

# INDICADORES PARA MEDIR LA EROSIÓN DE LOS SUELOS POR ACCIÓN DE LA LLUVIA: UNA REVISIÓN CON ÉNFASIS EN LA ESTABILIZACIÓN MASIVA Y CONTROL DE LAS TASAS DE EROSIÓN.

## Indicators to measure soil erosion for rain action: A review with emphasis on massive stabilization and control of erosion rates

Álvarez -Benaute, Luisa Madolyn

Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Perú. \*Autor para correspondencia:

[lalvarez@unheval.edu.pe](mailto:lalvarez@unheval.edu.pe)

 <https://orcid.org/0000-0001-6961-9870>

### RESUMEN

La erosión del suelo conlleva a una serie de impactos, dentro y fuera del ecosistema que a su vez se encuentran relacionados con la capacidad productiva del suelo y el agotamiento de los nutrientes. Este documento nos brinda una visión del estado de la pérdida del suelo por la erosión hídrica, enmarcado en un conjunto de indicadores de servicios ecosistémicos seleccionados (ES) que comprenden indicadores de oferta y demanda que representan los tres principales categorías proveedoras, reguladoras y socioculturales. La elección de los indicadores adecuados y su cálculo se presenta utilizando el ejemplo de la clase ES "estabilización masiva y control de las tasas de erosión" y el "control del agua de erosión del suelo". Los ecosistemas casi naturales a menudo resisten la erosión en mayor medida que las áreas en uso, cuyas tasas de erosión dependen de parámetros naturales y factores relacionados con el uso. El indicador principal, captura el efecto protector de los ecosistemas contra pérdida de suelo, calculada a partir de la diferencia de las pérdidas anuales y la tasa de erosión hipotética sin vegetación. El objetivo es mostrar el desarrollo de indicadores con un enfoque de participación de los interesados y adoptar procesos regulatorios que ayuden a contrarrestar los efectos de la erosión en los suelos.

**Palabras claves:** erosión del suelo, imágenes satelitales, estabilización, control.

### ABSTRACT

Soil erosion leads to a series of impacts, inside and outside the ecosystem that in turn are related to the productive capacity of the soil and the depletion of nutrients. This document gives us a vision of the state of soil loss due to water erosion, framed in a set of selected ecosystem service indicators (ES) that include supply and demand indicators that represent the three main supplier, regulatory and sociocultural categories. The choice of appropriate indicators and their calculation is presented using the example of class ES "massive stabilization and control of erosion rates" and "control of soil erosion water". Nearly natural ecosystems often resist erosion to a greater extent than areas in use, whose erosion rates depend on natural parameters and factors related to use. The main indicator captures the protective effect of ecosystems against soil loss, calculated from the difference in annual losses and the rate of hypothetical erosion without vegetation. The objective is to show the development of indicators with a focus on stakeholder participation and adopt regulatory processes that help counteract the effects of soil erosion.

**Keywords:** soil erosion, satellite images, stabilization, control.

<https://doi.org/10.47840/RelnA20200>

**Recibido:** 12 de setiembre de 2019

**Aceptado para publicación:** 25 de setiembre de 2019

## INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo se caracteriza por la translocación de las partículas del suelo por viento o agua (Morgan, 1995; Toy et al., 2002) y es el resultado de muchos factores tales como pendientes pronunciadas, fuertes lluvias, ausencia de cobertura del suelo y tipo de suelo (por ejemplo, arcilla, arenoso o franco) (Zhang y Feng, 2015; Huang et al., 2016). Y se encuentran determinadas por múltiples factores físico naturales y antropogénicos. El equilibrio natural entre el suelo, clima y vegetación que reduce la actividad de los procesos de erosión y favorece la formación de nuevos suelos (periodos de biostasia) fue alterado desde que el hombre empezó a cultivar la tierra para procurarse alimentos, pues al eliminar la vegetación nativa y roturar su superficie con implementos rudimentarios aceleró las tasas de pérdida de suelo (SCS-USDA, 1988; Sanders, 2004).

A nivel mundial han sido aplicadas muchas medidas para contrarrestar la degradación del suelo y, en especial, de la erosión.

La red WOCAT (World Overview of Conservation Approaches and Technologies), creada en 1992, ha tenido el objetivo de documentar las medidas de conservación y difundir los nuevos sistemas de manejo orientados a la producción sostenible que se desarrollan en el mundo. Dicha red posee un inventario de 450 estudios de casos de tecnologías y más de 350 de enfoques en alrededor de 50 países, la mayoría de ellos desarrollados en África (60%) y Asia (30%), con pocos estudios en América Latina (FAO, 2014). Es de esta manera que la

conservación de los suelos es una necesidad apremiante. Una pérdida media de 0,3% del rendimiento anual de los cultivos está ocurriendo debido a la erosión, que de continuar sin cambios positivos podría fomentar una reducción del rendimiento anual para el año 2050 en un 10%. Esto supondría la pérdida de 4,5 millones de hectáreas por año<sup>-1</sup> de suelo, siendo Asia, Latinoamérica y el Caribe, el Cercano Oriente y Norte de África las regiones que tienen la mayor tendencia a dicho deterioro (FAO y GTIS, 2015).

La conservación de suelos es necesaria no solo por razones vinculadas al sostenimiento de la productividad agrícola, sino también por la protección integral de las cuencas hidrográficas (Suarez, 2001; Delgado, 2009) que a menudo experimentan estos procesos. Tal es el caso de las cuencas tropicales, donde la degradación de los suelos bajo usos agrícolas y las altas tasas de producción de sedimentos asociados a estos como resultado de la erosión. Bientales (Valero et al., 2010).

Bajo esta realidad se hace necesario realizar estudios de la erosión que permitan determinar las tierras afectadas en diferentes grados de daño, los riesgos potenciales asociados a sus diferentes usos y las situaciones de conflicto, para tomar medidas de prevención, mantenimiento, defensa y/o recuperación.

En el Perú la erosión se muestra a tasas de 50 ton/ha/año en la zona sur andina, la cual podría estar relacionada al incremento de áreas destinadas a actividades, las tasas bajas de erosión se encuentran en la llanura amazónica, lo que se busca es adoptar procesos

regulatorios en la descarga de contaminantes en los cuerpos de agua, creemos que una regulación podría controlar y evitar que partículas de suelo lleguen a los cuerpos de agua. (Rosas y Gutiérrez 2016)

### **Principios fundamentales**

La erosión es un fenómeno natural que implica el desprendimiento de suelo y/o fragmentos de roca, y como tal es un fenómeno inevitable (Jorge y Guerra, 2014) que en su tasa de progresión natural es responsable de un proceso constructivo al contribuir con la formación de suelo, pero con una tasa acelerada por acción antropogénica se constituye en un proceso de degradación que resulta destructivo al fomentar su pérdida (Lal Stewart, 1990).

Los procesos de erosión natural ocurren progresiva o violentamente, afectando volúmenes importantes de material geológico o por medio de un proceso de desgaste lento y casi imperceptible de los suelos, contribuyendo así a la conformación del relieve y a la evolución de los suelos. Sin embargo, su aceleración y la gran mayoría de los efectos nocivos son inducidos por acción antrópica por usos inadecuados de la tierra y sobreexplotación de los suelos debido a prácticas de manejo incompatibles con las condiciones edafoclimáticas imperantes (Lopez-Falcon, 2002; Lopez-Falcon y Delgado-Espinosa, 2015).

El suelo es un recurso natural renovable en la escala de evolución del planeta tierra; sin embargo, es considerado "no renovable". Ello dada la constante y dinámica evolución del suelo y su propensión a ser degradado

con facilidad ante un uso inadecuado de la tierra.

Dado que la generación y la regeneración del suelo son procesos lentos (Alfisoles  $\approx$  38 años por cm) o extremadamente lentos (Oxisoles  $\approx$  750 años por cm) tal como señalan Boul et al. (2011), es común considerar al suelo como un recurso natural no renovable y finito en escala de tiempo humana (FAO, 2017; Vanwalleghem et al., 2017). Se destaca entonces la importancia de la conservación, ya que más del 99,7% de los alimentos que el hombre consume proceden de la tierra (Pimentel y Burgess, 2013). como textura, características estructurales, contenido de materia orgánica, propiedades hidráulicas y humectabilidad, que son algunos de los factores que afectan la erosionabilidad (Blanco y Lal, 2008).

### **METODOLOGÍAS PARA EL ESTUDIO DE EROSIÓN HIDRICA**

Según la FAO et al. (1979), publicada en español (FAO et al., 1980), los métodos para la evaluación de la degradación de suelos pueden ser agrupados en varias categorías generales: observaciones y mediciones directas, técnicas de teledetección, métodos paramétricos y modelos matemáticos.

En su mayoría las evaluaciones a diferentes escalas se basan en ecuaciones y modelos predictivos que relacionan las tasas de degradación con variables climáticas, topográficas,

del suelo y del uso y manejo de la tierra.

Los modelos matemáticos, son representaciones de fenómenos físicos, químicos, biológicos, sociales, económicos y/o procesos relacionados, han sido usados extensivamente desde finales de los años sesenta.

Los modelos pueden ser divididos en dos clases: empíricos y causales (De Coursey, 1985). Los empíricos, transforma un grupo de variables de 'entrada' en una 'salida de resultados sin tratar de describir el proceso bajo estudio Algunos ejemplos son la ampliamente utilizada Ecuación Universal de Perdida de Suelo o USLE (Wischmeier y Smith, 1978) y todas las modificaciones y revisiones que se le han hecho a este modelo, como la MUSLE (Williams, 1975; Williams y Berndt, 1977), la DUSLE (Flacke et al., 1990) y la RUSLE (Renard et al., 1993). Los modelos causales describen los procesos físicos, químicos y biológicos con detalle, pueden ser usados para predecir respuestas que no son necesariamente observadas, evaluar el efecto de cambio ambiental, coordinar y estructurar investigación e incluso desarrollar y mejorar modelos empíricos. Considerando los grandes programas que se han venido desarrollando en Estados Unidos con el Water Erosion Prediction Project o WEPP (Lafren et al., 1991) y en Europa con el European Soil Erosion Model o EUROSEM (Morgan et al., 1998; Quinton y Morgan, 1996).

También existen enfoques para cuantificar e inclusive simular. Dichos enfoques podrían clasificarse en cuatro grandes categorías.

La primera utiliza la teledetección y realiza estudios de observación sobre

las propias áreas donde ocurre la erosión, como por ejemplo el levantamiento topográfico de cárcavas y canales con LIDAR en Carolina del Sur (Estados Unidos) por James et al. (2007); la clasificación de tipos y grados desarrollados por Alvarado et al. (2007), la observación de procesos en la sierra madrileña (España) con imágenes Spot 5 por Pérez y García (2013).

La segunda utiliza los procesos de Erosion mediante el uso de parcelas en campo donde evalúan los parámetros de pendiente, tipo de suelo, cobertura y pluviosidad. Este enfoque fue empleado por primera vez por Wollny en Alemania entre 1877 y 1895 para medir los efectos de la vegetación y otras coberturas como el mulch en la intercepción de la lluvia, la estructura del suelo y los efectos del tipo de suelo y pendiente con escorrentía y Erosion, siendo estas las primeras investigaciones sobre Erosion desarrolladas en el mundo (Sanders, 2004; Dotterweich, 2013).

La tercera representa los métodos de cuantificación directa, como los basados en estacas y/o levantamientos de perfiles altamente detallados de la topografía (Martinez-Casasnovas et al., 2001), las mediciones de secciones rectangulares trapezoidales en surcos con cinta métrica (Luna- Ramos y Sole-Benet, 2015) o la estimación de sedimentos generados a partir de un simulador portátil de lluvia y viento (Marzen et al., 2017).

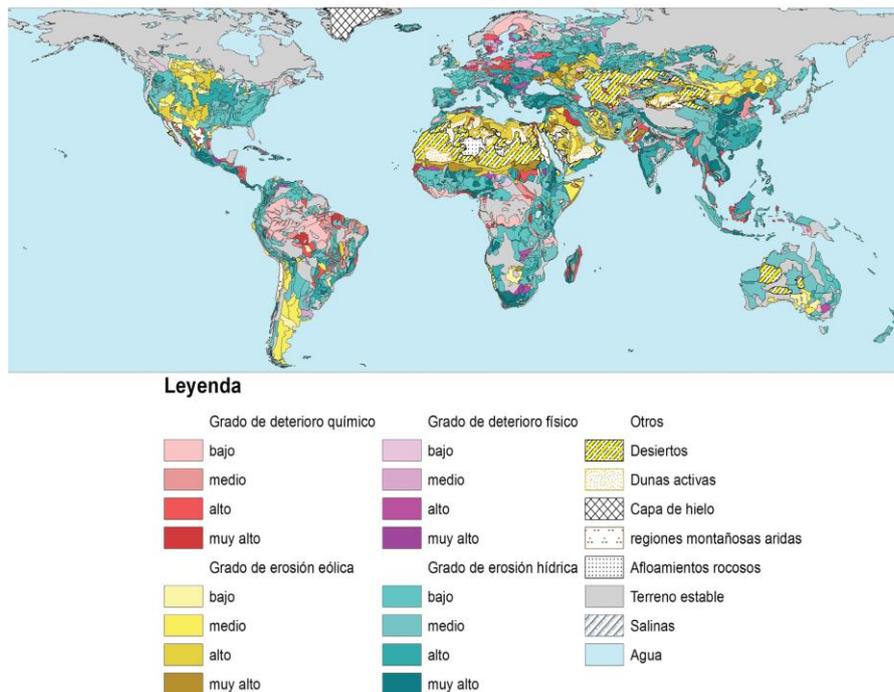
La cuarta corresponde con los enfoques que se basan en programas de computación que recogen y traducen los datos bajo las teorías y criterios científicos comprobados por los círculos de expertos en la materia,

la teledetección y los SIG. Algunos ejemplos son: El monitoreo de pérdida de suelo en algunas áreas de Nigeria (Ehiorobo y Izinyon, 2013), la detección de cárcavas con datos LIDAR en el Cerro Llamoca Turberas (Perú) basado en SIG (Hofle et al., 2013), o la aplicación y comparación en la meseta de Loess (China) de modelos de erosión de suelos como RUSLE, MUSLE, ZHENG'S, WEPP, SWAT, entre otros (Li et al., 2017).

De aquí, la erosión hídrica se encuentra como el mas importante, dada la afectación de

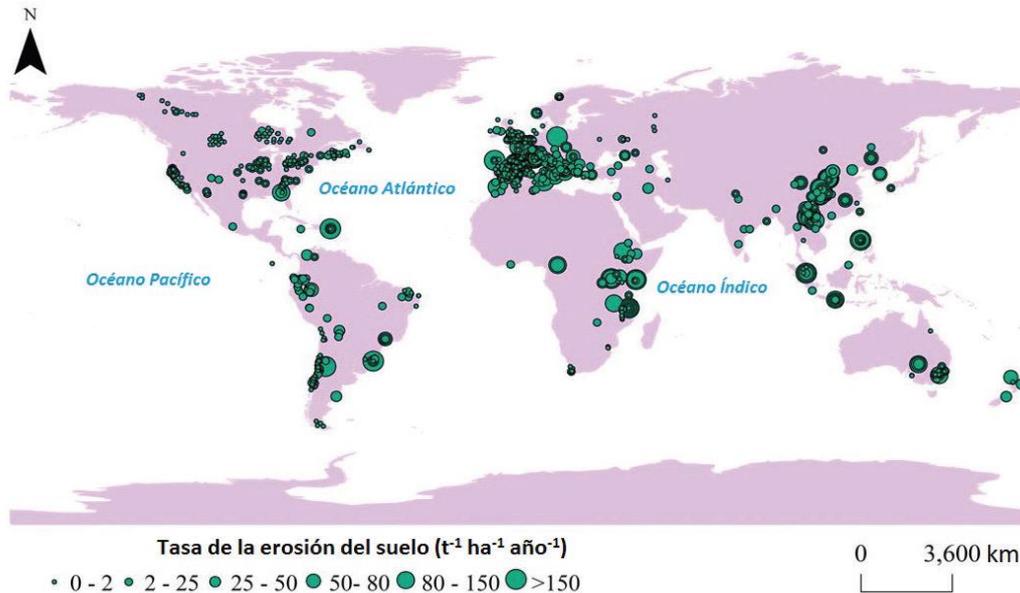
aproximadamente 1.093,7 millones de hectáreas y representando el 55,6% de la degradación del suelo a nivel mundial, de acuerdo con la FAO (2014). Mas recientemente, Li y Fang (2016), basándose en datos recabados por García-Ruiz et al. (2015), elaboraron un mapa que refleja de manera aproximada la severidad total y la distribución de la erosión de los suelos alrededor del mundo. Concluyen que algunas partes de Estados Unidos, China, Australia, India, partes de Europa, África y Suramérica presentan grados de erosión muy severa.

**Figura 1.** Evaluación mundial de la degradación de los suelos donde se evidencian las áreas con procesos de erosión hídrica (tonalidades azules) y eólica (tonalidades amarillas), entre otras degradaciones y coberturas



Fuente: elaboración propia con base en los archivos vectoriales suministrado por ISRIC (2017).

**Figura 2.** Tasas de erosión global



Fuente: Li y Fang (2016) basados en la base de datos recabada por García-Ruiz et al. (2015)

La ecuación universal de pérdida de suelo (USLE Wischmeyer y Smith, 1978) pueden usarse para la erosión del agua. Hay muchos más modelos y métodos aún más exactos para calcular el agua erosión como las progresiones MUSLE y RUSLE (USDA, 2014), el modelo y herramienta SIG WEPP (Lafle et al., 1997) o la base física modelo de simulación EROSION 3D (Schmidt, 1991), que fue parcialmente aplicado en el área de estudio (Wolf et al., 2009).

**Servicios de medición con ayuda de indicadores.**

Los servicios ecosistémicos (ES) deben asignarse en función de una medición cuantitativa de características centrales (Maes et al., 2014). Las cantidades de medición determinadas para este propósito, los llamados indicadores deberían ser capaces de revelar disparidades espaciales y siguiendo los cambios temporales para el propósito del monitoreo ambiental.

Por otra parte los indicadores forman la base para evaluaciones monetarias potenciales y para contabilidad nacional de ES. (Maes et al., 2014). En la medida de lo posible, ellos inicialmente se calculan en base a celdas de cuadrícula de 25 m x 25 m y todavía son disponible en esta resolución. Esta resolución bastante fina es necesaria en para capturar pequeños elementos y uso de la tierra. Algunos datos estadísticos se determinan directamente para el nivel estatal. Los indicadores

Indicador principal M "erosión hídrica evitada" (en t / ha \* año) La "erosión hídrica evitada" es relevante en todas las tierras inclinadas donde Los resultados de la cubierta de vegetación reducen las tasas de erosión.

Los servicios prestados por los ecosistemas corresponden a la diferencia de una hipotética erosión (sin vegetación) y la erosión actual con la vegetación actual. Laderas empinadas

con bosques y pastizales proporcionan lo mejor servicios. Áreas áridas (vertederos mineros) o temporalmente o parcialmente descubiertas Las tierras de cultivo (lúpulo, cultivos de raíces, maíz) proporcionan poco servicio. El valor del indicador también es bajo en áreas con poco peligro de erosión en plano terreno donde no hay necesidad de protección contra la erosión.

El Indicador secundario S1 "Erosión hídrica actual" (en t / ha \* año) La "erosión hídrica actual" corresponde a la cantidad del modelo erosión real, que constituye el sustraendo en la resta que produce M. Como complemento, este indicador toma los valores más altos donde el ES es el más bajo, es decir, en tierras de cultivo montañosas en riesgo de erosión.

Los valores bajos de los indicadores indican mejores servicios y deberían ser el objetivo. El indicador secundario S2 'Evita la erosión del agua a pequeña escala estructuras en tierra cultivable (en t / ha \* año) . Se evita la erosión hídrica a través de estructuras a pequeña escala (por ejemplo, setos, hileras de árboles, zanjas, bosques a pequeña escala) a través de una pendiente erosiva reducida la longitud también se tiene en cuenta al calcular el indicador principal M. Es adicionalmente especificado como un indicador secundario para cuantitativamente indicar el efecto de aumento de servicio de una estructura de paisaje diversa (con mayor biodiversidad).

Dado que dicha estructuración solo es relevante para erosión en tierras cultivables, este indicador se determinó específicamente para este tipo de área; es decir, dentro de los bosques, en pastizales y en áreas casi naturales.

Los ecosistemas del modelado se basa en una longitud de pendiente estándar.

El Indicador secundario S3 'Proporción de cultivos orgánicos en cultivos herbáceos tierra (en porcentaje/ estado) Como indicador de la capacidad de actuar, la participación del cultivo orgánico en tierras cultivables se especifica, y no, la agricultura orgánica en el toda la tierra agrícola porque la gestión de los pastizales puede ocupar el mayor parte de la tierra en la agricultura orgánica, pero es menos relevante para evitar erosión. Con respecto a un solo campo, puede ser polémico si es orgánico la agricultura reduce el riesgo de erosión de hecho la preservación de hábitats casi naturales son contribuciones importantes al suelo protección incluso si no pueden cuantificarse a escala nacional; sin embargo, un cultivo mecánico más fuerte también puede tener el efecto contrario contrario.

### **Calculando los indicadores**

El modelo comprende los factores naturales y factores antropogénicos de la erosión hídrica. A través de un cálculo media anual por hectárea y así al indicador secundario S1 "Erosión actual del agua".

El indicador principal M 'Erosión evitada del agua' está determinado por la diferencia entre una tasa de erosión hipotética (cuando falta vegetación) y la erosión hídrica actual bajo las condiciones de vegetación real y uso de la tierra (S1). El indicador secundario S2 'Evita la erosión hídrica a pequeña escala estructuras en tierras cultivables 'resultados de la diferencia de los resultados con y sin estructuras a pequeña escala en tierras de cultivo.

Para fines de modelado, todos los factores (excepto P, que es representado por el indicador secundario S3) se determinaron sucesivamente y se multiplicaron como valores de cuadrícula de 25 x 25 m. Una forma modificada de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE, Wischmeyer y Smith, 1978) se adaptaron como "ABAG" al contexto alemán (Schwertmann et al., 1990; DIN 19708, 2005). El empírico El modelo consta del producto P1:

$$P1: A = K \times R \times LS \times C \times P$$

Con los factores

A: erosión hídrica media anual

K: factor de erosibilidad (suelo)

R: factor de erosividad de la precipitación (precipitación)

L S: factor de topografía (longitud de la pendiente L, inclinación de la pendiente S)

C: factor de gestión (cobertura del suelo)

P: factor de las medidas de protección contra la erosión (protección del suelo). El factor R se calculó de acuerdo con la fórmula estacional de la Agencia de Hesse para la Conservación de la Naturaleza, el Medio Ambiente y la Geología (HLUG, 2016) porque puede calcularse utilizando acceso nacional y gratuito datos climáticos mensuales del Centro de datos climáticos (DWD 2017):

$$R = 0.141 * N_{So} - 1.48 \quad (r = 0.961),$$

donde  $N_{So}$  toma las sumas de precipitación media de los meses de verano. Datos de rejilla de 1000 m interpolados a partir de la medición de precipitación estaciones.

El factor K se determina utilizando el DIN 19708 (2005) DIN 19708 (2005)

mapa de la capa superficial del suelo (BGR, 2016). A los grupos de tipos de suelo se les asignó media K valores resultantes de los tipos de suelo representados allí,

Se evita la erosión hídrica a través de estructuras a pequeña escala en tierras de cultivo.

(S2) El impacto de las estructuras a pequeña escala en la erosión debe ser representado como el indicador separado S2 'Evita la erosión del agua a través de estructuras a pequeña escala en tierra cultivable.

El objetivo era derivar datos SIG que permitieran un grupo comparable de modelos. Por ejemplo, polígonos que denotan estructuras morfológicas tuvieron que ser extraídas de tierras de cultivo a pequeña escala operación de filtrado (llamada cierre) que resulta en continuo polígonos de tierra cultivable.

## CONCLUSIONES

Los efectos de las estructuras del paisaje a pequeña escala en la erosión son clave para

representar la conexión entre biodiversidad y estabilización masiva (ES). Es por eso que un Indicador específico S2 'Evita la erosión del agua a pequeña escala las estructuras en tierra cultivable. Las estructuras acortan las longitudes de las pendientes que tienen efectos erosivos en el cultivo aterrizaje y por lo tanto puede prevenir la acumulación de agua cada vez mayor cantidades cuya mayor capacidad de transporte resultaría en aumento de la erosión hídrica evitada por estructuras de pequeña escala.

En conclusión la pérdida de suelo debe minimizarse y la densidad de las estructuras a pequeña escala debe

umentarse especialmente donde otras posibilidades de protección contra la erosión son limitadas. Para este propósito, todos los indicadores deben ser recalculados y comparados cada tres años.

El indicador secundario S2 que evita la erosión del agua a pequeña escala muestra un pequeño una importante contribución de los elementos del paisaje a la protección del suelo. Aparte de la densidad de estructuras de pequeña escala, sus impactos también dependen del diseño del área de los propios campos, es decir, en comparación con toda la estructura del uso de la tierra, Los elementos de pequeña escala tienen un mayor impacto cuando la estructura del cultivo la tierra es particularmente gruesa (Alemania Oriental, Schleswig-Holstein).

Las imágenes satelitales, han permitido revolucionar la cartografía de suelos gracias a la utilización de los SIG, herramienta que ha concedido la posibilidad de combinar y superponer capas temáticas que facilitan la identificación de los suelos presentes en un área determinada (IGAC, 2010) o de fenómenos que los afectan (como los procesos de erosión) y cuyos resultados además facilitan la vigilancia ambiental y la gestión de los recursos naturales, mejorando también la capacidad de respuesta ante los desastres naturales o antropogénicos (Becerra, 2013).

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Alvarado C., M., Colmenero R., J., Valderrabano, M., 2007. La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el

Estado de Tlaxcala, Mexico. *Cienc. Ergo Sum* 14, 317-326.

Blanco, H., Lal, R., 2008. Principles of soil conservation and management. Springer, Heidelberg, Alemania. [boden/auswertung/bodenerosionsbewertung/bodenerosionsatlas/erosionsbewertung-abag.html](http://boden/auswertung/bodenerosionsbewertung/bodenerosionsatlas/erosionsbewertung-abag.html)

Buol, S., Southard, R., Graham, R., McDaniel, P., 2011. Soil genesis and classification. 6th ed. John Wiley & Sons, Ames, IW. DOI: 10.1002/9780470960622 de 2017.

Delgado, F., 2009. Introducción a la conservación del suelo en tierras altas en Venezuela. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

DIN 19708, 2005. Bodenbeschaffenheit –Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mithilfe der ABAG [Soil conditions –assessment of the soil erosion risk by water using the ABAG]. Normenausschuss Wasserwesen im DIN, Berlin.

DWD-Deutscher Wetterdienst (n.y.): Climate Data Center. [http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc\\_node.html](http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html) (February 28, 2017). *Earth-Sci. Rev.* 170, 17-30. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.05.005

Ehiorobo, J., Izinyon, O., 2013. Monitoring of soil loss from

- erosion using geoinformatics and geotechnical engineering methods. *J. Civil Eng. Archit.* 7, 78-84.
- FAO, 2014. Sistematización de prácticas de conservación de suelos y aguas para la adaptación al cambio climático. Metodología basada en WOCAT para América Latina y el Caribe. Santiago
- FAO, 2014. Sistematización de prácticas de conservación de suelos y aguas para la adaptación al cambio climático. Metodología basada en WOCAT para América Latina y el Caribe. Santiago.
- FAO, 2017. Conservación de suelos y aguas en América Latina y el Caribe. Disponible en: <http://www.fao.org/americas/prioridades/suelo-agua/es/>; consultado: septiembre
- FAO, GTIS, 2015. Estado mundial del recurso suelo (EMRS). Resumen técnico. Roma
- FAO, PNUMA, UNESCO, 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma.
- Flacke, W., Auerswald, K., Neufang, L., 1990. Combining a modified universal soil loss equation with a digital terrain model for computing high resolution maps of soil loss resulting from rain wash. *Catena* 17, 383-397. DOI: 10.1016/0341-8162(90)90040-K
- García-Ruiz, J., Beguería, S., Nadal-Romero, E., González-Hidalgo, J., Lana-Renault, N., Sanjuan, Y., 2015. A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology* 239, 160-173. DOI: 10.1016/
- HLUG (2016). Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie: Bodenerosionsgefährdung durch Wasser (ABAG). <http://www.hlnug.de/themen/>
- Hofle, B., Griesbaum, L., Forbriger, M., 2013. GIS-based detection of gullies in terrestrial LiDAR data of the Cerro Llamoca Peatland (Peru). *Remote Sens.* 5, 5851-5870. DOI: 10.3390/rs5115851
- International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), 2017. Global assessment of human-induced soil degradation (GLASOD). Disponible en: <http://data.isric.org/geonetwork/srv/en/catalog.search#/metadata/9e84c15e-cb46-45e2-9126-1ca38bd5cd22>
- Jorge, M., Guerra, A., 2014. Erosão dos solos e movimentos de massa - recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes. En:
- Guerra, A., Jorge, M. (Eds.), *Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas. 1ª reimpressão. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil.* pp. 7-30.
- Lafren, J., Elliot, W., Simanton, J., Holzhey, C., Kohl, K., 1991. WEPP: soil erodibility experiments for rangeland, and

- cropland soils. *J. Soil Water Conserv.* 46, 39- 44.
- Lal, R., Stewart, B., 1990. Soil degradation. En: Stewart B. (Ed.), *Advances in soil science*. Vol. 11. Springer- Verlag. New York, NY. DOI: 10.1007/978-1-4612- 3322-0
- Li, P., Mu, X., Holden, J., Wu, Y., Irvine, B., Wang, F., Gao, P., Zhan, G., Sun, W., 2017. Comparison of soil erosion models used to study the Chinese Loess Plateau.
- Li, Z., Fang, H., 2016. Impacts of climate change on water erosion: a review. *Earth-Sci. Rev.* 163, 94-117. DOI: 10.1016/j
- Lopez-Falcon, R., Delgado-Espinoza, F., 2015. Degradacion y manejo sostenible de suelos de sabana. En: Lopez-Falcon, R., Hetier, J., Lopez-Hernandez, D., Schargel, R.,
- Zinck, A. (eds.), *Tierras Llaneras de Venezuela... tierras de buena esperanza*. Vol. 2: uso agrícola de los suelos de Sabana, Referencial Científico. Consejo de Publicaciones, Universidad de Los Andes, Merida, Venezuela. pp. 555-654.
- Luna-Ramos, L., Sole-Benet, A., 2015. Erosion del suelo acentuada por un acolchado de gravilla en una ladera en restauracion en canteras de Almeria (sede Espana). *Rev. EIA* 1, 13-19. DOI: 10.24050/reia.v1i1.702
- Maes, J., et al., 2012. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosyst. Serv.* 1 (1), 31–39.
- Marzen, M., Iserloh, T., de Lima, J., Fister, W. Ries, J., 2017. Impact of severe rain storms on soil erosion: experimental evaluation of wind-driven rain and its implications for natural hazard management. *Sci Total Environ.* 590, 502-513. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.190.
- Morgan, R., Quinton, J., Smith, R., Govers, G., Poesen, J., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M., Folly, A., 1998. The european soil erosion model (EUROSEM): documentation and user guide Version 3. Silsoe College, Cranfield University, Bedford, UK
- Morgan, R., Quinton, J., Smith, R., Govers, G., Poesen, J., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M., Folly, A., 1998. The european soil erosion model (EUROSEM): documentation and user guide Version 3. Silsoe College, Cranfield University, Bedford, UK
- Pimentel, D., Burgess, M., 2013. Soil erosion threatens food production. *Agriculture* 3, 443-463. DOI: 10.3390/agriculture3030443
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., Yoder, D., 1993. *Predicting soil erosion by water:*

- a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Agriculture Handbook 703. USDA, Washington, DC.
- Rosas M. A. and Gutierrez R. R. (2016). "Quantification of soil erosion rates in developing countries: The necessity, a proposed methodology and a case history". Anthropocene. Under review.
- Sanders, D., 2004. Soil conservation. En: Verheye, W. (Ed.), Land use, land cover and soil sciences. Vol. 4: Land use management. En: Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Developed under the Auspices of the UNESCO. EOLSS Publishers. Oxford, UK. pp. 198-218.
- Servicio de Conservacion de Suelos (SCS)-USDA, 1988. Manual de conservacion de suelos. 6a ed. Editorial Limusa, Mexico DF
- Suarez, J., 2001. Control de erosion en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre erosion y Deslizamientos; Universidad Distrital Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Valero, L., Delgado, F., Lopez, R., 2016. Planificacion del uso de la tierra en cuencas altas con base en el riesgo de erosion y la productividad del suelo. Rev. Geogr. Venez. 51, 93-111
- Williams, J., 1975. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. En: Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources. USDA-ARS, Washington DC. pp. 244-252.
- Williams, J., Berndt, H., 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans. ASAE 20, 1100-1104. DOI: 10.13031/2013.35710
- Wischmeier, W., Smith, D., 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agricultural Handbook 537. USDA, Washington, DC.
- Wischmeier, W., Smith, D., 1978. Predicting rainfall erosion loss: a guide to conservation planning -United States department of agriculture. Agriculture Handbook 537. pp. 58 (Washington)