

Asociación Argentina de Economía Agraria

Uso de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) para evaluar la focalización del programa de incentivos a la recuperación de suelos degradados en Chile

27 de octubre de 2019

Categoría: Trabajo de investigación

Apellido y Nombre 1° autor: Roberto Jara-Rojas^{1,2}

Correo electrónico: rjara@utalca.cl

Apellido y Nombre 3° autor: Carlos Bopp^{2*}

Correo electrónico: cboppm@gmail.com

Apellido y Nombre 2° autor: Fernando Fuentes-Peñailillo³

Correo electrónico: ffuentesp@utalca.cl

Apellido y Nombre 4° autor: Alejandra Engler^{1,2}

Correo electrónico: cboppm@gmail.com

Área temática: 9.3. Sostenibilidad ambiental: gestión sostenible de los RRNN

¹ Departamento de Economía Agraria, Universidad de Talca. Av. Lircay S/N, Talca, Región del Maule, Chile. Teléfono: +56 71 2200214.

² Investigador Núcleo Milenio, CESIEP, Talca, Chile

³ Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA), Universidad de Talca, Chile

* Autor de correspondencia y presentador

Uso de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) para evaluar la focalización del programa de incentivos a la recuperación de suelos degradados en Chile

La sustentabilidad de la agricultura en diversas regiones del mundo se ve amenazada por procesos de degradación de suelos que ocurren con diferentes grados de intensidad. Los niveles de degradación se explican principalmente por la erosión hídrica, la cual afecta la condición y potencial productivo del suelo. El objetivo de esta investigación es generar un modelo de erosión de suelos y luego evaluar la focalización de un programa de incentivos para la recuperación de suelos degradados. Para este fin, se usa como caso de estudio el programa gubernamental Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S) implementado en Chile desde el año 2010, usando una muestra de 653 agricultores georreferenciados. Para estimar la magnitud de erosión hídrica potencial se empleó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), que es un modelo diseñado para predecir la pérdida de suelo por escurrimiento superficial. Usando sistemas de información geográfica (SIG) y percepción remota se confeccionaron mapas de cada componente de la USLE y la magnitud de la erosión hídrica potencial de cada agricultor. Así, la muestra de agricultores se dividió en tres cuantiles de erosión, generando las categorías alta, media y baja erosión, para ser comparados mediante estadística descriptiva y análisis de varianzas. Los resultados indican que la asignación del SIRSD-S no es estadísticamente diferente entre agricultores con diferentes niveles de erosión hídrica potencial. Es más, se observó una tendencia contraria a la esperada ya que agricultores con baja erosión potencial presentaron una mayor tasa de asignación que agricultores con alta erosión potencial. Esta investigación presenta una herramienta útil para la toma de decisiones por parte del ejecutivo encargado del Programa, focalizando y entregando de manera más eficiente los recursos en las zonas y en los agricultores donde existe un mayor riesgo de erosión.

Palabras clave: USLE, erosión de suelos, focalización de incentivos, SIRSD-S, SIG.

1.- Introducción

El nivel de degradación de un suelo afectará en diferentes grados la condición y potencial productivo del mismo, lo cual se explica principalmente por procesos erosivos que resultan en pérdida de suelo a causa del viento, labranza y agua (Jazouli et al., 2017). La acción erosiva del flujo de agua sobre una pendiente es considerada uno de los principales factores de pérdida de suelo (Nekhay et al., 2009). En este sentido, la magnitud de pérdida de suelo a lo largo de un territorio es información valiosa para el planeamiento de medidas paliativas (Bargiel et al., 2013; Coman et al., 2019; Jazouli et al., 2017), sin embargo, este antecedente muchas veces no se encuentra disponible o no es considerado en el diseño de programas de conservación. Muchos países han ejecutado programas para fomentar la adopción de prácticas agrícolas sustentables entre agricultores, preferentemente incentivos económicos, con el fin de disminuir los procesos erosivos y proyectar la producción agrícola en el largo plazo (Bopp et al., 2019).

En este estudio buscamos responder la pregunta: ¿La entrega de incentivos económicos para la conservación de suelos se produce en aquellos suelos mayormente expuestos a la erosión? Con este propósito, evaluamos la focalización de un incentivo a la conservación de suelos de acuerdo al nivel de erosión potencial que presentan agricultores beneficiarios y no-beneficiarios del programa. Para ello se utiliza como caso de estudio el Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S), programa gubernamental implementado en Chile desde el año 2010. Nuestra hipótesis es que la asignación del programa de incentivos no se condice con el nivel de erosión potencial de suelos presentado por los agricultores evaluados.

Para probar esta hipótesis, usamos un modelo predictivo de erosión basado en los parámetros de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) para cuantificar la magnitud de la erosión y pérdida de suelo de los agricultores. La estimación de pérdida de suelo mediante la USLE considera el efecto erosivo del escurrimiento de agua superficial bajo determinadas condiciones climáticas, topográficas, de erodabilidad, de manejo agrícola y cobertura vegetal (Alewell et al., 2019). Numerosos estudios han utilizado la USLE para estimar el nivel de pérdida de suelo y testear hipótesis específicas asociadas a diferentes contextos, sin embargo, hasta donde sabemos no ha sido utilizada como herramienta para evaluar la focalización de incentivos de conservación de acuerdo al nivel de erosión potencial.

1.1.- Programa Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S)

Este programa tiene como objetivo recuperar o mantener la productividad de suelos en estado de degradación, siendo una de las mayores iniciativas de desarrollo en Chile (BCN, 2010). Para el periodo 2011-2015, el promedio anual de intervención es de unas 170 mil hectáreas por un valor de 40 millones de dólares, distribuidos en alrededor de 19.000 agricultores cada año. El programa está dirigido a usuarios de la tierra, ya sea como propietarios(as), arrendatarios(as), comodatarios(as), usufructuarios(as) o medieros. Dependiendo de la escala de producción, los agricultores pueden optar al SIRSD-S vía dos instituciones públicas: el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) en el caso de agricultores de mediana y gran escala, y el Instituto de Desarrollo Agropecuario

(INDAP) para el caso de pequeños agricultores⁴. Similarmente, el nivel de apoyo económico es variable según la escala, cubriendo hasta el 90% de los costos de referencia de las actividades financiadas en el caso de pequeños productores, el 70% para los medianos y el 50% para los productores de gran escala (BCN, 2010). Para acceder a los incentivos, los agricultores deben presentar un plan de manejo preparado por un operador acreditado en el marco de cinco posibles actividades: incorporación de fertilizantes de fósforo, corrección de elementos químicos esenciales, cubierta vegetal en suelos desprotegidos, prácticas de manejo sostenible y rehabilitación de suelos con impedimentos físicos (ODEPA, 2018a).

2.- Materiales y métodos

2.1.- Área de estudio y recolección de datos

El área de estudio se localiza en tres regiones del sur de Chile: Biobío, La Araucanía y Los Lagos (36°00' a 44°14' latitud sur), la cual se caracteriza por una agricultura basada en cultivos anuales, praderas y ganadería (ODEPA, 2018b). Además, esta zona es relevante en términos de cobertura de intervención del programa SIRSD-S, asignándose el 50% de los fondos totales al 30% del total de beneficiarios del programa⁵. En base a registros de las entidades responsables de la asignación del incentivo (INDAP y SAG), se identificaron beneficiarios y no-beneficiarios del programa. El grupo beneficiario estuvo compuesto por agricultores que recibieron el incentivo SIRSD-S al menos una vez entre 2010 y 2015, mientras que el grupo no-beneficiario correspondió a agricultores que postularon al incentivo pero que fueron rechazados durante el mismo período. De esta manera y basado en los registros del programa, se realizó un muestreo aleatorio que incluía tanto beneficiarios del programa SIRSD-S como no-beneficiarios, que sirvieron de grupo control. La encuesta se aplicó personalmente a los agricultores en sus propios campos durante el año 2016, la cuales estuvieron georreferenciadas mediante un punto GPS.

2.2.- Cálculo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

Las estimaciones cuantitativas de erosión de suelo pueden ser consideradas en la planificación de la gestión del uso de la tierra toda vez que el objetivo sea proteger y recuperar los suelos, ya que permite distinguir umbrales de erosión tolerables y niveles de susceptibilidad a la erosión. Uno de los modelos más utilizados para predecir la pérdida de suelo promedio de largo plazo bajo condiciones de campo y manejo específicas es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, USLE, el cual se basa en los principales factores que afectan la erosión del suelo (Bargiel et al., 2013; Coman et al.,

⁴ Ambas entidades atienden usuarios diferentes según la escala del productor, donde el INDAP se encarga de agricultores con 12 hectáreas de riego básico (HRB) o menos y sobre este umbral corresponde a SAG. HRB es una equivalencia de área en función de la capacidad de uso o potencial de producción (se usa como referencia de alta calidad una hectárea regada del Valle del Maipo en Chile).

⁵ Universidad de Talca. 2017. Estudio de desempeño y evaluación de impacto agrícola del Sistema de Incentivos para la Sostenibilidad Agroambiental de Suelos (SIRSD-S). Reporte final. 157 páginas

2019). USLE es un modelo matemático nacido en Estados Unidos con el fin de proveer una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la gestión de recursos naturales, que ha sido probado y validado bajo diversas condiciones de suelo, clima y manejo (Alewell et al., 2019). La magnitud de pérdida de suelo calculada por el modelo es la cantidad de sedimento que egresa o se remueve de la capa superficial de suelo por causas de escorrentía superficial, no la cantidad de sedimento que ingresa al terreno.

Según Alewell et al. (2019), la USLE se expresa en el sistema métrico internacional como:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde A es la magnitud de la pérdida de suelo anual ($Mg\ ha^{-1}\ año^{-1}$), R es un factor de erosividad de la lluvia ($MJ\ mm\ h^{-1}\ ha^{-1}\ año^{-1}$), K es un factor de erosionabilidad del suelo ($Mg\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$), L es un factor longitud del terreno (adimensional), S un factor de pendiente del terreno (adimensional), C es un factor de cobertura y manejo de la vegetación (adimensional), y P es un factor de prácticas de conservación (adimensional). En caso de no contar con el factor P para el cálculo de la USLE, el valor calculado queda referido a la magnitud de erosión hídrica potencial de un suelo, es decir, la cantidad de suelo que se pierde sin la realizar prácticas de conservación de suelo (Melchor-Marroquín and Chagoya-Fuentes, 2016)

Para los efectos de nuestro estudio, la información utilizada para estimar la USLE provino de datos a escala espacial y percepción remota. A partir de la posición satelital de los agricultores, registrada al momento de aplicar la encuesta, fue posible acceder a información secundaria para cada uno de ellos, tales como capas de calidad de suelo y precipitación (CIREN, 2019), mapas de elevación digital (Global Aster⁶) e índices de reflectancia superficial, NDVI (satélite LANDSAT 8⁷). Dado que el máximo nivel de resolución lo ofreció el NDVI (pixel 30x30m) todas las fuentes de información se llevaron a esta escala mínima a través de la interpolación de los datos que permitió generar un continuo en los casos de los mapas de elevación digital y las capas de suelo y precipitación. Utilizando el software QGIS, cada factor de la USLE fue calculado y mapeado, así como también la estimación de pérdida de suelo derivada de la multiplicación de estos factores. De esta manera, todos los factores que componen la USLE fueron estimados, con excepción del factor P sobre prácticas de conservación de suelo, dando como resultado el cálculo y mapeo del valor A, que representa la magnitud de erosión hídrica potencial.

2.3.- Focalización del SIRSD-S

⁶ ASTER GDEM es un producto del Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (NASA). Disponible en: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>. Recuperado en diciembre de 2018.

⁷ Landsat-8 imágenes cortesía de la Encuesta Geológica de Estados Unidos. Disponible en: https://www.usgs.gov/centers/eros/data-citation?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con. Recuperado en octubre de 2018.

Los programas gubernamentales de desarrollo pueden ser evaluados en términos de focalización y el objetivo para el cual fueron creados para mejorar los criterios de elegibilidad de postulantes, aumentar los niveles de eficiencia operativa y ahorrar fondos públicos (Bopp et al., 2019). Este estudio analiza la asignación del SIRSD-S de acuerdo al nivel de erosión hídrica potencial de suelos. Para ello, se segmentó la muestra que incluye agricultores beneficiarios y no-beneficiarios del programa en tres cuantiles de erosión potencial, usando el valor A especificado en la sección 2.2, definiendo niveles de erosión hídrica potencial alta, media y baja. En base a estos tres grupos se realizaron análisis de varianzas (ANDEVAS) y pruebas de comparación de medias (prueba de Sidak con 95% de confianza). La hipótesis del estudio es que existe una mayor asignación del SIRSD-S a agricultores que poseen suelos con mayor nivel de erosión hídrica potencial. Adicionalmente, dichos grupos se compararon en términos de variables sociodemográficas y perceptuales a modo de caracterizarlos.

3.- Resultados y discusión

3.1.- Mapeo de factores USLE y predicción de erosión hídrica de suelo

Como se señaló en la sección 2.2, los avances en herramientas geoestadísticas de vanguardia y la validación de componentes auxiliares en cada uno de los cinco factores de la USLE han permitido abordar extensas áreas geográficas para la identificación de niveles de erosión potencial (Bargiel et al., 2013). A continuación, presentamos el mapeo SIG de la predicción de erosión de suelos, valores obtenidos a partir de la multiplicación de factores USLE estimados usando capas de imágenes satelitales y percepción remota.

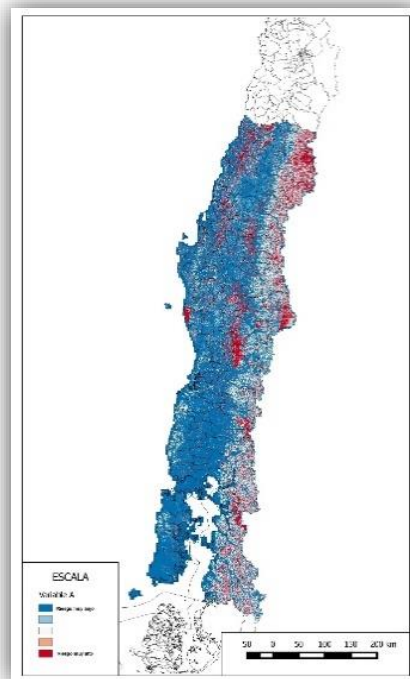


Figura 1. Mapa de de erosión hídrica potencial (A).

La Figura 1 muestra un continuo de colores para las regiones bajo estudio, que va desde el azul, representando muy bajo nivel de erosión potencial, al color rojo que indica zonas con erosión potencial muy alta. Dadas las condiciones geográficas de Chile, determinadas longitudinalmente por la presencia de la Cordillera de los Andes al este, el valle central o depresión intermedia y la Cordillera de la Costa al oeste, se puede apreciar una mayor erosión hídrica potencial en aquellas zonas con mayor pendiente en la parte norte del área de estudio. Sin embargo, dichas características de relieve se disipan hacia la parte sur del mapa, donde la erosión hídrica potencial es menor y cuenta con una distribución más homogénea.

3.2.- Evaluación de la asignación del SIRSD-S según erosión hídrica potencial

Como se señaló en la sección 3.1, los valores A de erosión oscilan ampliamente en la muestra, en un rango variación con valor mínimo de 0 y valor máximo de 30 donde la mediana de 0,13. A partir de esta variable continua calculada tanto para agricultores beneficiarios como no-beneficiarios del SIRSD-S, se definieron tres cuantiles de erosión potencial: nivel bajo que toma valores de 0 hasta 0,026 (n=228), nivel medio sobre 0,026 y hasta 0,796 (n=228), y nivel alto sobre 0,796 hasta 30 (n=229).

En la Tabla 1 se muestran estadísticos descriptivos para los agricultores que componen nivel de erosión potencial. Dichas variables que caracterizan los tres niveles de erosión potencial fueron sometidas a ANDEVAS con el fin de detectar diferencias significativas entre grupos (medias de variables acompañadas de letras estadísticas indican diferencias con 95% de confianza).

Tabla 1. Análisis de Varianza y comparaciones de medias entre agricultores con niveles de erosión potencial alto, medio y bajo.

| Variable | Nivel de erosión | | |
|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | BAJA (n= 228) | MEDIA (n= 228) | ALTA (n= 229) |
| Peq. productor (%) | 68 | 68 | 75 |
| Benef. SIRSD-S (%) | 57 | 50 | 49 |
| Edad (años) | 59 | 59 | 57 |
| Experiencia (años) | 39,3 a | 39,6 a | 35,4 b |
| Género masculino (%) | 71 | 78 | 76 |
| Empresa familiar (%) | 78 | 75 | 77 |
| Educación (años) | 9,3 | 9,3 | 9,5 |
| Región (1, 2, 3) | 2,5 a | 2,3 b | 1,9 c |
| Valor producción (US\$/ha prod.) | 2.143 | 2.198 | 1.691 |

Letras que difieren en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos, prueba de Sidak ($p < 0,05$).

Sorprendentemente, el porcentaje de beneficiarios SIRSD-S fue menor en el grupo de alta erosión potencial y mayor en el grupo de baja erosión potencial, sin embargo, el análisis de varianzas no arrojó diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos (Tabla 1). Por tanto y contrario a nuestras expectativas, la focalización del SIRSD-S no se produce en agricultores que disponen mayores niveles de erosión

potencial, razón por la cual rechazamos nuestra hipótesis de trabajo de que el incentivo se entrega en suelos con mayor erosión potencial ($p < 0,05$).

Adicionalmente, de la Tabla 1 se observa que la mayor parte de la muestra está compuesta por pequeños agricultores (atendidos por INDAP), quienes no tienden a concentrarse en algún nivel de erosión particular. Por otro lado, se aprecia que solo hay dos variables que distinguen estadísticamente a cada grupo: la experiencia en agricultura del productor y la región donde se ubica el predio. Se puede observar que productores con mayor experiencia tienen suelos con bajo nivel de erosión potencial, y que predios ubicados en la zona más austral del área de estudio presentan menores niveles de erosión, conforme a lo observado en la Figura 1.

4.- Conclusión

Este artículo analiza la focalización del incentivo SIRSD-S, una de las mayores iniciativas de desarrollo en Chile, de acuerdo al nivel de erosión potencial de suelo. Nuestros resultados indican que la asignación del SIRSD-S no se produce en suelos con mayor nivel de erosión potencial, lo cual supone una ineficiencia en la focalización del programa si el objetivo es recuperar suelos degradados y generar impacto en productividad y sustentabilidad ambiental. Estos resultados y la metodología empleada para obtenerlos pueden ayudar a tomadores de decisiones en la definición, gestión y seguimiento de programas de conservación para reducir la erosión de suelo.

5.- Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por la Comisión Nacional de Chile para Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT), Chile, a través de su Programa Becas Chile para el número de doctorado 21161334.

6.- Referencias

- Alewell, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Panagos, P., 2019. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *Int. Soil Water Conserv. Res.* 7, 203–225. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>
- Bargiel, D., Herrmann, S., Jadczyzyn, J., 2013. Using high-resolution radar images to determine vegetation cover for soil erosion assessments. *J. Environ. Manage.* 124, 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.049>
- BCN, (Library of the National Congress of Chile), 2010. History of Law n° 20,412 that establishes a system of incentives for the agro-environmental sustainability of agricultural land. Chile.
- Bopp, C., Engler, A., Poortvliet, P.M., Jara-Rojas, R., 2019. The role of farmers' intrinsic motivation in the effectiveness of policy incentives to promote sustainable agricultural practices. *J. Environ. Manag. J.* 244, 320–327.
- CIREN, (Centro de Información de Recursos Naturales), 2019. GIS layers under license CC BY 4.0 CIREN [WWW Document]. URL <https://www.ciren.cl/descarga-de-capas/>

- Coman, A.M., Lacatusu, G., Macsim, A.M., Lazar, G., 2019. Assessment of soil erosion using fournier indexes to estimate rainfall erosivity. *Environ. Eng. Manag. J.* 18, 1739–1745.
- Jazouli, A. El, Barakat, A., Ghafiri, A., Moutaki, S. El, Ettaqy, A., 2017. Soil erosion modeled with USLE , GIS , and remote sensing : a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco). *Geosci. Lett.* <https://doi.org/10.1186/s40562-017-0091-6>
- Melchor-Marroquín, J.I., Chagoya-Fuentes, J.L., 2016. Diagnóstico de la erosión hídrica en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz, México. 8, 25–35.
- Nekhay, O., Arriaza, M., Boerboom, L., 2009. Evaluation of soil erosion risk using Analytic Network Process and GIS : A case study from Spanish mountain olive plantations. *J. Environ. Manage.* 90, 3091–3104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.04.022>
- ODEPA, (Office of Agricultural Studies and Policies), 2018a. Program of degraded soils (SIRSD) [WWW Document]. URL <http://www.odepa.cl/sub-intra-sectorial/programa-de-suelos-degradados-sirsd/> (accessed 8.15.17).
- ODEPA, (Office of Agricultural Studies and Policies), 2018b. Statistics [WWW Document]. Natl. Reg. file. URL <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/ficha-nacional-y-regionales> (accessed 8.20.10).