAA (\%)} \times \text{EUR (kg MS/MJ)}$$

La ecuación de Monteith estima la PPNA a partir de tres componentes: radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAi), la fracción de esa radiación absorbida por la vegetación (fRFAA) y la eficiencia en el uso de la radiación (EUR). En este caso, se propone evaluar sólo los valores de fRFAA mediante el uso del EVI, ya que los cambios en el manejo podrían generar recambios de las especies vegetales y alterar los valores de la eficiencia en el uso de la radiación de la vegetación (y no se realizarán mediciones de posibles cambios en la EUR). Se utilizará el índice de vegetación mejorado (EVI) ya que incorpora la banda del azul, evitando la saturación a altos niveles de área foliar (Justice et al., 2002) y elimina la contaminación residual de la atmósfera causada por el humo y las nubes delgadas (EarthObservation Data 2020). Este índice está estrechamente relacionado y se correlaciona positivamente con el área foliar y la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la vegetación verde (fAPAR) (Huete et al., 2002; Baeza et al., 2011).

Las series temporales EVI se extraerán para el área buffer de cada uno de los 64 predios utilizando imágenes MODIS que serán filtradas por su banda de calidad. El producto MOD13Q1 del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) proporciona valores de índices de vegetación (NDVI/EVI) con una resolución espacial de 250 x 250 metros (píxel equivalente a 5.33 ha) y una resolución temporal de 16 días, por lo que se publican 23 compuestos por año¹.

La descarga de datos se realizará en formato “.csv”, utilizando la plataforma Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017). Previamente, cada imagen será filtrada tomando en cuenta su banda de calidad (DetailedQA) para eliminar los datos que posean alta presencia de nubes, sombras o aerosoles en la atmósfera (Roy et al., 2002) y en su lugar se utilizará el dato resultante de una interpolación lineal entre el valor anterior y el siguiente.

Identificación de píxeles testigos utilizando la técnica de similitud de series temporales

La técnica de similitud de series temporales nos permitirá identificar píxeles testigos sobre predios vecinos, que no realizan prácticas de coinnovación, que posean valores temporales de EVI similares a los predios que participan del proyecto, antes del comienzo de la implementación de la GCI (Gráfico 1). La comparación de las series temporales se realizará para cada píxel focal elegido, contra la información espectral de todos los píxeles del buffer.

La base de datos de las series temporales se compone de 460 fechas (23 compuestos

¹ Datos disponibles en <ftp://e4ftl01u.ecs.nasa.gov/MOLT/MOD13Q1.005/>

por año para el período 2000/2020) con valores de EVI para cada uno de los píxeles del área buffer de cada predio que contiene alrededor de 3700 píxeles. El manejo de este volumen de información se realizará mediante un código en RStudio, un software libre integrado, basado en el lenguaje de programación R, dedicado a la estadística de bases de datos. Específicamente utilizaremos el paquete “vegan” que proporciona herramientas para la descripción de comunidades, y posee funciones para realizar análisis multivariados.

La comparación se basa en un análisis de componentes principales (PCA), que mediante un criterio de disimilitud cuantifica la similitud de las series de tiempo de los años anteriores a que ocurra el cambio en la práctica de manejo. Para cada píxel focal, se obtiene como resultado una tabla con un ranking decreciente de los valores de similitud con el resto de los píxeles, mediante combinatorias de 3700 píxeles tomadas de a dos (6.843.150 comparaciones de pares), que indica la cercanía espectral de cada píxel focal con cada uno de los 3700 píxeles del área buffer que incluyen píxeles del predio focal y de los predios vecinos. Luego se filtra la tabla visualizando las comparaciones entre los píxeles del predio focal y los predios vecinos y se seleccionan las primeras 15 comparaciones para realizar un análisis visual mediante Google Earth. Toda esta información será luego utilizada como base para la selección de los potreros focales y testigos en conjunto con las productoras, los productores y el equipo de extensionistas, de manera virtual. Finalmente, se planea, en función de las medidas futuras con respecto a la pandemia, realizar visitas de campo para seleccionar in situ las áreas a comparar, en caso de que no se llegue a conclusiones claras con las entrevistas virtuales.

Un ejemplo de aplicación de la metodología en un predio del proyecto

La selección de los potreros testigos implica el análisis de la estacionalidad y variabilidad interanual de la fRFAA de los píxeles de predios participantes y vecinos. Para la selección de los predios vecinos, se realizará un análisis de la dinámica estacional y de la variación interanual de la productividad de los píxeles focales potenciales de los 64 predios contra los píxeles vecinos más parecidos, según su dinámica anterior al cambio. A modo de ejemplo, se aplicó la metodología para un predio que adoptó prácticas de coinovación ganadera a partir del 2016 (en un proyecto previo) y continúa actualmente en el proyecto.

En el gráfico 1, se observa la dinámica estacional media del EVI, previo al cambio de manejo (período 2000-2015), para un píxel focal y el primer píxel testigo del ranking, en el que se observa una gran similitud en la serie intra-anual promedio. En cambio, en el gráfico 2, se muestran los cambios en la productividad promedio, entre los mismos píxeles, para el periodo 2016-2019, posteriores a la adopción de prácticas de GCI.

En base a esta información, se seleccionarán idealmente píxeles de predios vecinos con potreros 100 % de campo natural, que hayan tenido un funcionamiento similar en el predio focal, en términos de índices satelitales, antes del inicio del proyecto y que pertenezcan a una misma unidad de suelo CONEAT.

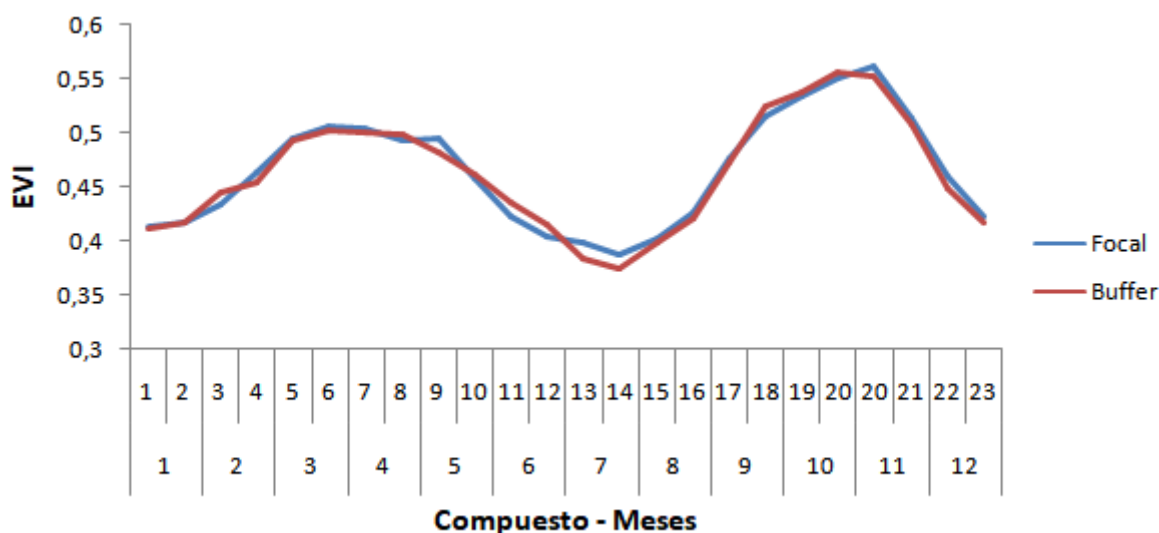


Gráfico 1. Dinámica estacional media del EVI en el período 2000-2015 previo al cambio de manejo para el píxel focal y el píxel testigo. Los números del eje x corresponden al n° de compuesto de la imagen MODIS desde enero (1) a diciembre (23), y al n° de los meses del año.

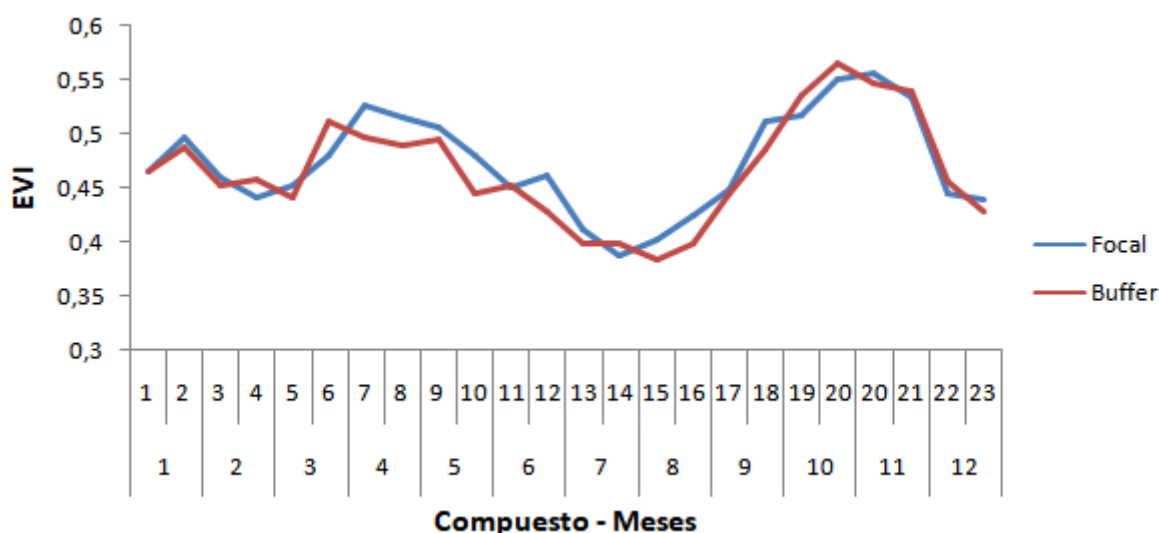


Gráfico 2. Dinámica estacional media del EVI en el período 2016-2019 post cambio de manejo para el píxel focal y el píxel testigo. Los números del eje x corresponden al n° de compuesto de la imagen MODIS desde enero (1) a diciembre (23), y al n° de los meses del año.

Para seleccionar áreas testigo dentro de los predios vecinos se seleccionarán áreas que se encuentren próximas al sitio de interés del predio focal y se analizarán las condicio-

nes ambientales, lo cual maximiza la probabilidad de encontrar áreas que sean muy similares respecto al área focal.

Esta metodología permitirá encontrar con rapidez y exactitud el píxel con mayor similitud espectral y ubicar espacialmente los potenciales píxeles testigos a seleccionar dentro de los predios vecinos. Además, durante la implementación del proyecto se podrá evaluar los cambios de fRFAA entre áreas de predios con y sin manejo ganadero separando la variación en la productividad ligada a los factores climáticos (Lhermitte et al., 2010). También permitirá evaluar las diferencias entre ambas áreas y comprender los mecanismos asociados a las prácticas de manejo ganaderas, que generan cambios en las fRFAA y evaluar la resiliencia y estabilidad de los distintos sistemas productivos aplicados a los predios.

Bibliografía

- Baeza, S., Rama, G., & Lezama, F. (2019). Cartografía de los pastizales naturales en las regiones geomorfológicas de Uruguay predominantemente ganaderas. Ampliación y actualización. Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales II. Serie FPTA, INIA, Montevideo, 27-47.
- Earth Observation Data 2020. URL: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/data-citations-acknowledgements>
- Fensholt, R., Sandholt, I., & Rasmussen, M. S. (2004). Evaluation of MODIS LAI, fAPAR and the relation between fAPAR and NDVI in a semi-arid environment using in situ measurements. *Remote sensing of Environment*, 91(3-4), 490-507.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 195-213.
- Justice C. O., Townshend J. R. G., Vermote E. F., Masuoka E., Wolfe R. E., Saleous N., Roy D. P., & Morisette J. T. (2002). An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment* 83:3-15.
- Lhermitte, S., Verbesselt, J., Verstraeten, W. W., & Coppin, P. (2010). A pixel based regeneration index using time series similarity and spatial context. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76(6), 673-682.
- Monteith, J. L. (1972) Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 9, 747-766. doi:10.2307/2401901
- Roy, D. P., Borak, J. S., Devadiga, S., Wolfe, R. E., Zheng, M. y Descloitres, J. (2002). The MODIS Land product quality assessment approach. *Remote Sensing of Environment*, 83, 62-76.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., Smith, G. M. (2009). *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. (Gail, M., Krickeberg, K., Samet, J. M., Tsiatis, A., Wong, W., editors.). New York, USA: Springer