



Foto: Bruno Lanfranco

EN LA BÚSQUEDA DE LOS LÍMITES DE LA INTENSIFICACIÓN SOSTENIBLE DE LA AGRICULTURA

Ing. Agr. PhD Bruno Lanfranco¹, Ing. Agr. MSc. Enrique Fernández¹, Ec. MSc. candidata PhD Magdalena Borges², Ing. Agr. Catalina Rava², Cr. Bruno Ferraro¹, Ing. Agr. PhD Juan Manuel Soares de Lima¹

¹Unidad de Economía Aplicada - INIA
²Investigadora independiente

Mediante un enfoque *ad-hoc* que puede extenderse a cualquier cultivo y situación, nuestro objetivo fue estimar hasta dónde sería posible expandir e intensificar la producción sojera sin comprometer los recursos naturales. Adoptamos un modelo espacial con múltiples escenarios para estimar el área potencial y rendimientos del cultivo. Impusimos varias restricciones en función del riesgo de erosión, uso actual y alternativo del suelo, costos de transporte y logística y calculamos los márgenes económicos del cultivo.

LA SOJA EN URUGUAY Y EL MUNDO

La soja es la oleaginosa más plantada en el mundo. En la campaña 2022-23, la producción mundial alcanzó 388 millones de toneladas. Ofrece diversos usos alimentarios y técnicos, destacando su empleo en alimentación animal. Gran parte de la producción de soja no se consume en el lugar donde se produce. Más de tres cuartas partes de la soja mundial se

produce en las Américas; más de 95 % de la soja comercializada en el mercado internacional tiene su origen en este continente. Brasil y Estados Unidos son los principales productores y exportadores mundiales. Los siguientes cuatro exportadores de importancia también provienen de la región (Paraguay, Canadá, Argentina y Uruguay). Como exportador, Uruguay ha promediado entre 6° y 7° a nivel mundial.

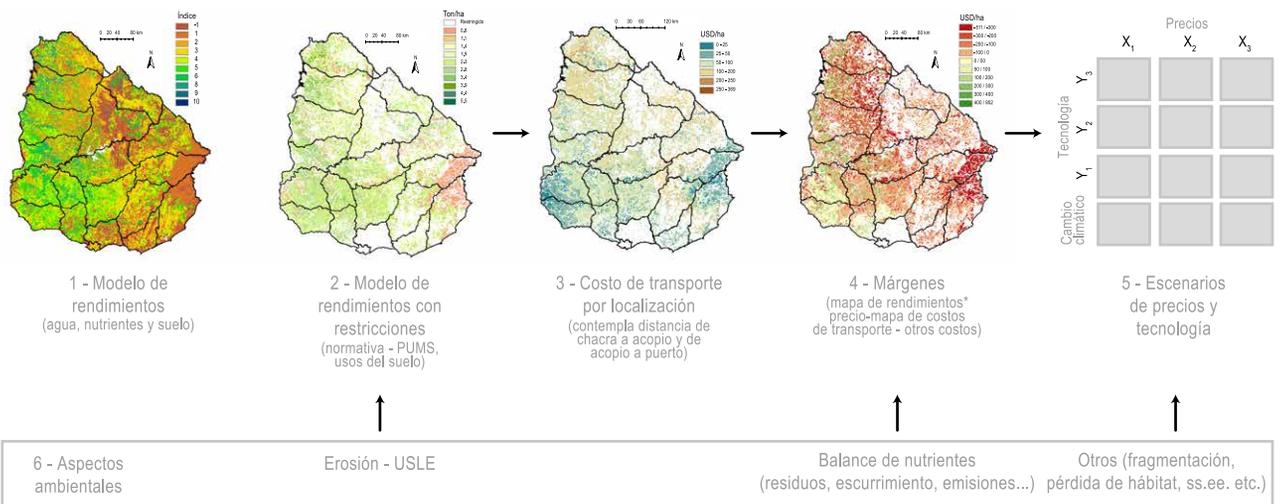


Figura 1 - Módulos del modelo espacial.

En Uruguay, la producción agrícola comercial se realiza en rotación con pasturas y otros cultivos. Los productores deben presentar planes de uso y manejo de suelos (PUMS), eligiendo secuencias de rotación realistas y sostenibles. Bajo esa óptica, adquiere especial relevancia determinar la capacidad real de enmarcar la producción de soja en una senda de desarrollo sostenible y definir hasta qué punto es posible crecer e intensificar la producción sin comprometer los recursos naturales y el medio ambiente. Los principales resultados de este componente del estudio se presentan en este artículo.

CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO

Para estimar el área y los rendimientos del cultivo de soja que aseguren la viabilidad y rentabilidad del sistema de producción, así como la sostenibilidad de los recursos, utilizamos un modelo espacial de seis módulos (Figura 1). El módulo 1 permitió calcular los rendimientos esperados de la soja en áreas aptas para el cultivo. Para ello, aplicamos el método de análisis de aptitud de suelos (LSA, en inglés), que evalúa los rendimientos en función de la disponibilidad potencial de agua en la estación de crecimiento (modelo de balance hídrico), características físicas, fertilidad y nivel de erosión pasada del suelo.

Para descartar áreas de suelo no aptas identificamos ciertos umbrales para las siguientes variables: riesgo de inundación (duración corta o larga), rocosidad (>50 %), pendiente (>10 %), acidez del suelo (pH≤4,5), erosión pasada (moderada a severa y severa a grave), altura (>300m), drenaje (lento a muy lento), fertilidad (baja o muy baja) y sodio intercambiable (>6 dS/m). Las áreas excluidas correspondieron mayormente a zonas bajas del este del país, principales cuencas fluviales, zonas de colinas y quebradas y algunos suelos con larga historia agrícola, baja fertilidad y problemas de pH (Figura 2).

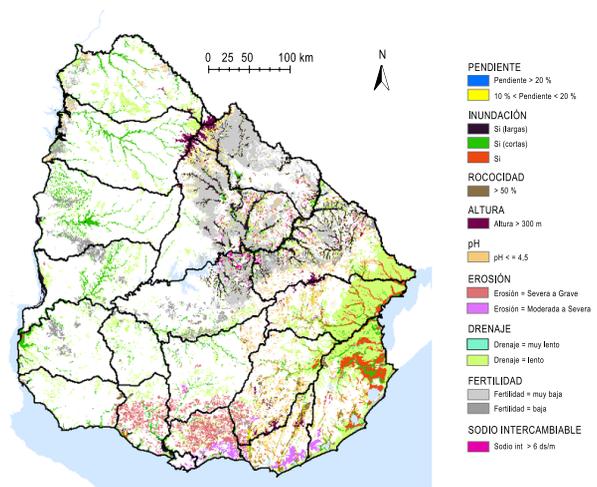
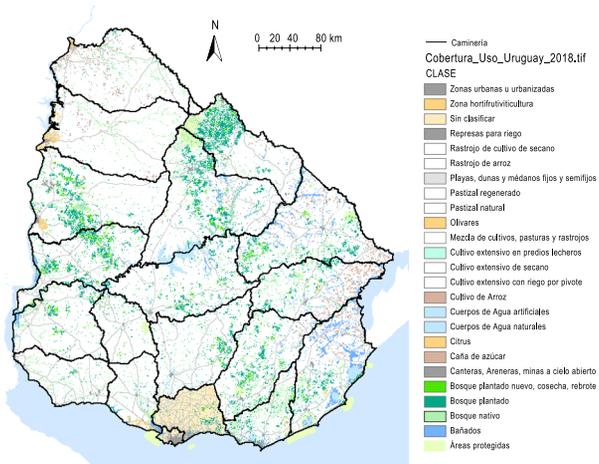


Figura 2 - Áreas descartadas por características agronómicas y topográficas inadecuadas.

¿Hasta qué punto es posible crecer e intensificar la producción sin comprometer los recursos naturales y el medio ambiente?



En la práctica, los productores harán soja si pueden esperar un margen positivo mínimo, equivalente al beneficio sacrificado (costo de oportunidad) por hacer soja en vez de otra actividad productiva.

Figura 3 - Áreas descontadas por otros usos de suelo permanentes o semipermanentes.

En las zonas definidas como aptas, el rendimiento esperado fue determinado mediante un sistema de asignación de coeficientes que a partir de un rendimiento potencial teórico de 5,5 ton/ha (según bibliografía nacional), va descontando el rinde de acuerdo a qué tan alejados del óptimo se ubiquen los valores calculados para ciertas variables relevantes. Los módulos subsiguientes tuvieron como objetivo la imposición de limitaciones y restricciones de distinto tipo. En la práctica, cada restricción se aplicó en forma independiente, dando como resultado un conjunto de capas o mapas independientes, con la ayuda de un sistema de información geográfica (SIG).

Con el módulo 2, descontamos aquellas áreas donde no es posible el cultivo de soja o están asignadas a otro uso agrícola o lechería y no es esperable que haya

un cambio en su uso actual. Las áreas descontadas incluyeron: áreas urbanas o urbanizadas; cuerpos de agua (artificiales o naturales); playas, dunas y médanos; canteras, areneras y minería a cielo abierto; cultivos permanentes/ semipermanentes (hortifrutícolas, olivares, cítricos, caña de azúcar), rastrojos diversos, pasturas (naturales y regeneradas); bosques (nativos y plantados), otros cultivos consolidados; bañados; áreas protegidas y otras áreas ocupadas (Figura 3).

En el módulo 2 también aplicamos limitaciones sobre la base del riesgo de erosión, calculado mediante la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE). Con el módulo 6 (aspectos ambientales), comparamos las respectivas tasas potenciales de erosión calculadas para diferentes unidades de suelo y sistemas de producción de soja con las tasas máximas tolerables de pérdida de suelo establecidas para los PUMS, determinando áreas adecuadas e inadecuadas para sistemas de cultivo (Figura 4). Otros aspectos ambientales relevantes serán incorporados en el futuro (balance de nutrientes, fragmentación, servicios ecosistémicos, etc.).

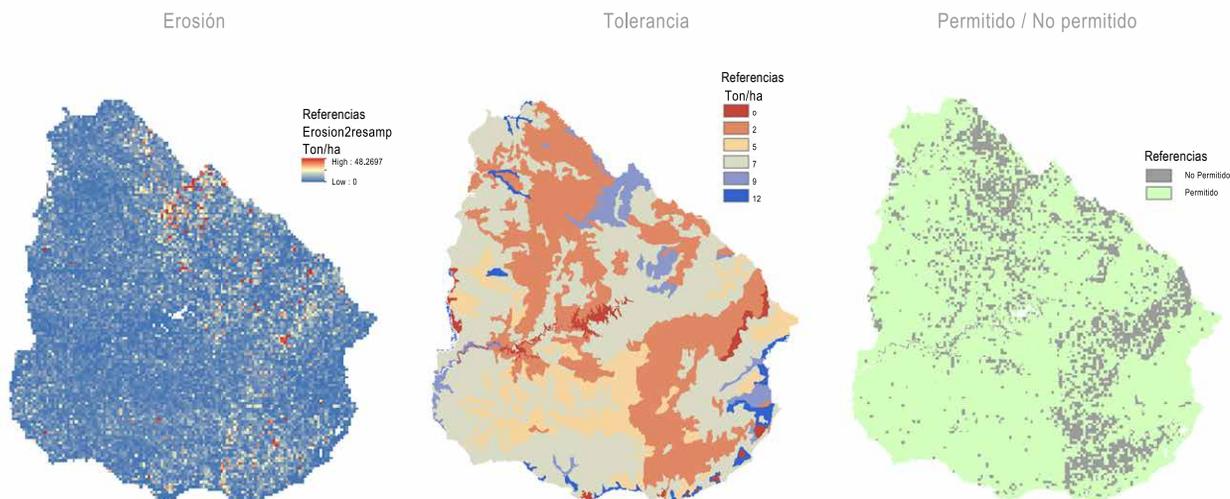


Figura 4 - Riesgo de erosión calculado, tasas de erosión tolerada y áreas restringidas por erosión.

En el módulo 3 incluimos costos diferenciales de transporte y logística, para cada área. Para el transporte consideramos la distancia lineal de la chacra a los puntos de acopio y la distancia por ruta de estos a puerto (Nueva Palmira y Montevideo), para aplicar una tarifa por tonelada/kilómetro. El costo total del flete surgió de multiplicar dicha tarifa por los rendimientos y la distancia total. Algunas zonas muy aisladas altamente productivas, donde la logística era escasa o difícil de desarrollar, no fueron tomadas en cuenta.

El módulo 4 nos permitió calcular los márgenes esperados para un escenario base, determinado por un precio promedio de 310 dólares por tonelada (promedio de la zafra 2018/19) y sin cambios tecnológicos. Al mapa de ingresos (rendimientos \times precio) generado con el SIG, descontamos el mapa de costos de transporte y logística creado en el módulo anterior y los costos de producción. Asumimos un mismo costo de producción para soja de primera (USD/ha 656) en todo el país, a excepción de los de transporte y logística que variaron según la región, al igual que los rendimientos y la renta. El área final, luego de impuestos todas las restricciones, se expresó en mapas de márgenes económicos antes y después del pago de renta (Figura 5).

El análisis económico para escenarios alternativos de precios y rendimientos potenciales derivados de mejoras tecnológicas fue materia del módulo 5. En materia de precios consideramos dos alternativas de mejora de estos: 350 dólares y 400 dólares por tonelada. En cuanto a las mejoras tecnológicas, agregamos un escenario siguiendo la tendencia histórica de mejora de rendimientos (0,78 % promedio anual por mejoras en genética y manejo del cultivo) y una mejora de 10 % por encima de la tendencia histórica debido al uso de variedades con mayor tolerancia a la sequía. Cabe señalar que no consideramos costos incrementales relacionados a las mejoras tecnológicas.

A estos nueve escenarios, agregamos tres más, con el fin de estimar efectos potenciales del cambio climático. Para analizar estos cambios consideramos el escenario más severo definido en el 5° informe de evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de Naciones Unidas.

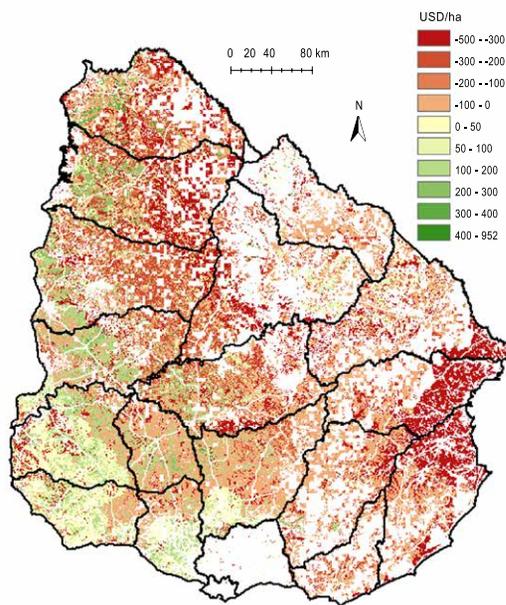
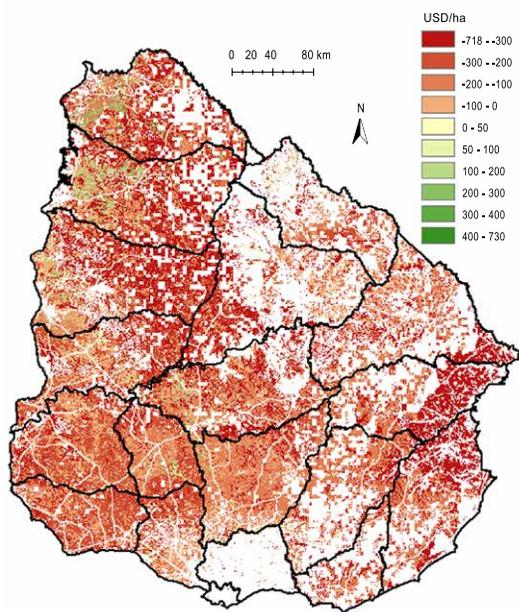
Margen antes de renta (USD/ha)Margen después de renta (USD/ha)

Figura 5 - Márgenes del cultivo de soja antes y después de renta para el escenario base.

Una expansión futura de la soja podría depender principalmente de un aumento del área de primera; es muy poco probable que los cultivos de invierno que rotan con la soja de segunda superen sus máximos históricos.

El escenario RCP 8.5 (*Representative Concentration Pathway*) del IPCC está asociado a un modelo que simula el sistema climático de la Tierra, el CCMS4 (*Community Climate System Model, V.4*). Establece lo que, según el IPCC, sería la trayectoria tendencial teórica a 2100 (Business-As-Usual) si no se adoptan políticas frente al cambio climático.

Cuadro 1 - Área potencial de soja para diferentes precios y trayectoria tecnológica (millones de ha)

Área potencial de soja, en millones de hectáreas, bajo diferentes escenarios de precios, cambio tecnológico y cambio climático		Precios					
		USD 310 / ha		USD 350 / ha		USD 400 / ha	
		s/renta	c/renta	s/renta	c/renta	s/renta	c/renta
Tecnología	Sin cambio tecnológico	2,65	0,49	6,37	1,89	6,53	5,26
	Tendencia Actual (TA)	6,46	3,41	6,53	6,39	6,59	6,53
	TA + Mayor Tolerancia a Sequía	6,53	6,34	6,53	6,46	8,10	6,53
CC	RCP 8.5 B.A.U. Modelo CCSM4	2,68	0,50	6,21	1,92	6,36	5,09

RESULTADOS

En el Cuadro 1 presentamos el área máxima de soja que permitiría la obtención de márgenes económicos antes y después de renta, para cada uno de los 12 escenarios considerados. En el escenario base (sin cambios tecnológicos y un precio en torno a USD 310 dólares por tonelada), más de 2,6 millones de hectáreas permitirían alcanzar un margen económico positivo con la soja, sin aplicar la renta de la tierra. De aplicarla, el área disminuiría drásticamente a 500 mil hectáreas, aproximadamente.

Bajo el mismo escenario de precios, manteniéndose la tendencia actual de rendimiento y asumiendo que se introduce una variedad tolerante a la sequía, el área máxima potencial de soja podría superar 6 millones de hectáreas. Para el escenario tecnológico y de precios más favorable, el área máxima potencial de soja podría superar los 8 millones de hectáreas. Considerando que la soja se siembra en rotación y que alrededor del 60 % de los productores arriendan la tierra, la superficie efectiva potencial rondaría 1,1 millones de hectáreas.

A efectos de simplificar el análisis, aceptamos como aptas aquellas áreas que exhibieron márgenes no negativos, sabiendo que esto implica cierta sobreestimación. En la práctica los productores harán

soja si pueden esperar un margen positivo mínimo, equivalente al beneficio sacrificado por hacer soja en vez de otra actividad productiva. En el escenario de cambio climático no observamos cambios significativos respecto al escenario base.

El modelo consideró solo soja de primera, que debe integrarse en una rotación agrícola o agrícola-ganadera. A los resultados obtenidos debe aplicarse un factor de descuento para evaluar cuántas hectáreas de la rotación corresponden a soja. A su vez debería considerarse que una expansión futura de la soja podría depender principalmente de un aumento del área de primera, ya que es muy poco probable que los cultivos de invierno que rotan con la soja de segunda tengan un crecimiento de área que supere sus máximos históricos.

De acuerdo con los PUMS, la rotación agrícola predominante actualmente de tres años implica dos años de soja (67 %). Una vez superado el millón de hectáreas de soja actual, cualquier incremento adicional supondría una rotación agrícola-ganadera con dos años de soja de primera y tres años de pastura (40 % soja). En rotación con arroz y pasturas, por ejemplo, la participación de la oleaginosa sería aún menor. A modo de ejemplo, si en un escenario el potencial es de 3 millones de hectáreas, el área "potencial disponible" sería 1 millón x 67 % + 2 millones x 40 % = 1.470.000 hectáreas.



Foto: Bruno Lanfranco

Foto 1 - La soja se ha consolidado en áreas donde antes no entraba, como en las rotaciones de las zonas arroceras del este.