

Cuantificación de los cambios recientes en el uso del suelo en el litoral Oeste Uruguayo

Fuente: Google earth

Oswaldo Ernst

Ing. Agr. (Dr.) Profesor Titular, Departamento de Producción Vegetal – Facultad de Agronomía (Fagro), EEMAC– Sistemas de producción

María Eugenia Alzueta

Ing. Agr. Estudiante de la Especialización en Teledetección. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

Federico Ernst

Ing. Agr. Estudiante de la Especialización en Teledetección. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

Fernando Andrés Romero Rüsck

Ing. Agr. Estudiante de la Especialización en Teledetección. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

Ignacio Martín Barriola

Ing. Agr. Estudiante de la Especialización en Teledetección. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

Camilo Ernesto Bagnato

Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

Santiago Álvarez

Ing. Agr. Estudiante de la Maestría Facultad de Agronomía, Universidad de la República

Gervasio Piñeiro

Ing. Agr. Dr. Profesor Titular. Departamento de Sistemas Ambientales - Facultad de Agronomía (Fagro), Udelar. Prof. Adjunto Cátedra de Ecología, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

1- INTRODUCCIÓN

Es conocido que la superficie ocupada por cultivos anuales en Uruguay se incrementó exponencialmente desde menos de 350.000 ha en el año 2002 a más de 1.500.000 ha en el 2011. El 70% del crecimiento ocurrió en la zona agrícola tradicional (Departamentos de Colonia, Soriano, Río Negro y Paysandú), a expensas del tiempo de la rotación ocupado por pasturas, por lo que el sistema se transformó desde agricultura rotando con pasturas a agricultura continua sin laboreo. El 30% restante del crecimiento ocurrió como resultado de un proceso de expansión hacia nuevas zonas. El sistema de cultivos implementado tuvo y mantiene a la soja como el cultivo dominante en la secuencia.

A partir del 2013 se inició la implementación de los “Planes de uso y manejo responsable de suelos” (Resolución N° 1.564/013 de MGAP/RENARE, 2013), cuyo objetivo central es reducir el riesgo de erosión del suelo. Implica diagramar una secuencia de cultivos o una rotación que logre el objetivo de que la pérdida estimada de suelo esté por debajo de la tolerancia establecida. Para nuestras condiciones de cantidad y distribución de lluvias, tipo de suelo y paisajes, la variable de control del riesgo de erosión de mayor impacto es la cobertura del suelo, ya sea por vegetación verde (cultivos o pasturas) o rastrojos. Por tanto, la superficie en barbecho del sistema de cultivos debió reducirse, ya sea por crecimiento del doble cultivo anual o la siembra de cultivos de cobertura. La estrategia a seguir es fuertemente definida por las relaciones de precios de los granos y la probabilidad de obtener un resultado económico positivo.

La implementación de sistemas de doble cultivo anual logra cubrir el suelo, generando tiempos de barbecho cortos, donde el suelo se encuentra también relativamente cubierto por la suma

de los rastrojos acumulados en el año. Pero bajo secuencias que incluyen sólo un cultivo por año se impone la necesidad de sembrar cultivos anuales cuyo principal servicio ecosistémico sea el de cubrir el suelo entre dos cultivos de renta. Este es el motivo por el cual se los denomina “cultivos de cobertura”. Pero también se los utiliza sumando otros servicios, como la fijación simbiótica de nitrógeno o como un componente del control integrado de malezas. Buscando resaltar esta multiplicidad de servicios ecosistémicos que pueden brindar, se los a denomina “cultivos de servicios”.

La pregunta a contestar es: ¿cómo se ven reflejados estos cambios en el uso del suelo? La propuesta fue “mirarlo” desde un satélite.

En este artículo se resume información obtenida a partir de sensores remotos calibrados con “verdad terrestre” en el marco del proyecto ANII FSA 151930 ejecutado en un acuerdo de trabajo conjunto entre Fagro, FUCREA y AUSID. El análisis fue realizado como trabajo final de la Especialización en Teledetección ofrecido por la FAUBA por 4 estudiantes, dos uruguayos y dos argentinos, como parte de un trabajo conjunto de tesis coordinadas.

2-METODOLOGÍA

En primera instancia se realizó un análisis de las firmas espectrales en cada zafra del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, durante una serie de años (2014 al 2019). Para esto se extrajeron los datos de NDVI de distintas coberturas del suelo cada 16 días durante todos los años evaluados de 41 predios distribuidos en los Departamentos de Colonia, Soriano y Río Negro. En base a las variaciones del NDVI durante las zafras se estableció el “espacio de atributos” para realizar la clasificación. El espacio de atributos consiste en determinar los periodos, las imágenes y las bandas que se utilizarán para realizar la clasificación, para la cual se siguieron los pasos que se describen a continuación (Fig. 1).

Para realizar las clasificaciones se utilizaron Imágenes *Landsat 8* filtradas por nubes (reflectancia a tope de la atmósfera) (punto 1 en la Fig. 1). Se consideraron las bandas B2 (azul), B3 (verde), B4 (rojo), B5 (IRc), B6 (SWIR 1), B7 (SWIR 2), B10 (IRt 1), B11 (IRt2) y NDVI ((B5-B4)/(B5+B4)). Cada banda se compone de la mediana de un bimestre (julio-agosto, septiembre-octubre, noviembre-diciembre, enero-febrero, marzo-abril, mayo-junio). La “verdad terrestre” consistió en registros de 950 chacras (punto 2 en Fig. 1).

Se realizaron clasificaciones jerárquicas con entrenamiento supervisado, a escala anual (desde el 2014 al 2019) y para cada zafra por separado (verano e invierno) (punto 3 en Fig. 1). Se realizó en primera instancia una clasificación de *RegressionTree* (CART) y luego, con los parámetros seleccionados, se realizó la clasificación final con el método de “Random Forest” (RF) (punto 4 en Fig. 1). Se utilizaron entre 84 y 100 árboles de regresión para cada clasificación. La evaluación de la clasificación de RF se realizó para cada nivel de la clasificación (punto 5 de la Fig. 1) y luego se integraron los distintos niveles trabajados en una clasificación consolidada por zafra y año (punto 6 de la Fig. 1). Finalmente se realizaron cálculos de superficie a partir de la clasificación y se corrigieron utilizando el método de *Olofsson* (Punto 7 de la Fig. 1). Este método considera por un lado las superficies obtenidas por la clasificación y por otra parte

el número de muestras de “verdad terrestre” que representa cada clase. La corrección es importante cuando las clases se encuentran desbalanceadas en número de muestras, como ocurre al tomar datos disponibles de producción como en este caso. Posteriormente se compararon estos resultados con información oficial, tomándose como referencia las encuestas de la DIEA. Para los años en que las mismas no discriminaban todos los tipos de coberturas analizadas en los departamentos estudiados, se consideró la misma proporción (departamento/país) que en 2019.

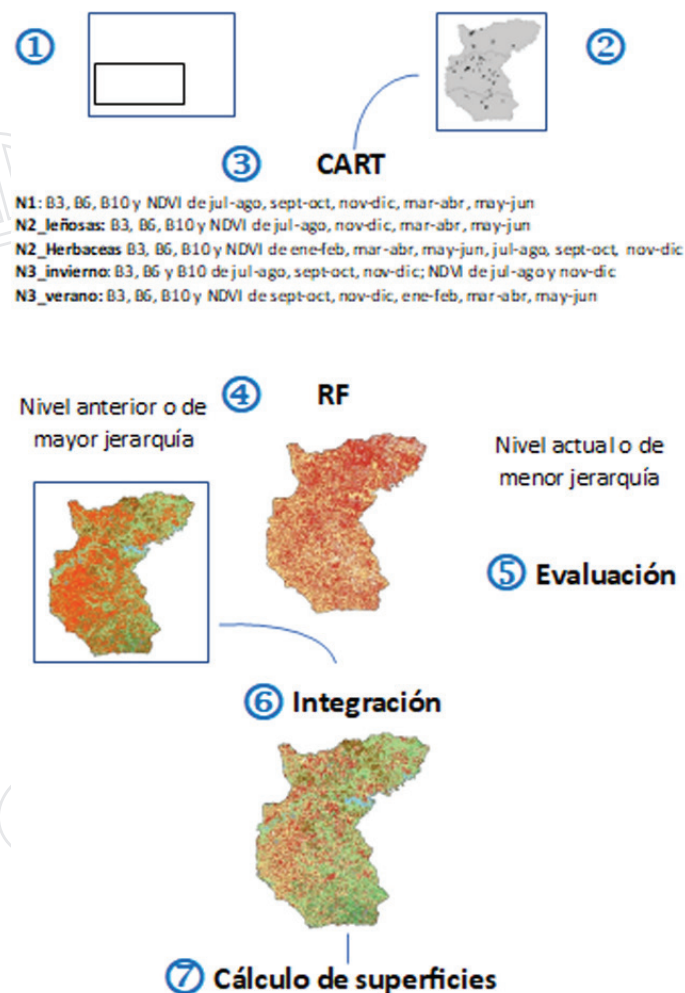


Imagen 1. Esquema de los pasos y procesos realizados para obtener las clasificaciones (ver texto por más detalles). CART= Clasificación por árboles de regresión (*Classification and Regression Tree*). RF= Clasificación por bosque aleatorio (*Random Forest*).

Para identificar el uso del suelo de cada zafra se analizaron las firmas fenológicas anuales extrayendo datos de NDVI del producto MOD13Q1 versión 6 desde la plataforma *Google Earth Engine* (GEE) de potreros con usos del suelo conocidos. La firma fenológica de una especie vegetal es la evolución del NDVI a lo largo de su ciclo. Como cada uso del suelo queda representado por una firma fenológica específica, la dinámica temporal de NDVI de los distintos usos del suelo se utilizó para seleccionar periodos a utilizar en la clasificación.

De esta forma se separaron en un primer nivel especies leñosas (bosques) de las herbáceas, el agua y las ciudades. Posteriormente, en el nivel 2, dentro de la clase de leñosas se diferenciaron las subclases “bosques nativos” y “forestaciones” y dentro de las herbáceas, “pastizal natural”, “pastura” y “culti-

Cuadro 1. Espacio de atributos utilizado para cada nivel de la clasificación.

Nivel	Bandas y periodos utilizados
N1	B3, B6, B10 y NDVI de jul-ago, sept-oct, nov-dic, mar-abr, may-jun
N2_leñosas	B3, B6, B10 y NDVI de jul-ago, nov-dic, mar-abr, may-jun
N2_Herbaceas	B3, B6, B10 y NDVI de ene-feb, mar-abr, may-jun, jul-ago, sept-oct, nov-dic
N3_invierno	B3, B6 y B10 de jul-ago, sept-oct, nov-dic; NDVI de jul-ago y nov-dic
N3_verano	B3, B6, B10 y NDVI de sept-oct, nov-dic, ene-feb, mar-abr, may-jun

vos” (todas de Nivel 2). Dentro del Nivel 2, también se identificó la superficie cubierta por cultivos de verano o por cultivos de invierno. Luego, ya en el nivel 3, dentro de la estación de verano se identificaron las firmas fenológicas correspondientes a cultivos de verano de soja, sorgo y maíz y doble cultivo anual. Durante la estación de invierno se identificó el uso del suelo como “barbecho”, cubierto por cultivos de servicios (CS) y cultivos de renta (CR) (Nivel 3). Posteriormente, en el Nivel 4 se identificaron firmas fenológicas para la cobertura de suelo generada por CR de avena-raigrás, trigo-cebada y dicotiledóneas (Brásicas y leguminosas) pero, dada la baja cantidad de píxeles disponibles como CS en los datos de campo, no fue posible discriminarlos en la clasificación final, por lo tanto, la clasificación general realizada fue hasta nivel 3. Para cada nivel de la clasificación se utilizó un espacio de atributos distinto, utilizando las bandas, índices y fechas señaladas en la Cuadro 1.

3- RESULTADOS

3. 1. Análisis de las firmas espectrales de los usos del suelo

La superficie cubierta por cultivos anuales muestra dos picos altos de NDVI, de aproximadamente 0,7, separado por dos descensos a valores próximos a 0,4 a fines de primavera e inicio de otoño. Dentro de la superficie de cultivos de verano (Fig. 2) se diferencia la curva de NDVI de chacras en dobles cultivos anuales (soja2 y maíz2), en las que se registra una caída del NDVI desde 0,8 en setiembre a menos de 0,3 en diciembre, un posterior crecimiento progresivo hasta febrero-marzo. En tanto, soja y maíz de primera inician la cobertura de suelo en niveles bajos en setiembre-noviembre, diferenciándose en los valores altos de NDVI de diciembre-enero (maíz). El maíz de primera también tiene una firma diferente en función de la fecha de siembra (temprano en diciembre y tarde en fines de enero-principio de febrero).

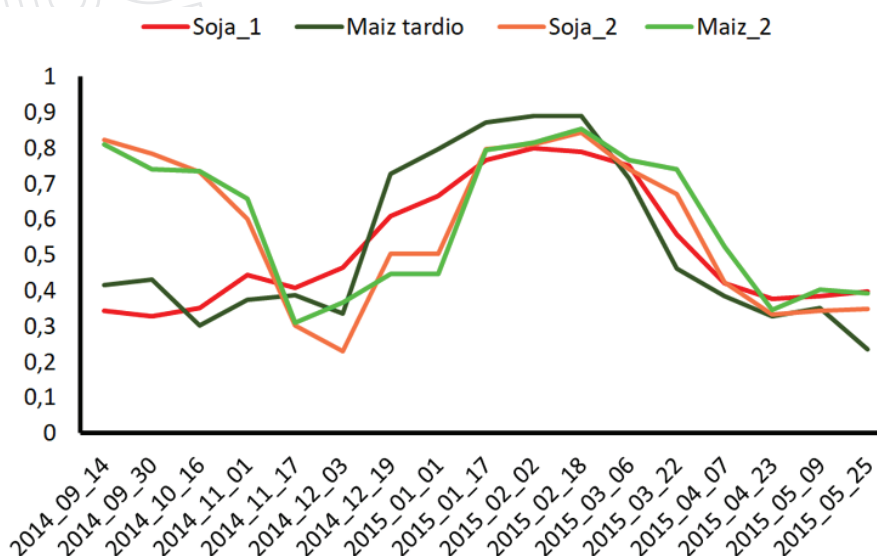


Figura 2. Variación promedio del NDVI de distintos cultivos de verano (nivel 3 de la clasificación) durante la zafra 2017-2018.

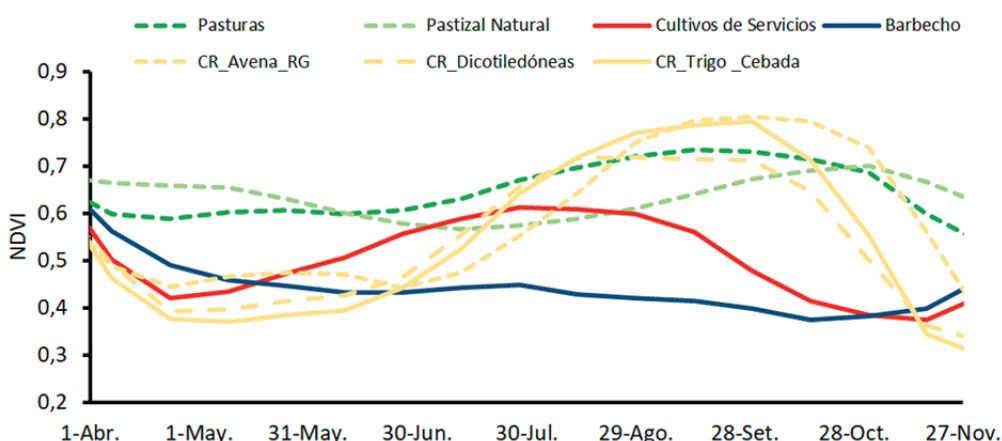
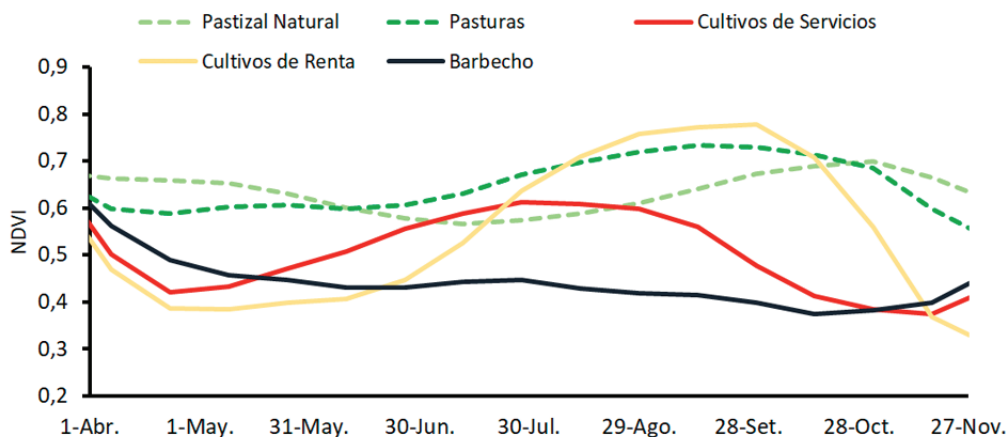


Figura 3. Variación promedio del NDVI para las distintas coberturas del Nivel 3 de invierno (arriba) y de distintos cultivos de invierno (nivel 4 de la clasificación) promedio para todas las zafras evaluadas (2014-2019).

En invierno (Fig. 3 arriba), las pasturas muestran un NDVI >0,6 en toda la estación, con un mínimo en invierno y máximo en primavera. Las chacras en barbecho invernal reducen el NDVI desde 0,6 a la salida del cultivo de verano o inicio del período de barbecho luego de pasturas (otoño) valores mínimos a fines de octubre, con incremento a partir de noviembre. Los CS y CR se diferencian en la velocidad en la que cubren el suelo (mayor en los CR), en el momento en que comienzan a crecer, en el valor máximo de NDVI alcanzado, en el momento en que alcanzan ese máximo (mayor y más tarde en CR) y en el momento a partir del cual empieza a decrecer el NDVI al final de la estación. Esto último refleja el impacto de la fecha de finalización de los CS, definida por la aplicación de herbicidas y la cosecha en los CR. Entre los CR invernales (Fig 3. abajo), la firma fenológica de los cultivos de gramíneas muestra un crecimiento más rápido del NDVI (a partir de julio), alcanza un valor absoluto mayor (0,8 contra 0,7) y disminuye más tarde, especialmente la avena (noviembre) que los CR de hoja ancha (CR-Dicotiledóneas).



Cambios en el uso del suelo que pueden capturarse por su firma espectral en una estación de crecimiento.

3.2. Evolución de la superficie estimada cubierta por cultivos anuales, pasturas y barbecho

En la Figura 4 se presenta el uso del suelo durante la estación de crecimiento de cultivos de invierno (arriba) y verano (abajo) para el inicio y fin del período de estudio. Se destacan el incremento de la superficie ocupada por pasturas, la sustitución de CS por CR invernal, y la reducción de la superficie ocupada por cultivos de verano.

En el período 2014 a 2019 el uso del suelo afectado a cultivos de invierno estimada para los Departamentos de Colonia, Soriano y Río Negro se redujo desde de 1. 245.828

ha a 929.616 ha (Fig. 5). Durante este período la superficie en barbecho invernal se redujo paulatinamente, la cubierta por CR invernales se mantuvo relativamente constante, en torno a 500.000 ha y los CS mostraron una muy leve tendencia de disminución, pero con variaciones entre años al igual que los CR. Esto sugiere que la reducción de la superficie en barbecho resulta de la aplicación del Plan nacional de Uso y manejo del suelo y que la proporción de CR depende del resultado económico esperado de los CR invernales. Se destaca el invierno 2017, en el que los CS ocuparon más superficie que los CR. Las estimaciones realizadas con las imágenes satelitales mostraron patrones de cambio en el tiempo y áreas de cultivos similares a las reportadas por las encuestas de DIEA para todo el país (Hoffman y Castro, 2013; Castagna y García, 2020).

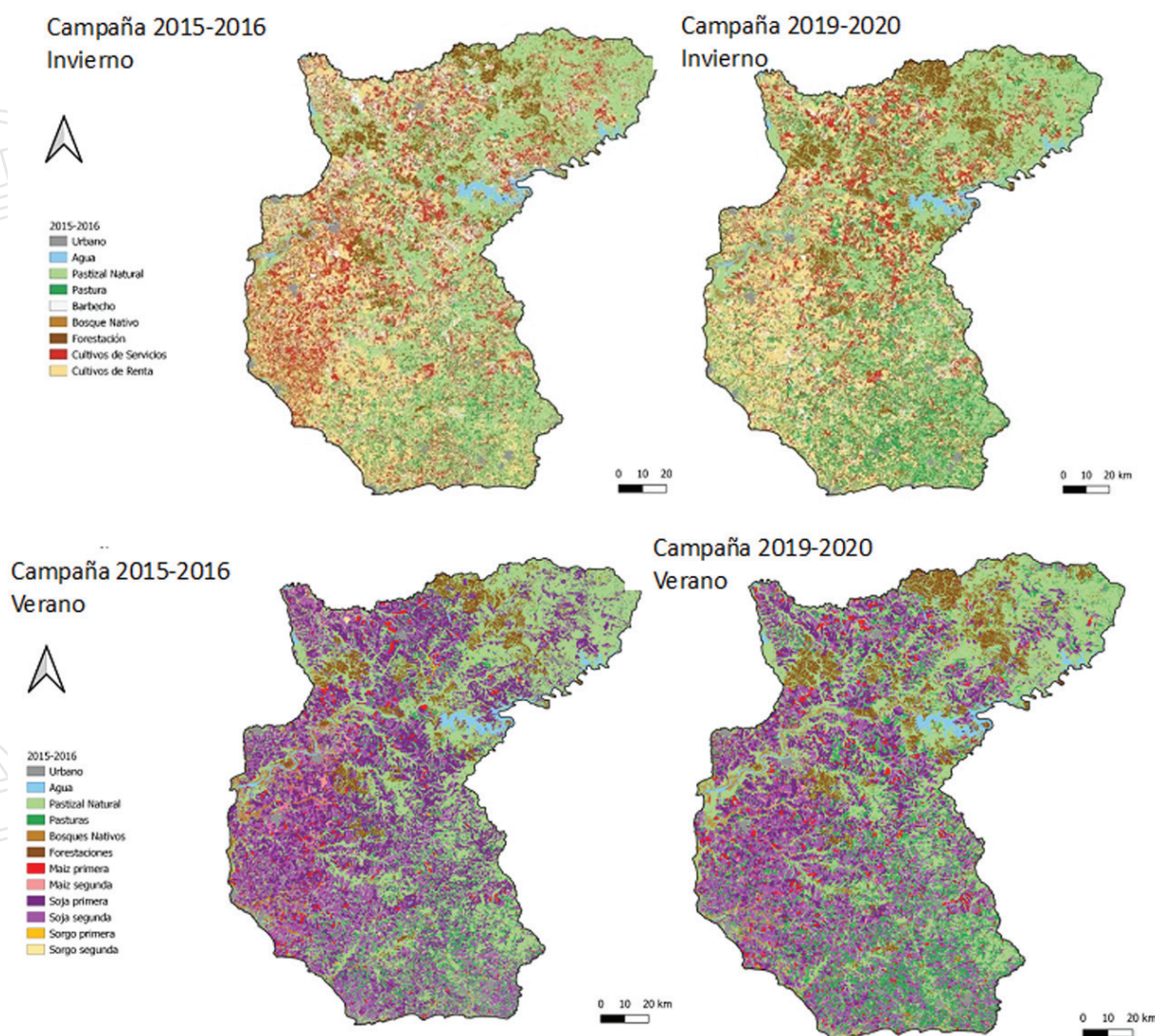


Figura 4. Mapas de la región de estudio, con clasificaciones de usos del suelo para el verano e invierno correspondientes a las zafras 2015-16 y de 2019-20.

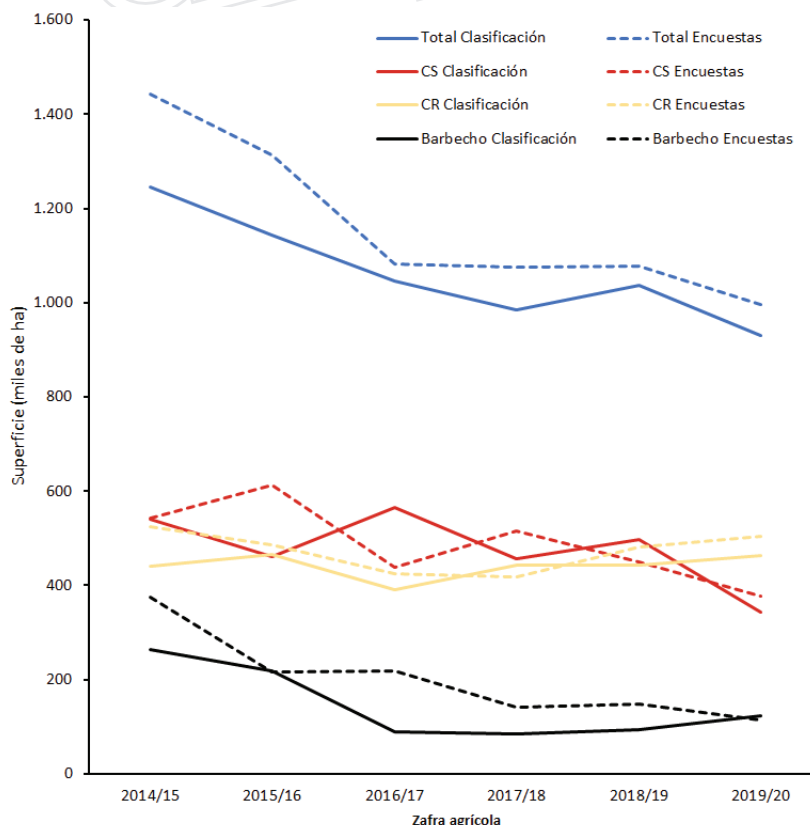


Figura 5. Cambios en el área agrícola de cultivos de invierno (CI) estimados por la clasificación realizada en este trabajo (Deptos. De Río Negro, Soriano y Colonia) o reportados por las encuestas de la DIEA (para todo el país). CS son cultivos de servicios y CR son cultivos de renta.

En los cultivos de verano, la superficie sembrada con soja se redujo desde 1.100.00 a 835.000 ha, explicado principalmente por una reducción en el área de soja de primera. En tanto, en los cultivos de verano de gramíneas, ganó superficie el maíz, fundamentalmente como cultivo de primera. Al igual que para los cultivos de invierno, las estimaciones realizadas con las imágenes satelitales mostraron patrones de cambio en el tiempo y áreas de cultivos similares a las reportadas por las encues-

tas de la DIEA pero para todo el país. Las aproximadamente 200.000 ha desafectadas a la agricultura en este período se explican por el crecimiento continuo de la superficie cubierta por pasturas sembradas, que pasó de 118.000 a 316.000 ha. Este crecimiento resulta de una combinación de zonas agrícolas que ingresan a la fase de pastura, aunque también puede estar afectado por incremento en la duración de la fase de pasturas.



Cambio que la secuencia de cultivos impone en la firma espectral a lo largo del año. Fila superior (horizontal): cultivos de primera, representados por la curva Soja_1 Fig. 2. Fila inferior (horizontal): doble cultivo anual, representado por Soja_2 en la Fig.2. Columnas - izquierda: setiembre; centro: fines de noviembre; derecha: enero

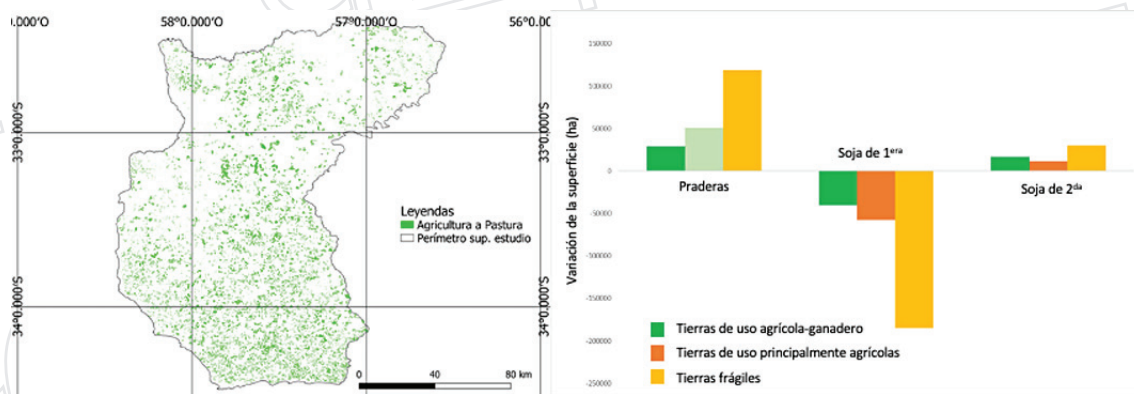


Figura 6. Distribución espacial de la superficie con agricultura que ingresó a una fase de pasturas (izquierda); cambios en el uso del suelo registrados en el período 2015-2019 para distintos grupos de suelo clasificadas por Molfino, (2013) por su capacidad de usos potencial (derecha).

El aumento de la superficie de pasturas registrado responde a al menos dos factores, los sistemas de cultivos dominantes de cada región y la capacidad de uso de los suelos. Agrupando los suelos de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay en “tierras de uso principalmente agrícolas”, “tierras de uso agrícola-ganadero” y “tierras frágiles” (Molfino, 2013), la superficie sembrada con pasturas se incrementó en las tres clases, pero principalmente en los de menor capacidad de uso agrícola (Fig. 6). En las tres clases se redujo la superficie asignada a soja siguiendo a un barbecho invernal o cultivo de cobertura, y se mantuvo la de soja en doble cultivo anual. Las “tierras frágiles” incluyen las Unidades de la Carta que integran mayoritariamente suelos con características frágiles definidas por riesgo de degradación y/o erosión. Si bien esto no significa que no existan en su interior áreas donde es posible hacer agricultura de menor intensidad y con prácticas de conservación y de suelos más estrictas, el 60% de la soja sembrada en la zafra 2015 se hizo sobre estas situaciones. Por tanto, el cambio en el uso del suelo refleja un mejor ajuste a su capacidad de uso,

aunque la superficie mantenida en agricultura en tierras con limitada capacidad de uso agrícola se mantiene alta. Resta saber si la agricultura a desarrollar en estas condiciones tiene planificada una duración y composición de cultivos diferente a la implementada en “tierras de uso principalmente agrícolas”.

Nuestros resultados también dejan en evidencia un proceso de intensificación en el uso del suelo con fines agrícolas que operó durante la primera década de este siglo, sugiriendo que este proceso ocurrió también sobre zonas marginales para la agricultura. Sugieren también que, si bien la intensificación agrícola no reconoció las fronteras de capacidad de uso del recurso suelo, ya que muchas de las tierras clasificadas como frágiles ingresaron a una fase agrícola, están volviendo hoy a una fase de pasturas, reflejando así un cambio hacia un “uso y manejo responsable de suelos”. El desafío es que resistan el nuevo escenario de relación de precios, manteniendo sistemas de cultivos en un gradiente de integración agricultura-ganadería en el tiempo y en el espacio, acorde a la capacidad de uso de los suelos utilizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castagna, A; García, F. 2020. Análisis de los cambios en el uso de la tierra en el país entre 2000 y 2017 a partir de una serie temporal de relevamientos remotos. Estudios de Economía Agraria y Ambiental No. 20-01. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/Castagna%20y%20Garc%3%ADa%20Usos%20del%20suelo%20OPYPA%202020%20WEB.pdf>

Hoffman, E; Castro, A., Arbeletche, P. 2013; Área agrícola y superficie cultivada anualmente en Uruguay: implicancias de las diferencias en los números oficiales. Revista Cangüé 34: 12-18. http://www.eemac.edu.uy/cangue/joomdocs/cangue034_hoffman.pdf

Molfino, J. 2013. Potencial Agrícola, algunos cálculos para agricultura en secano. Revista Cangüé 33: 14-18. http://www.eemac.edu.uy/cangue/joomdocs/cangue033_molfino.pdf

Resolución N° 1.564/013 de MGAP/RENARE. 2013. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/institucional/normativa/resolucion-n-1564013-mgaprenare-18032013-manual-medidas-exigibles-para>