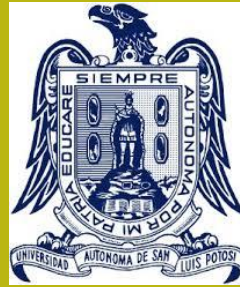


Conectividad de Flujos de Sedimentos: conceptos, aplicaciones y desafíos

<https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24681.57445>

LORENZO BORSELLI¹



¹Instituto de Geología

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ,

**Av. M. Nava No 5, Zona Universitaria,
San Luis Potosí, 78290, SLP, MEXICO**

lborselli@gmail.com

<http://www.lorenzo-borselli.eu>

**Invited Seminar- Universidade Federal de Espírito Santo (UFES),
Laboratório de Monitoramento e Modelagem
de Sistemas Ambientais (LAMOSA),
15-03-2023, Vitória, BRASIL**



Conectividad de Flujos de Sedimentos: conceptos, aplicaciones y desafíos

LORENZO BORSELLI

Resumen

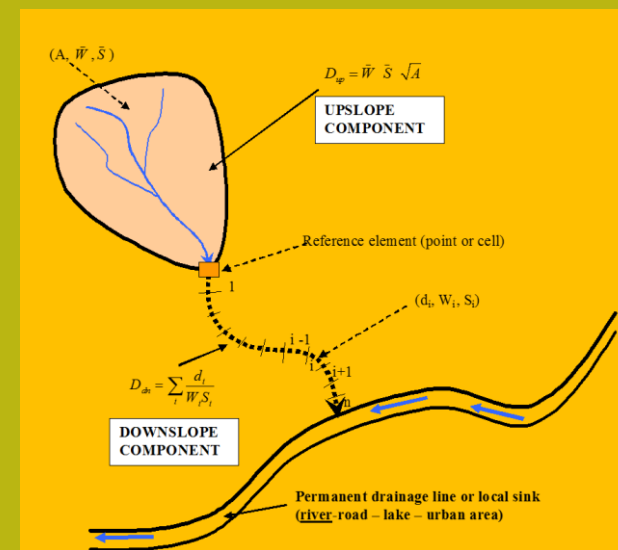
El estudio de la conectividad de flujos y sedimentos en la superficie terrestre no es una novedad absoluta en la geomorfología y en las disciplinas que estudian los procesos de erosión hídrica del suelo o los movimientos gravitatorios como deslizamientos o flujos de lodo y escombros. Muchos modelos bien conocidos para estimar la erosión del suelo (WEEP, OPENLISEM, INVEST, etc.) consideran los procesos de erosión asociados con el flujo de agua concentrado y las posibles zonas de deposición donde el agua se ralentiza y el proceso de erosión deja de ser frecuente. Del mismo modo innumerables observaciones de campo indican cómo el proceso de pérdida neta de suelo depende de la proximidad de áreas potenciales de recepción de sedimentos y cómo la presencia de obstáculos de diversa índole reduce la probabilidad de pérdida neta de sedimentos favoreciendo en cambio una acumulación localizada. Esta presentación trata el tema de la conectividad de flujo a través del índice de conectividad IC que fue desarrollado para sus aplicaciones en el campo de la geohidrología y la conservación de suelos hace unos 20 años pero que fue publicado por primera vez en 2008. En los últimos 10 años la metodología ilustrada ha recibido un creciente interés internacional por sus múltiples sectores de uso: evaluación del nivel de degradación del suelo, planificación de la conservación del suelo, estimación de áreas en riesgo de flujo de escombros y deslizamientos de tierra, solo por nombrar algunos. La metodología aún tiene mucho potencial de desarrollo en los campos de la hidrología, la geomorfología y las ciencias de la conservación del suelo. La metodología puede ser una fuente importante de nuevas aplicaciones como la posibilidad de aplicación conjunta de técnicas de teledetección y SIG, UAV. Y de esta forma ha dado importantes resultados en aplicaciones en todas las áreas del mundo en los últimos años. Por supuesto, todo esto debe verse y abordarse de manera equilibrada, ya que la metodología IC, y sus variantes conocidas, no son una panacea para todos los problemas ambientales.

Abstract

The study of connectivity of flows and sediments on the earth's surface is not an absolute novelty in geomorphology and in the disciplines that study the processes of water erosion of the soil or gravitational movements such as landslides or mud and debris flows. Many well-known models for estimating soil erosion (WEEP, OPENLISEM, INVEST etc.) consider erosion processes associated with concentrated water flow and potential deposition zones where water slows down and the erosion process becomes no longer prevalent. In the same way countless field observations indicate how the process of net soil loss depends on the proximity of potential sediment reception areas and how the presence of obstacles of various types reduces the probability of net loss of sediments favoring instead a localized accumulation. This presentation deals with the issue of flow connectivity through the IC connectivity index which was developed for its applications in the field of geohydrology and soil conservation about 20 years ago but which was published for the first time in 2008. In the last 10 years the illustrated methodology has received a growing international interest for its multiple sectors of use: assessment of the level of soil degradation, soil conservation planning, estimation of areas at risk of debris flow and landslides, only to name a few. The methodology still has a lot of potential for development in the fields of hydrology, geomorphology and soil conservation sciences. The methodology can be an important source of new applications such as the possibility of joint application of remote sensing techniques and GIS, UAV. And in this way, it has given important results in applications in all areas of the world in the last few years. Of course, all of this has to be seen and approached in a balanced way as the IC methodology, and its known variants, are not a panacea for all environmental problems.

Puntos clave de esta presentación

- Conceptos básicos de la conectividad de flujos y *Flow Connectivity Approach* (FCA) (mi opinión personal)
- Historia del desarrollo del índice de conectividad (IC)
- Discusión sobre:
 - Las bases teóricas del índice IC
 - Campos de aplicación del índice IC
 - Calibración del índice IC y la interpretación de IC
 - Variantes del índice IC
- Campos de Aplicación Actuales del índice IC
- Posibilidades de desarrollo del índice IC
- Especulaciones y desafíos



¿Por qué es necesario un paradigma de conectividad y esfuerzos de modelado?



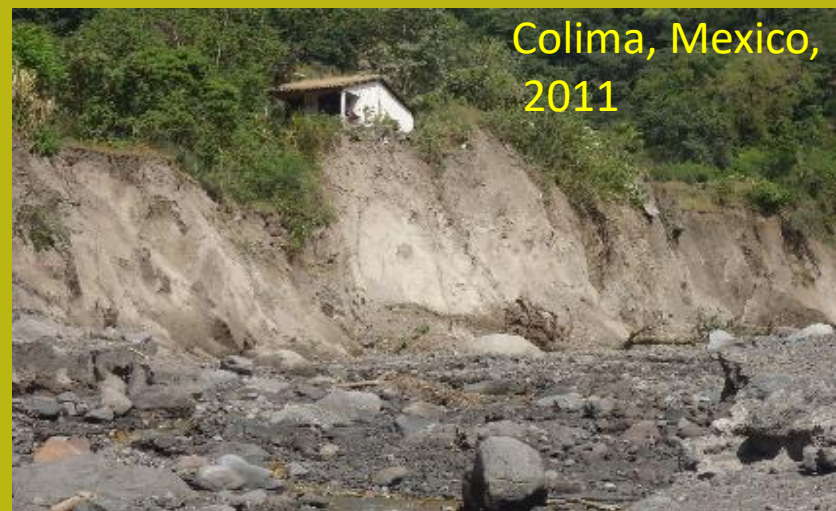
Photo, Borselli 2003
Northern Apennine, Italy

**GESTIÓN DE LA COMPLEJIDAD DE LA MODELIZACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DEL SUELO y
EVALUACIÓN DE RIESGOS HIDROGEOLÓGICOS CON
LA CONTRIBUCIÓN DE UNA NUEVA HERRAMIENTA**

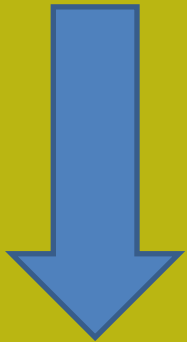


Flow Connectivity Approach (FCA)

La conectividad hidrológica es un término que se utiliza a menudo para describir los vínculos internos entre la escorrentía y las fuentes de sedimentos en las partes superiores de las cuencas y los sumideros correspondientes. (Croke et al., 2005).



El paradigma de conectividad tiene una importancia prominente también en la geomorfología y la evolución del paisaje: procesos y tasas de evolución del paisaje...



FUENTE
(source)

AGUA , SEDIMENTOS,....



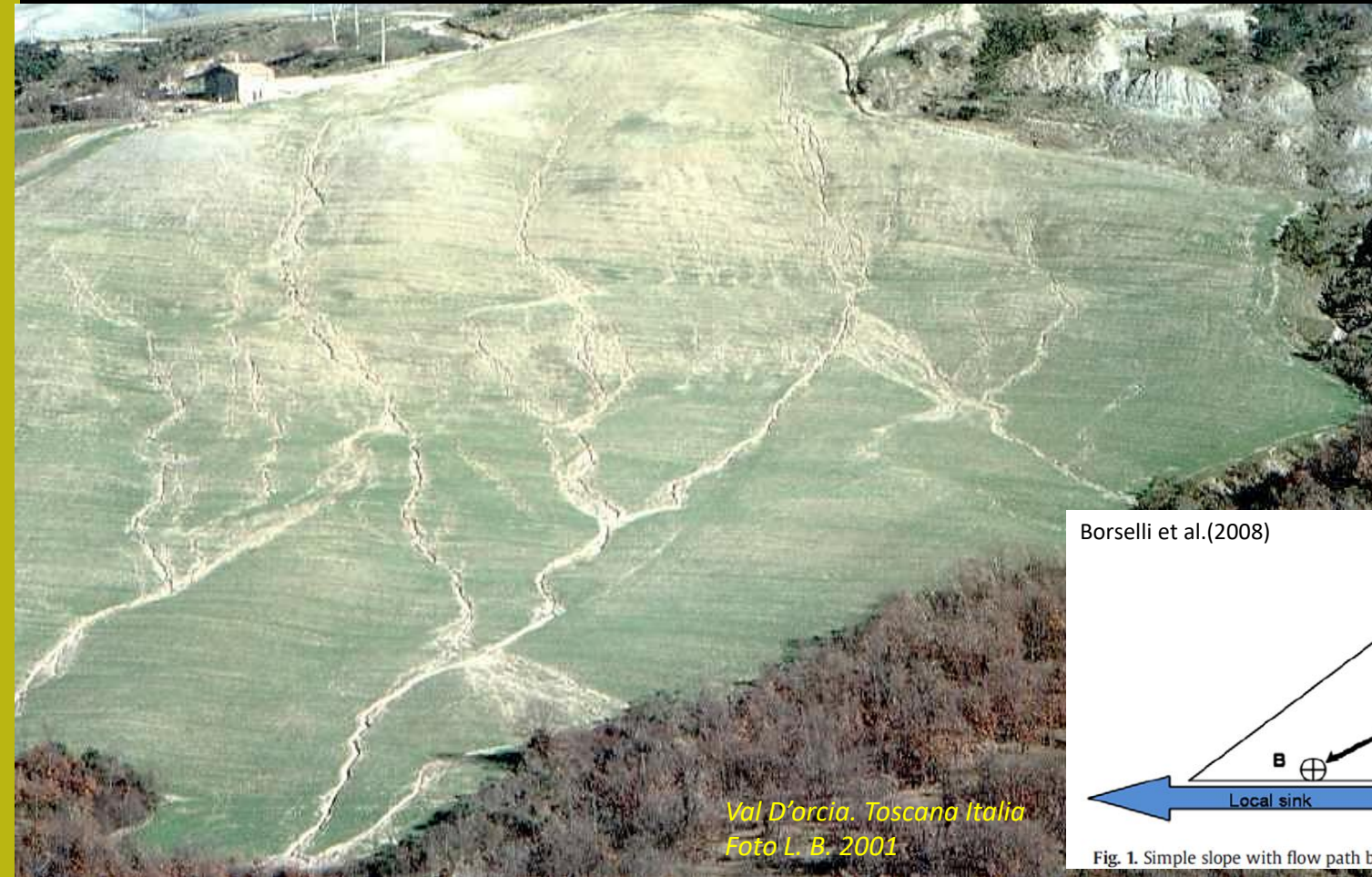
Trasferencia de
MASA y ENERGIA

SUMIDERO
(sink)

(Ver Definición In Bracken et al. (2013))

Definición de conectividad para el flujo de sedimentos:

La conectividad puede definirse como las posibilidades de que una partícula tenga para llegar al sumidero más cercano y esto depende de: distancia al sumidero; características de la ruta; agua disponible para el transporte desde la cuesta arriba; Agua que se gana/pierde a lo largo de la ruta cuesta abajo



Borselli et al.(2008)

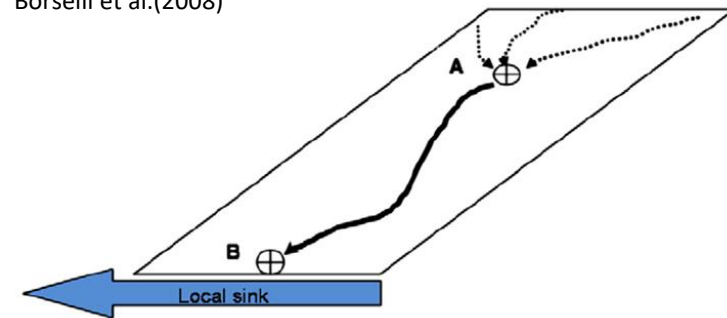


Fig. 1. Simple slope with flow path between the source area A and the local sink B.

Erosión y conectividad en un campo nivelado de *biancana badland* (Tuscany, Italy 2001)



Función de la conectividad de flujo Observaciones de campo



Función de la conectividad de flujo Observaciones de campo

La conectividad difusa también está influenciada (Cammeraat ,2002) por :

- 1) irregularidad de la superficie del suelo (rugosidad), que podría ser muy baja en la escala de parcela, pero más alta en la ladera de la colina y en las escalas de cuencas;
- 2) organización espacial de la vegetación a escala de ladera y la disposición espacial entre unidades territoriales a escala de cuenca;
- 3) intensidad de la lluvia, duración del evento y, por lo tanto, la precipitación efectiva.!!!!

from Borselli et al. 2008

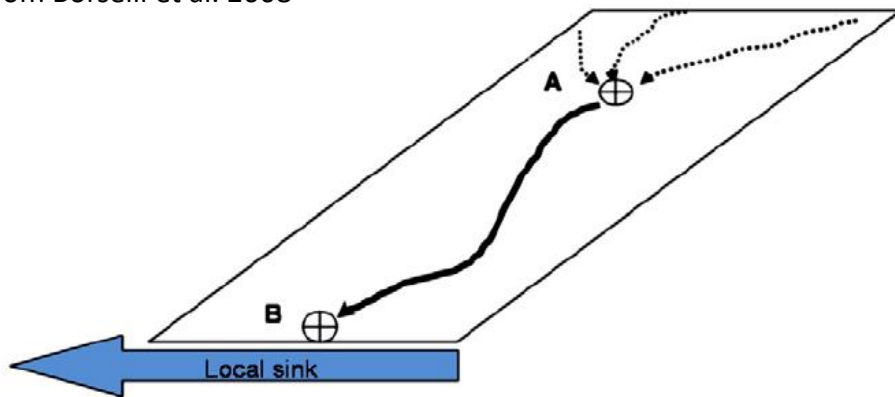


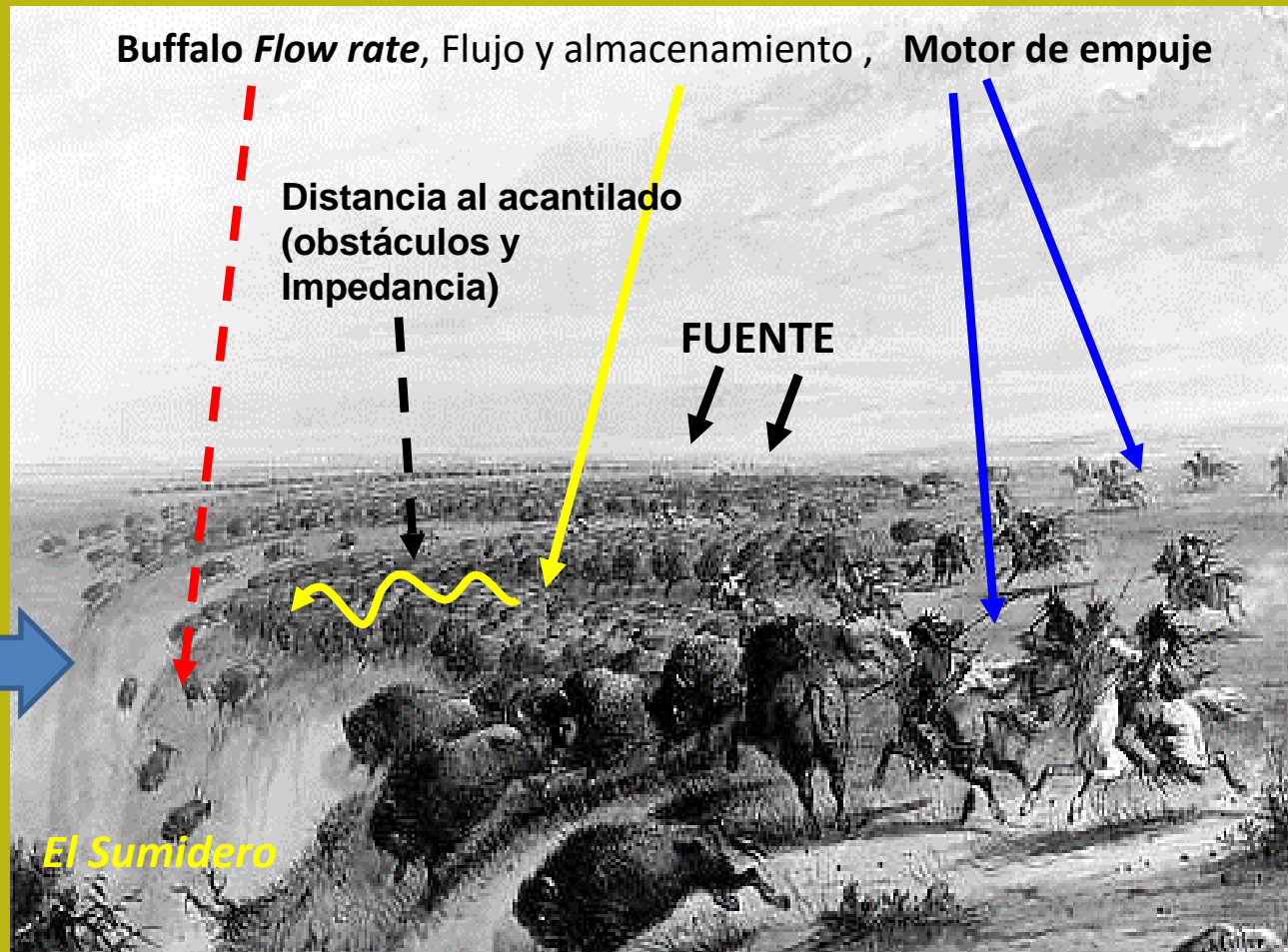
Fig. 1. Simple slope with flow path between the source area A and the local sink B.

From Cavalli et al. (2013)



Un ejemplo conceptual... La importancia de la conectividad...

Las características anteriores se definen y utilizan, por muchos modelos distribuidos de erosión del suelo en modelado y computación de erosión y deposición en cuencas enteras

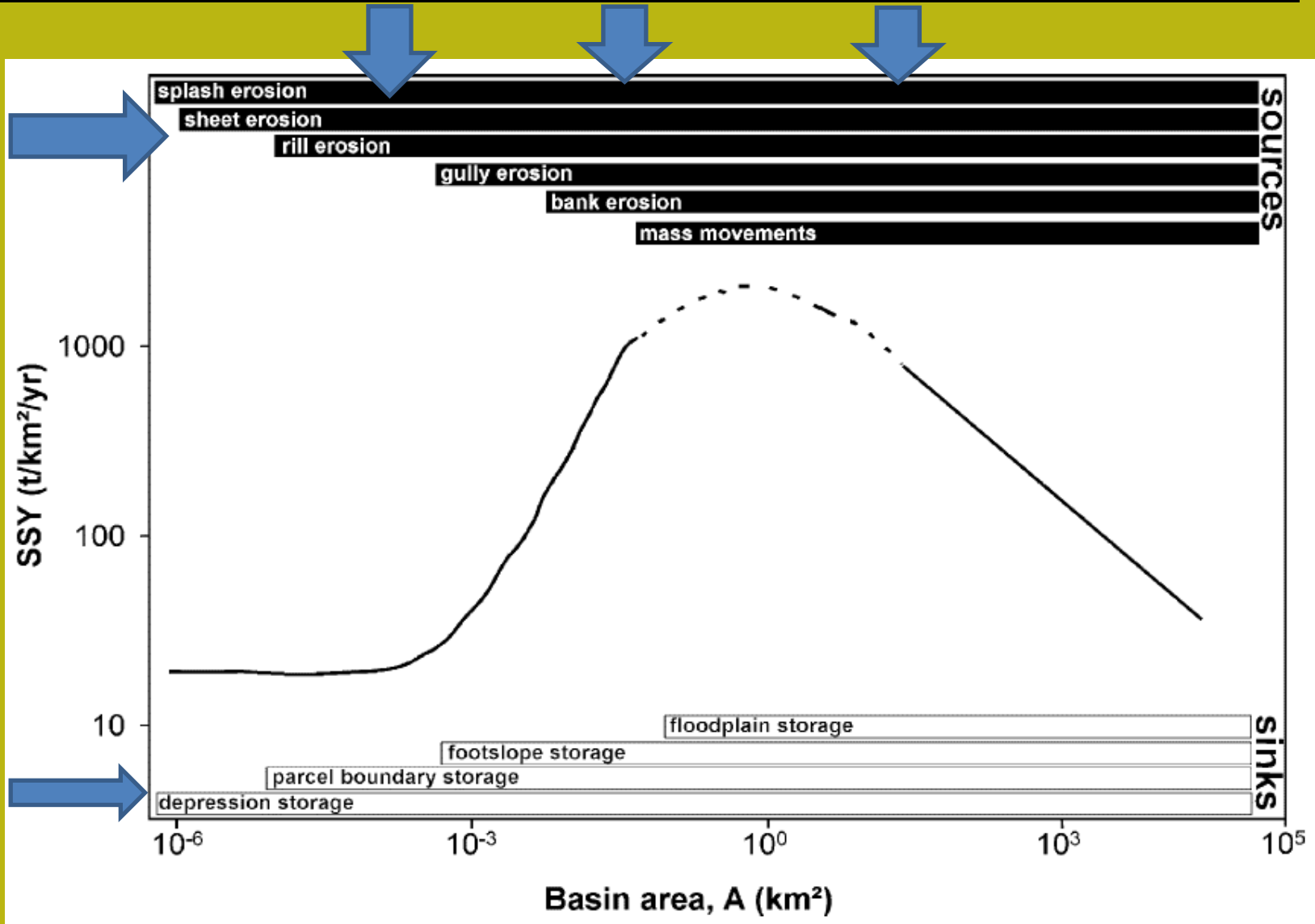


Fuente: Alfred J. Miller 1887 from National Archives of Canada

El “**Buffalo jump**”.
A Nativos Americanos
Técnica de caza
que tiene cierta similitud
con erosión del suelo /
escorrentía
Procesos....
P. ej... La oportunidad de
cada uno
búfalo para caer.... Morir
.. o escapar y sobrevivir...

Influencia de la conectividad en el perdida de sedimentos (SSY)..... de muchas fuentes.... (no solo debido a la erosión del suelo....)

Fuentes



Sumideros (SINK)

Modelo conceptual del perdida de sedimentos a diversas escalas y fuentes y sumideros contribuyentes (De Vente and Poesen, 2005)

Dinamica a la escala temporal de la conectividad (vegetación , Uso del suelo)



2004



2009



2003



2010



Procesos y evaluaciones de peligros naturales (erosión del suelo, movimientos de remoción en masa..)



**Modelización (física, distribuida,
modelos empíricos)**



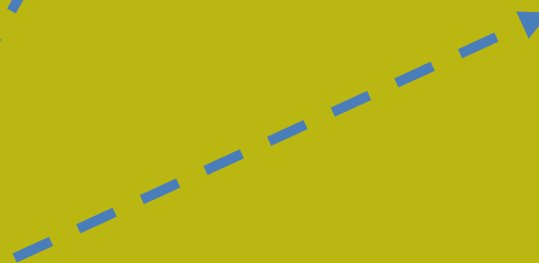
Análisis de escenarios



**Herramientas de apoyo
a las decisiones**



**Formulación
de políticas
y Decisiones**



**conectividad
(índices y herramientas)**

Donde FCA puede ser útil....

Índices de conectividad, una métrica local para el *Flow connectivity approach* (FCA).

Si existiera un modelo ideal, capaz de simular perfectamente la transferencia de masa y energía, la redistribución o su almacenamiento en el territorio, probablemente no necesitaríamos métricas de conectividad. (p.Ej. Un modelo perfecto de erosión del suelo basado en eventos que podría simular la tasa de erosión, transporte y deposición en el paisaje)

But this type of models does not exist yet, and many of the existing soil erosion models are not easy to use...A veces, los modelos son extremadamente complejos y se ven afectados por la incertidumbre paramétrica y de modelado, problemas numéricos y, ocasionalmente, por inestabilidades numéricas. (P.ej. Violación del principio de conservación de masa y energía).

Se necesita un conjunto de nuevas herramientas para considerar la conectividad como una métrica independiente que se puede poner en relación con varios procesos. (P.Ej. escorrentía, erosión, movilidad de procesos de remoción en masa, etc...)

Para ello necesitamos desarrollar índices de conectividad, como métricas locales, que representen el estado de conectividad local.

Pero se requiere una verificación preliminar y exhaustiva en campo de las evidencias de la vinculación entre la conectividad y la intensidad de ciertos procesos. (P.ej. erosión del suelo, deposición del suelo, movilidad de deslizamientos de tierra, concentración de escorrentía, etc.).



Un intento de desarrollar una nueva herramienta para representar una métrica local de conectividad

El índice de conectividad IC
From Borselli et al. 2008

Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment

Lorenzo Borselli *, Paola Cassi, Dino Torri

CNR-IRPI, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino(FI), Italy

En el artículo :

Se definieron operativamente dos índices de conectividad:

- 1) **(IC)** que se puede calcular en un entorno SIG y representa un mapa de conectividad potencial entre dos partes diferentes de una cuenca (Evaluación basada en la información del paisaje);
- 2) Otro índice que se puede evaluar en el campo (**FIC**) a través de la evaluación directa de la trayectoria del flujo conectado después de un evento de flujo o erosión.

IC y FIC Los índices se diseñaron para complementarse entre sí y se demostró que su uso combinado mejora la precisión.

El estudio se basó también en la observación de campo en una Cuenca 150km², en Italia y fue financiado por el European Commission, Directorate- General of Research, **Global Change and Desertification Program, RECONDES project (2004–2007)** “Conditions for Restoration and Mitigation of Desertified Areas using Vegetation” and por **Autorità di Bacino del fiume Arno-Italy; BABI project (2003–2007)**

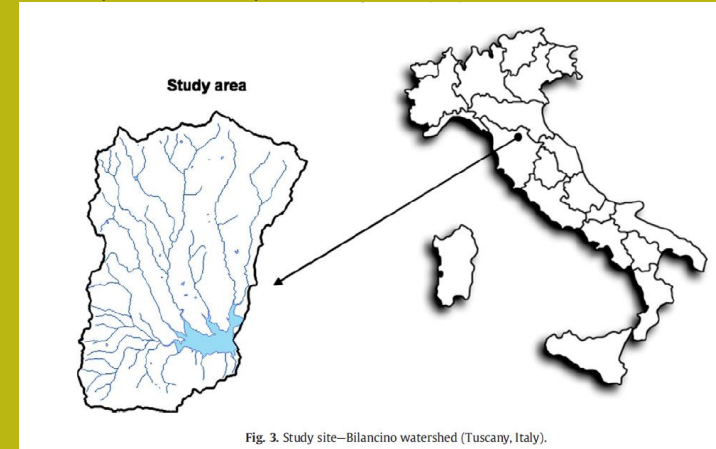


Fig. 3. Study site—Bilancino watershed (Tuscany, Italy).



Embalse de Bilancino, Toscana Italia

Proyecto financiado da entidad gubernamental en el periodo 2003-2007 en Italia



Autorità di Bacino del Fiume Arno



Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (CNR-IRPI) – Unità Staccata di Firenze

Studio della dinamica delle aree sorgenti primarie di sedimento nell'area pilota del Bacino di Bilancino: PROGETTO (BABI)

RELAZIONE ATTIVITÀ DI PROGETTO



CNR-IRPI

Dr. Geol. Lorenzo Borselli
Dr. For. Paola Cassi
Dr. Pilar Salvador Sanchis
Dr. Fabrizio Ungaro

Autorità di Bacino del Fiume Arno

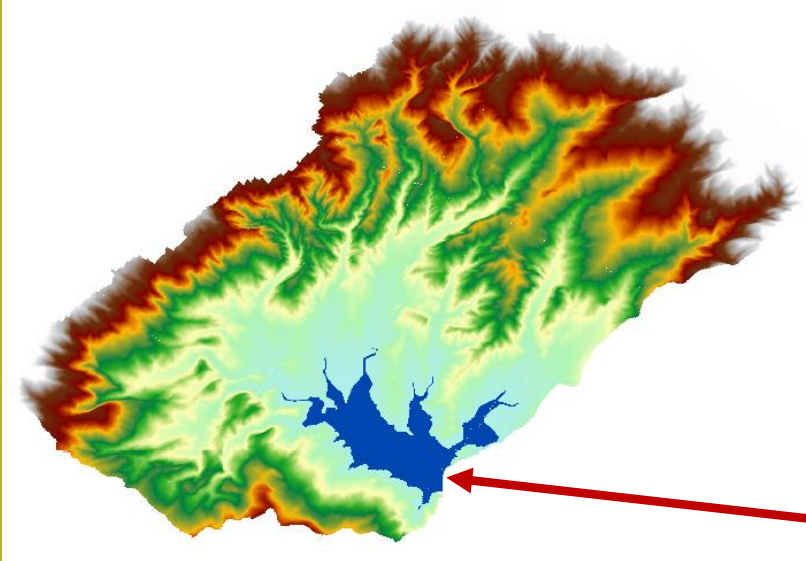
Prof. Giovanni Menduni
Dott. Geol. Marcello Brugioni
Dott. Geol. Lorenzo Sulli
Dott. Geol. Giovanni Montini

Firenze, 18 luglio 2007

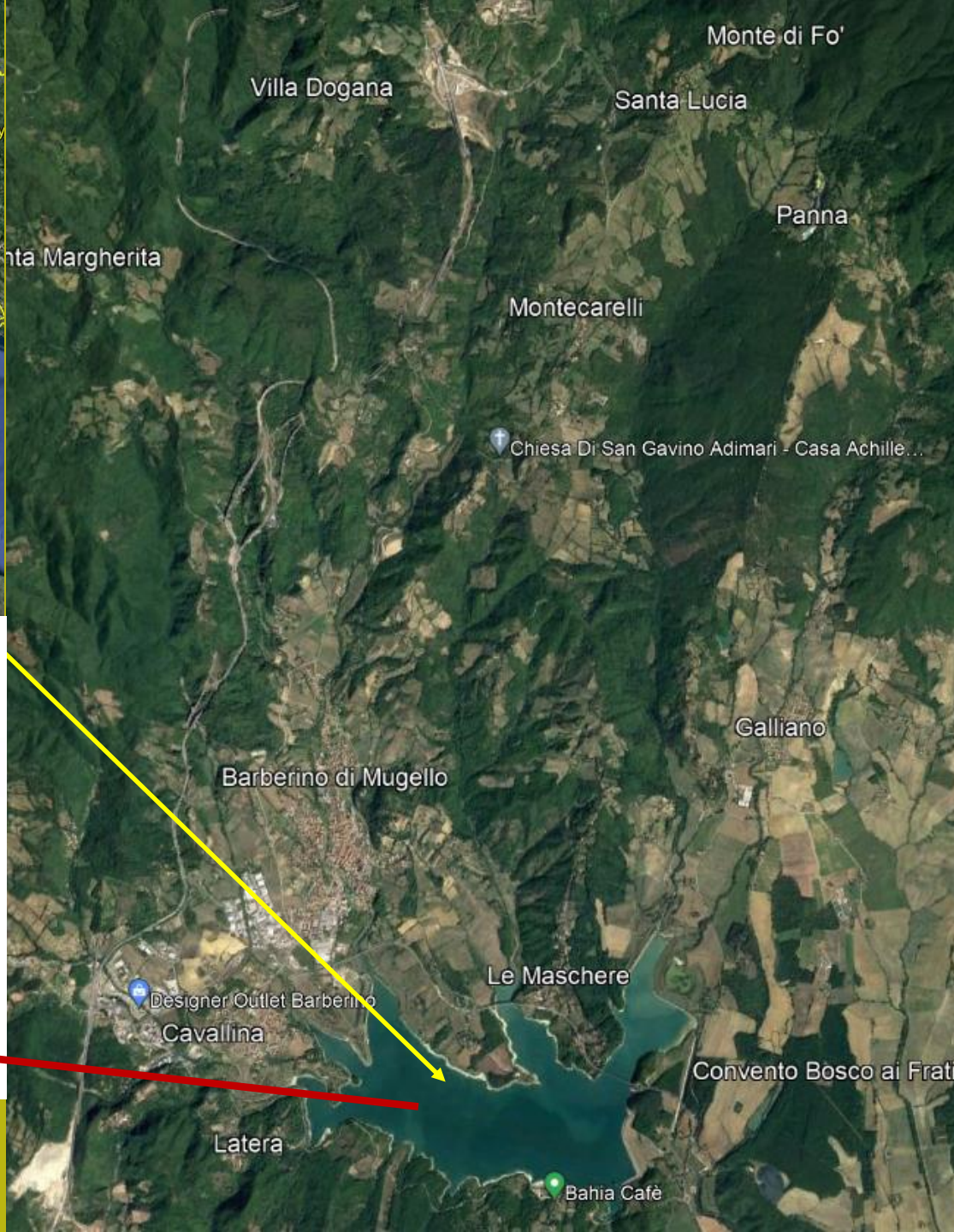
CNR – IRPI, Consiglio Nazionale delle Ricerche, *Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica*, - Via Madonna Alta n. 126 06128 Perugia – <http://www.irpi.cnr.it> Unità staccata di Firenze : Via Madonna del Piano10, 50019 Sesto Fiorentino (FI) <http://www.fi.cnr.it/irpi>.

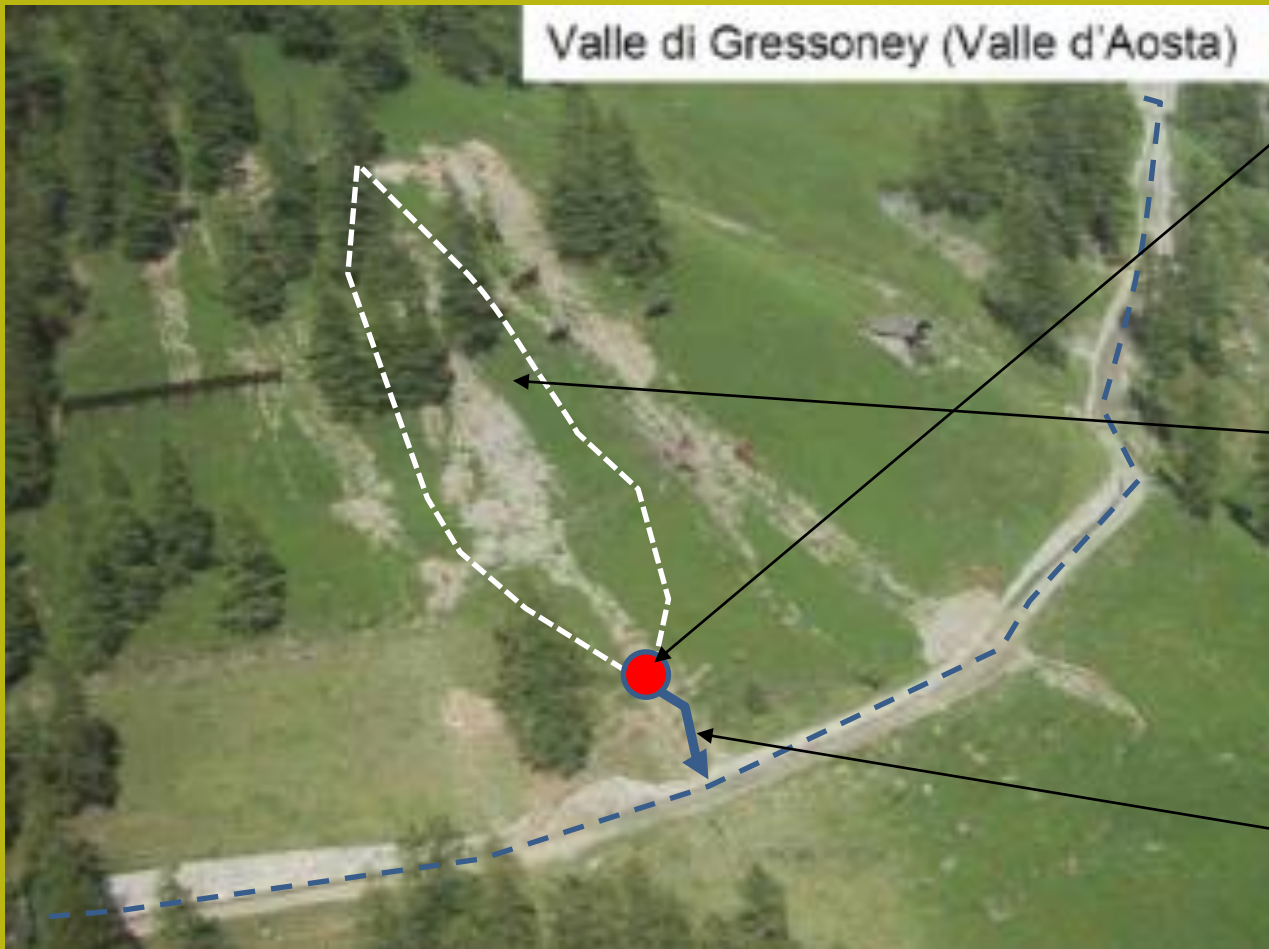
Autorità di Bacino del Fiume Arno. Via dei Servi 15, 50122 Firenze. <http://www.adbarno.it>

Download copia digitale - http://www.adbarno.it/rep/babi/Relazione_Progetto_BABI.zip
Indirizzo web progetto BABI - <http://www.adbarno.it/cont/testo.php?id=53>



Cuenca de Bilancino, Toscana Italia





From Cavalli 2013 (modified..)

IC Index

El índice de conectividad (IC) en cualquier punto del territorio se calcula utilizando dos componentes:

Upslope component: es el potencial de enrutamiento descendente debido a las áreas de captación cuesta arriba, la pendiente media y el uso de la tierra.

Downslope component: es el potencial de enrutamiento del sedimento debido a la longitud del camino, el uso del suelo y la pendiente a lo largo de la ruta cuesta abajo.

Introducción al índice IC y su métrica

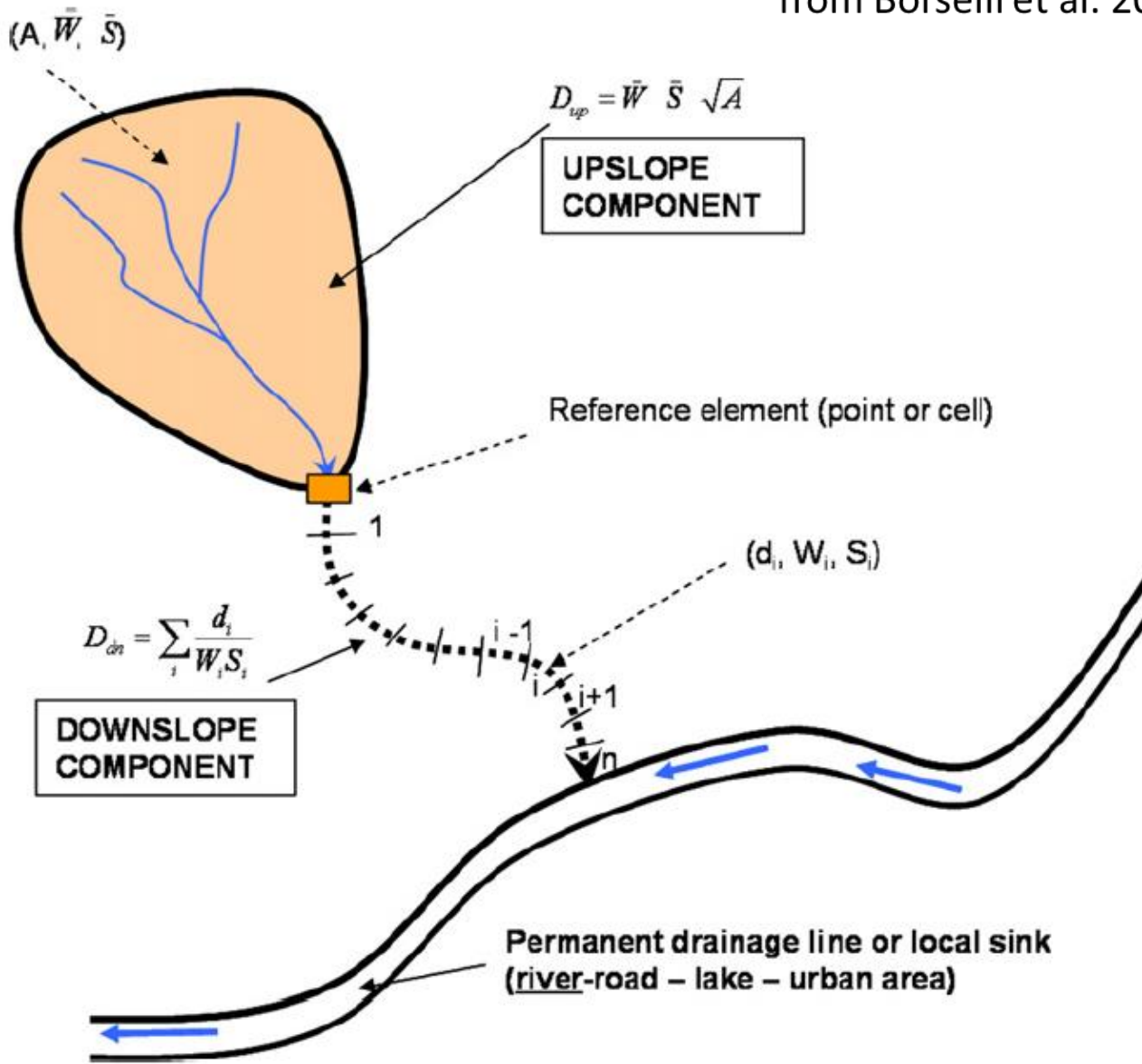


Fig. 2. Definition of IC upslope and downslope component in the landscape for index of connectivity (IC).

IC Index

El índice de conectividad (IC) en cualquier punto del territorio se calcula utilizando dos componentes:

Upslope component:

es el potencial de enrutamiento descendente debido a las áreas de captación cuesta arriba, la pendiente media y el uso de la tierra.

Downslope component:

es el potencial de enrutamiento del sedimento debido a la longitud del camino, el uso del suelo y la pendiente a lo largo de la ruta cuesta abajo.

$$D_{up} = \bar{W} \bar{S} \sqrt{A}$$



**UPSLOPE
Component**

\bar{W} = Factor de ponderación medio en la superficie de contribución de cuenca arriba (adimensional);

\bar{S} = Gradiente medio de pendiente de la superficie contribuyente de la cuenca arriba (m/m)

A = Área de contribución de arriba (m²)

$$D_{dn} = \sum_i \frac{d_i}{W_i S_i}$$



**DOWNSLOPE
Component**

d_i = Longitud de la celda i a lo largo del camino cuesta abajo (in m)

W_i = Factor de ponderación de la celda i a lo largo del camino cuesta abajo (adimensional)

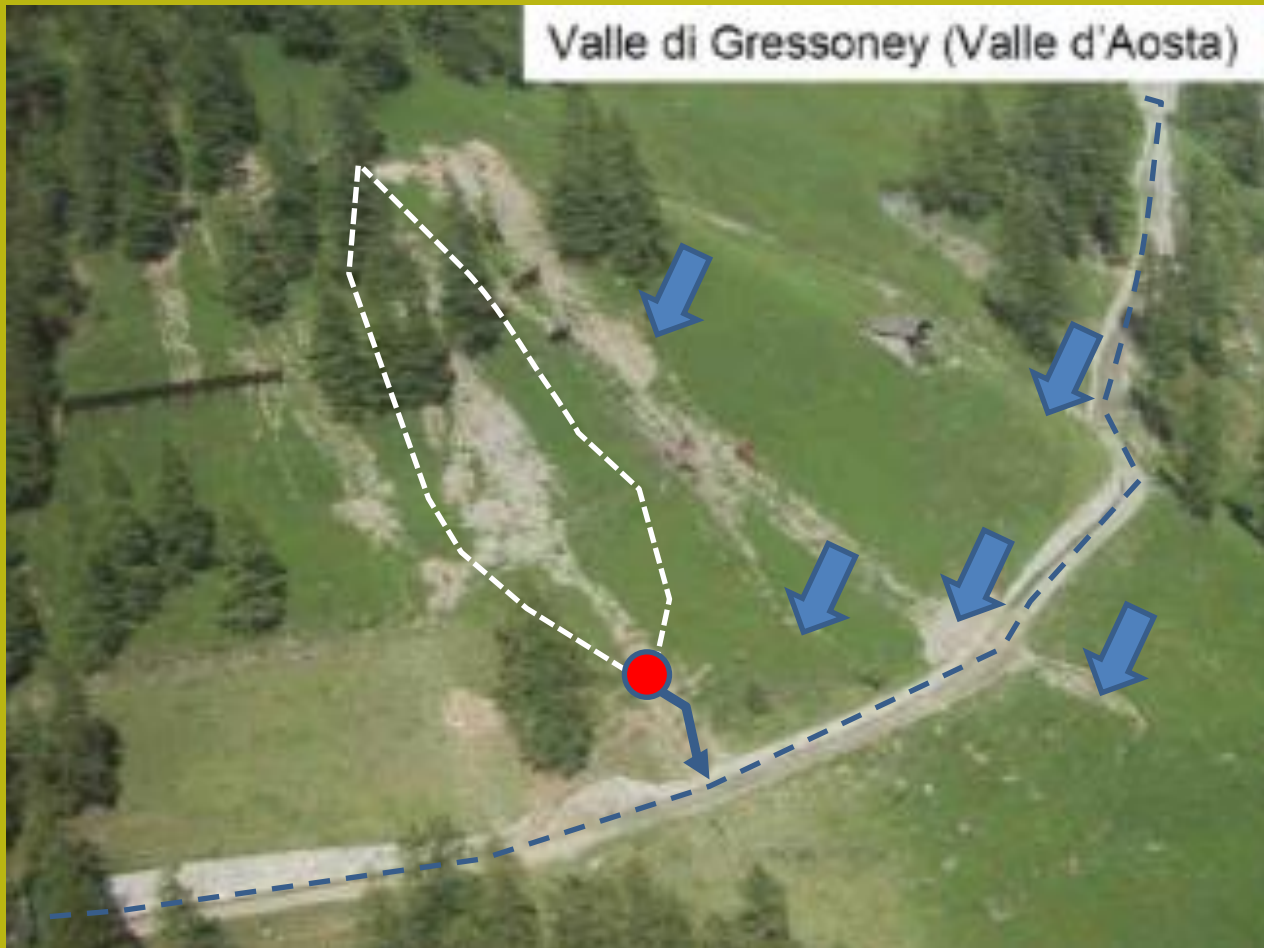
S_i = Gradiente de pendiente de la celda i a lo largo del camino cuesta abajo (m/m)

Cálculo final de IC en cada píxel



$$IC = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right) = \log_{10} \left(\frac{\bar{W} \bar{S} \sqrt{A}}{\sum_i \frac{d_i}{W_i S_i}} \right)$$

IC Index



Valle di Gressoney (Valle d'Aosta)

Cómo la métrica IC
Caracterizar la conectividad
en diferentes puntos y el
escenario de evento??

From Cavalli 2013 (modified..)

$$IC = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right) = \log_{10} \left(\frac{\bar{W} \bar{S} \sqrt{A}}{\sum_i \frac{d_i}{W_i S_i}} \right)$$

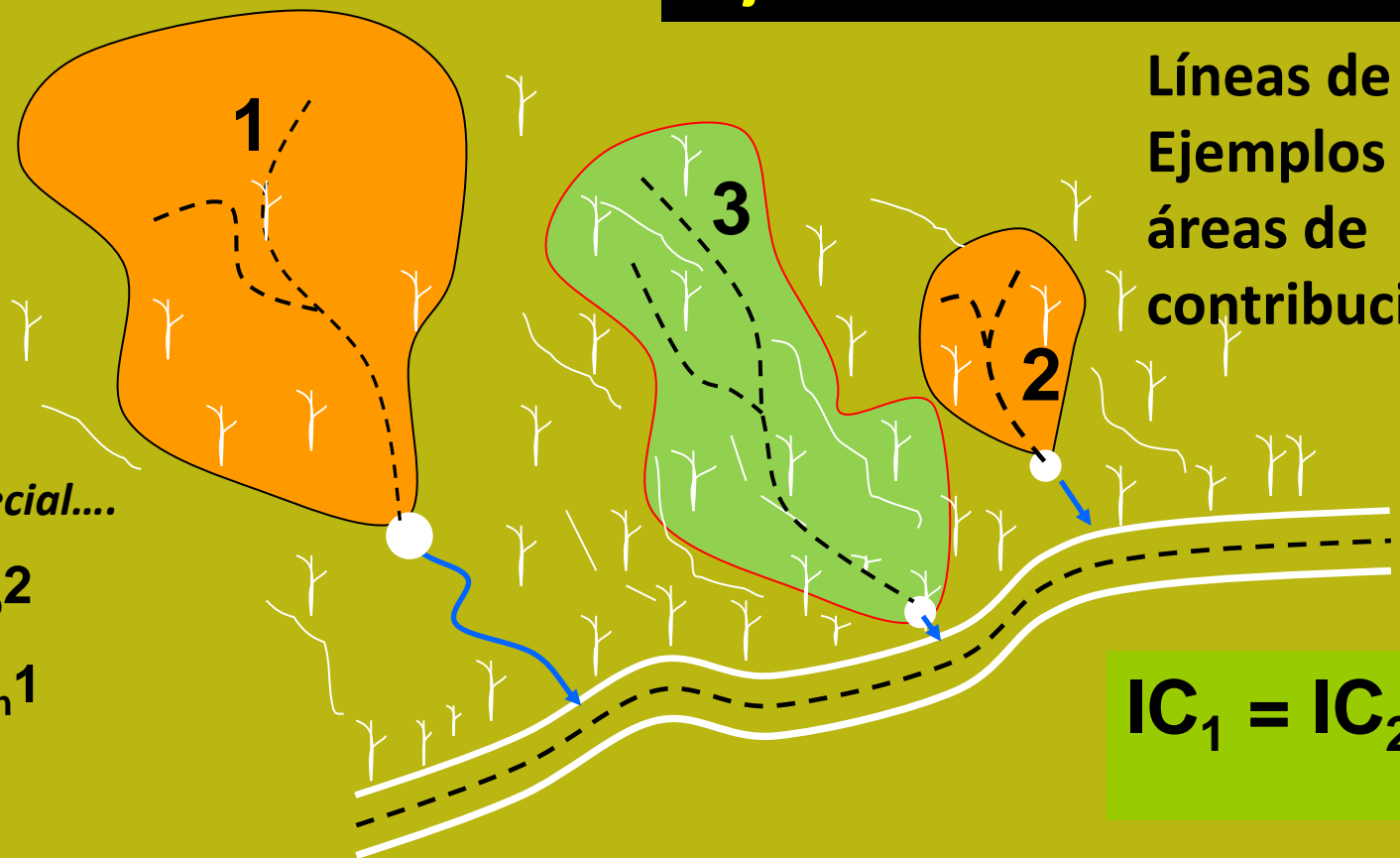
IC range: $[-\infty, +\infty]$

Órdenes de magnitud de IC

Bajo esta definición, el nivel local de conectividad a líneas/sumideros de drenaje permanente es directamente proporcional a IC:

Valores $IC > 0$ **Alta conectividad**

Valores $IC < 0$ **Conectividad media a baja**



Líneas de flujo y Ejemplos de áreas de contribución

Un caso especial....

$$D_{up} 1 > D_{up} 2$$

$$D_{dn} 2 < D_{dn} 1$$

$$IC_1 = IC_2 < IC_3$$



Función de la conectividad de flujo

Observaciones de campo

**Movilidad y
Conectividad
para movimientos
de masas poco
profundos**
(Borselli et al. 2011)

Incremento de la
movilidad

Creciente
Conectividad

Deslizamiento,
cuerpo o masa

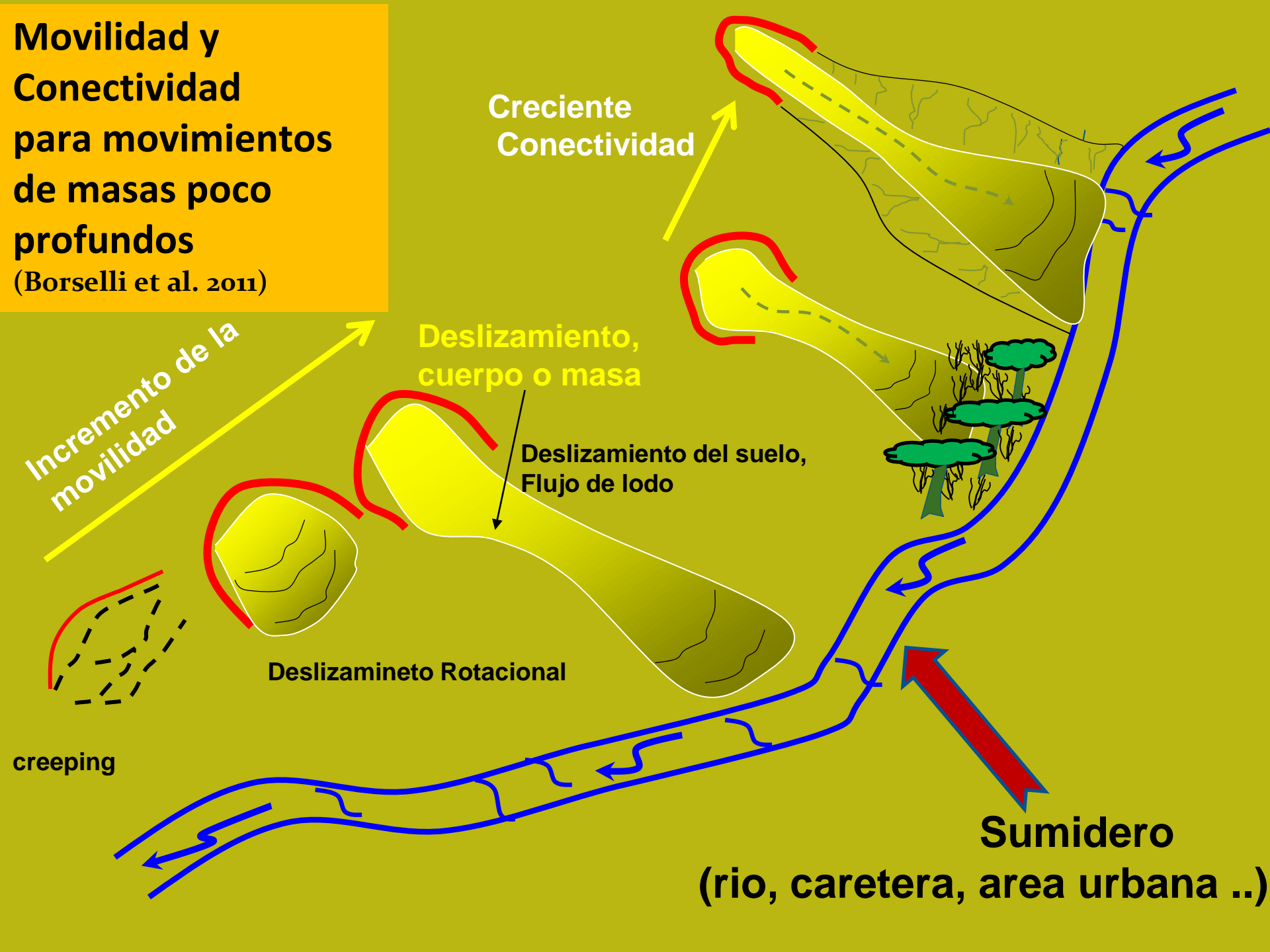
Deslizamiento del suelo,
Flujo de lodo

Deslizamiento Rotacional

creeping

Sumidero

(rio, carretera, area urbana ..)



Papel clave del factor W en el índice de conectividad

W factor W \rightarrow C factor (RUSLE) (Primera aproximación)

W debe considerar: Cubierta vegetal

Rugosidad, capacidad de infiltración.. y otros factores

relacionado con la impedancia al flujo de escorrentía superficial.



Requisitos de la metodología IC (enfoque clásico):

- **Se prefieren DTM de alta calidad y alta resolución. Resolución ideal variable entre 2 y 5X5 m**
- Algunas veces la resolución del DTM de al menos 10x10m puede ser suficiente
- Pero en algunos casos puede ser aceptable hasta 20X20 dependiendo de la disponibilidad local y del tipo de aplicación que queramos generar
- **Mapa ráster del gradiente de pendiente**
- **Mapa de uso detallado del suelo para obtener el mapa del factor de ponderación local (W) (y valores asociados, por ejemplo, C)**
- **Mascara de pixel NO DATA VALUE (sumidero local interno): máscara de río, carreteras, área urbana, lagos, etc..**
- **La máscara del río debe generarse a partir de un área de acumulación máxima (define líneas de drenaje permanentes), generalmente 1-2.5 ha, pero este puede variar dependiendo de cada ambiente de aplicación**



Notas de cálculo del índice IC

Las líneas de drenaje permanentes, las carreteras, las áreas urbanas y los cuerpos de agua, así como los píxeles fuera de la cuenca considerada, generalmente se establecen como MÁSCARA sin valor de datos.

TODOS los píxeles internos sin valor de datos se consideran SINK (sumideros) locales

El concepto de local sink es fundamental...

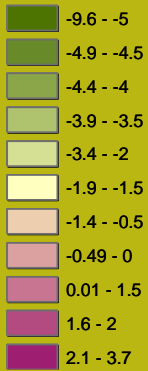
Por supuesto, puede optar por no considerar las áreas viales o urbanas como SUMIDERO local, pero en este caso generará un nuevo tipo de patrón y valores de conectividad....

La calidad y resolución del DTM es **iiijfundamental...!!!!** En cualquier caso y en cualquier resolución

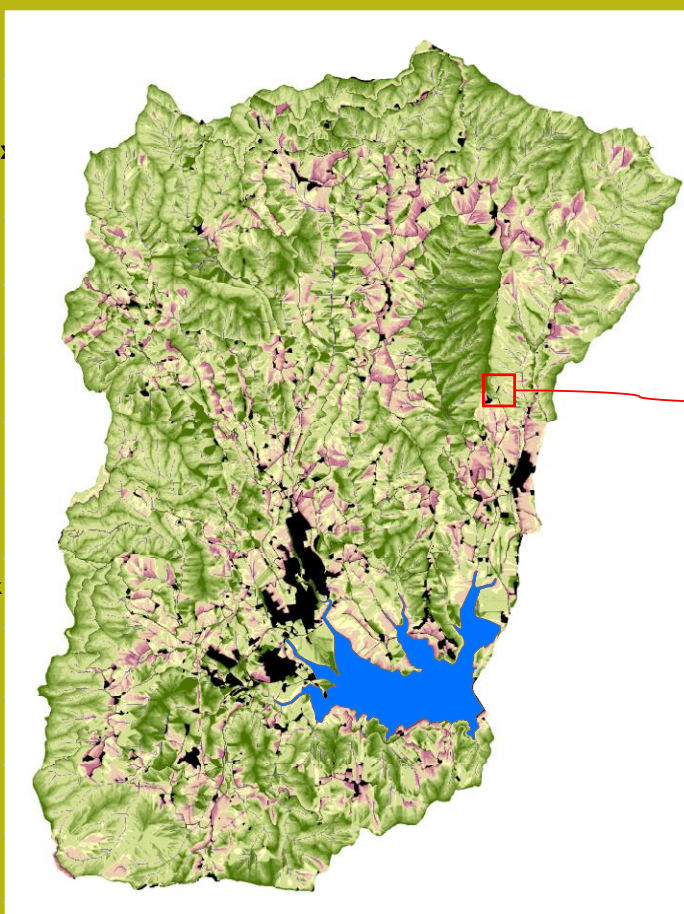
Types of no data value masks
(river,roads,urban..)



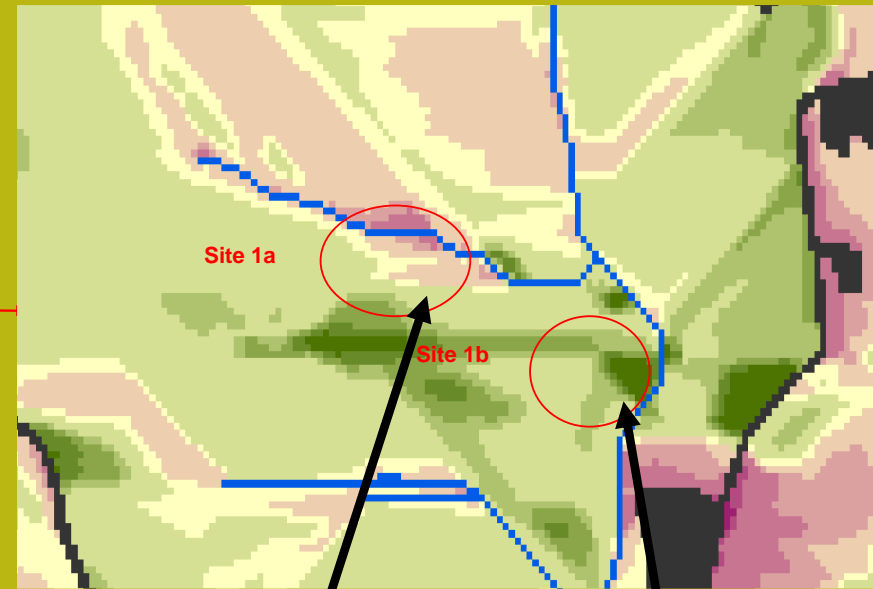
Connectivity fluxes index



In black the road/urban mask



IC map of deposition and connection areas evidenced in red



Site1a -Area in proximity of local sink at field bottom: direct connection of rill system without appreciable sedimentation



Site1b-Area in proximity of local sink at field bottom: direct connection of rill system relevant sedimentation

Aplicación a escala de cuenca (Bilancino – Toscana - Italia): Identificación de HOT SPOT del área de fuentes primarias de sedimentos.

From Borselli et. Al. (2007,2008)

Area: 150 km²

DTM 5x5m

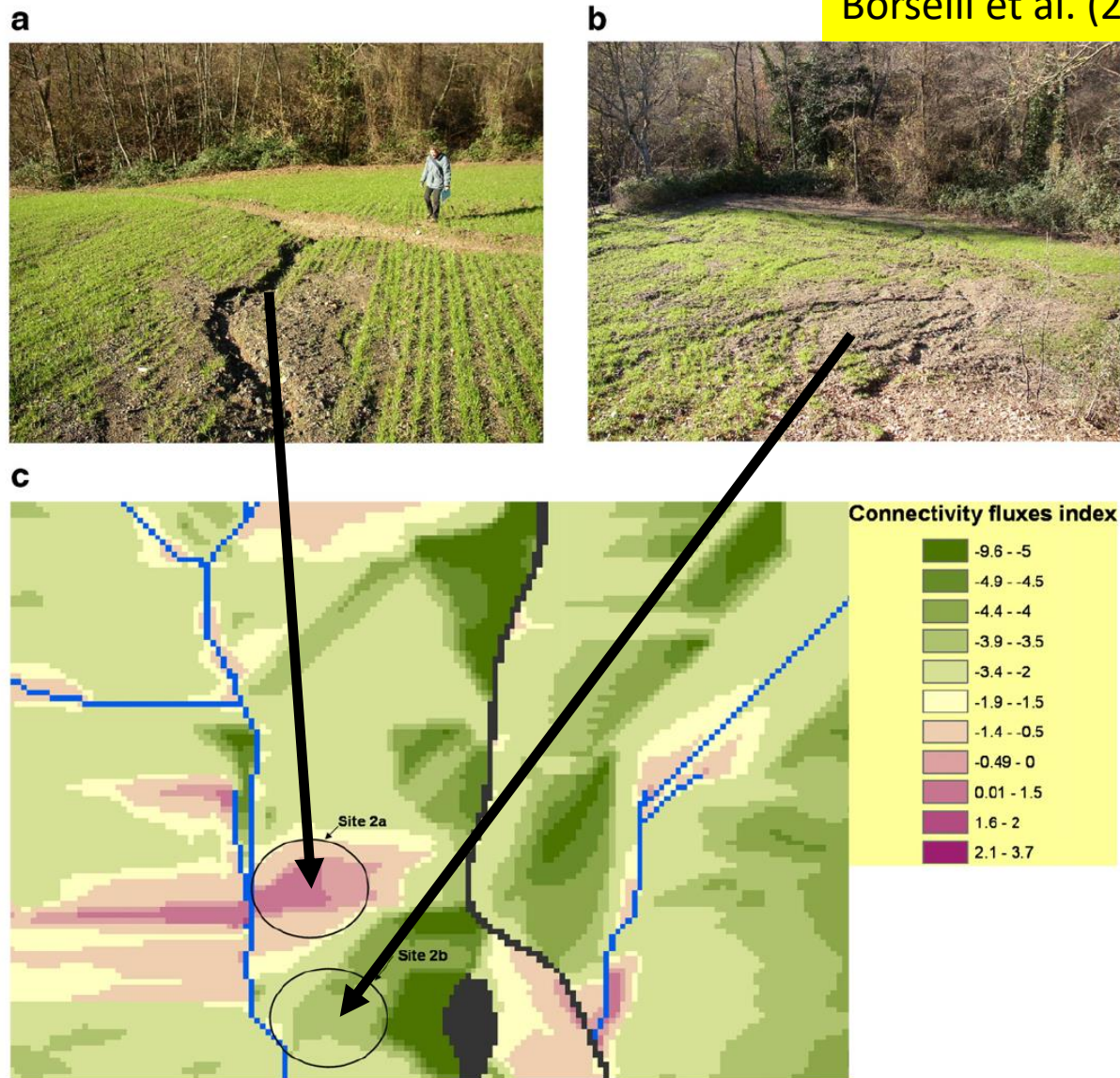
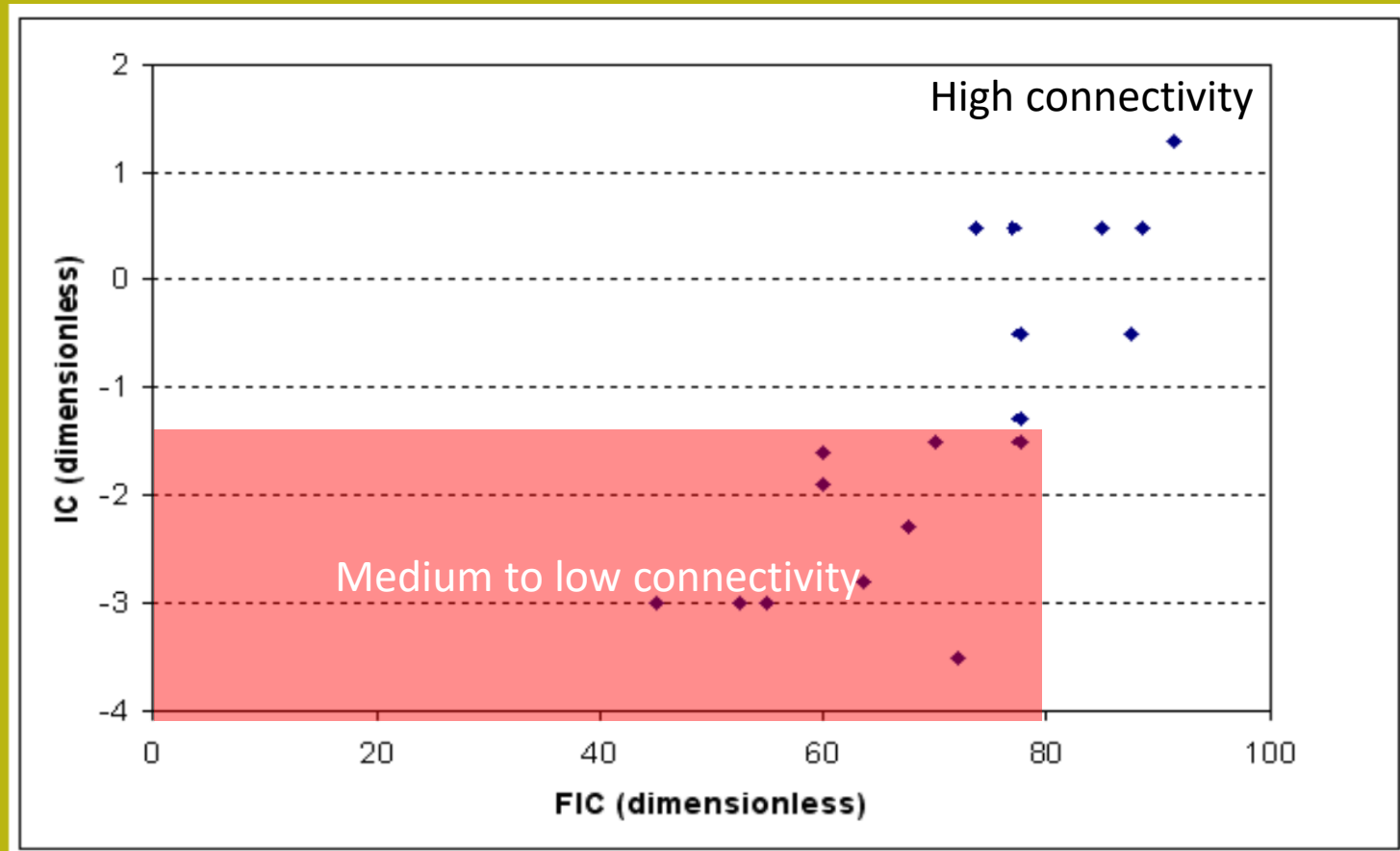


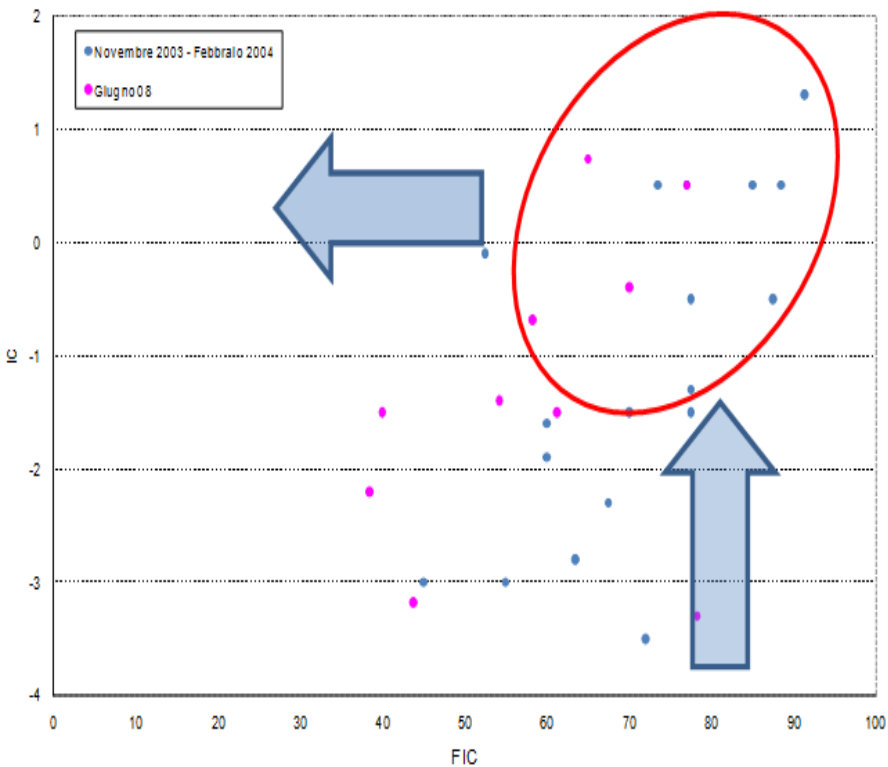
Fig. 5. a: Site 2—Area close to a local sink at the bottom of a field: direct connection of rill system without detectable sedimentation. b: Site 2—Area in proximity of local sink at the bottom of a field: direct connection of rill system with intense sedimentation. c: IC map of Site 2: deposition and connection areas are evidenced inside circular areas.

Índice IC versus índice de conectividad de campo (FIC) obtenido por estudio de campo directa (Borselli et al. 2008)

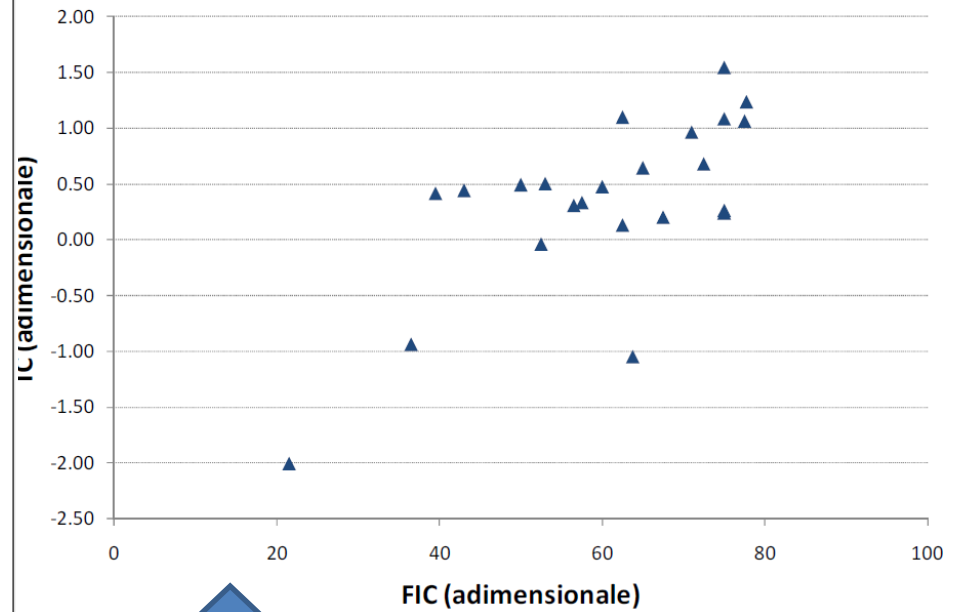


Consulte el documento original para obtener detalles y ejemplos de aplicación....

Confronto indice FIC e IC



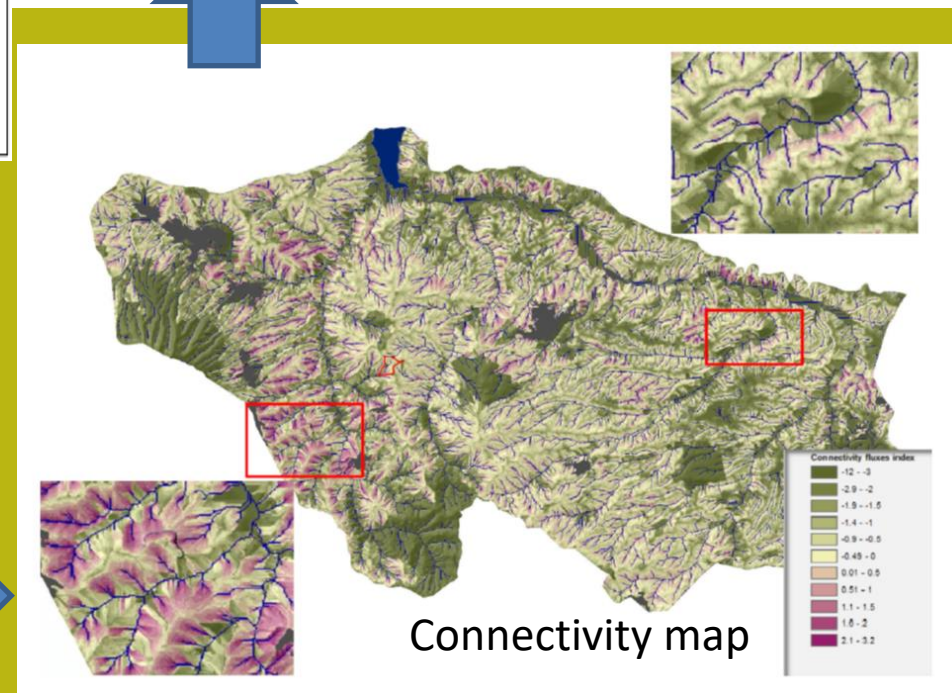
Confronto fra FIC e IC



IC de conjunto de datos extendido frente a FIC (Bilancino watershed; Cassi, 2010)

En ambos casos observamos alto conectividad para IC > 0.0

Rendina watershed, South Italy (400 km²)
DTM 20x20
Project DESIRE
www.desire-Project.eu

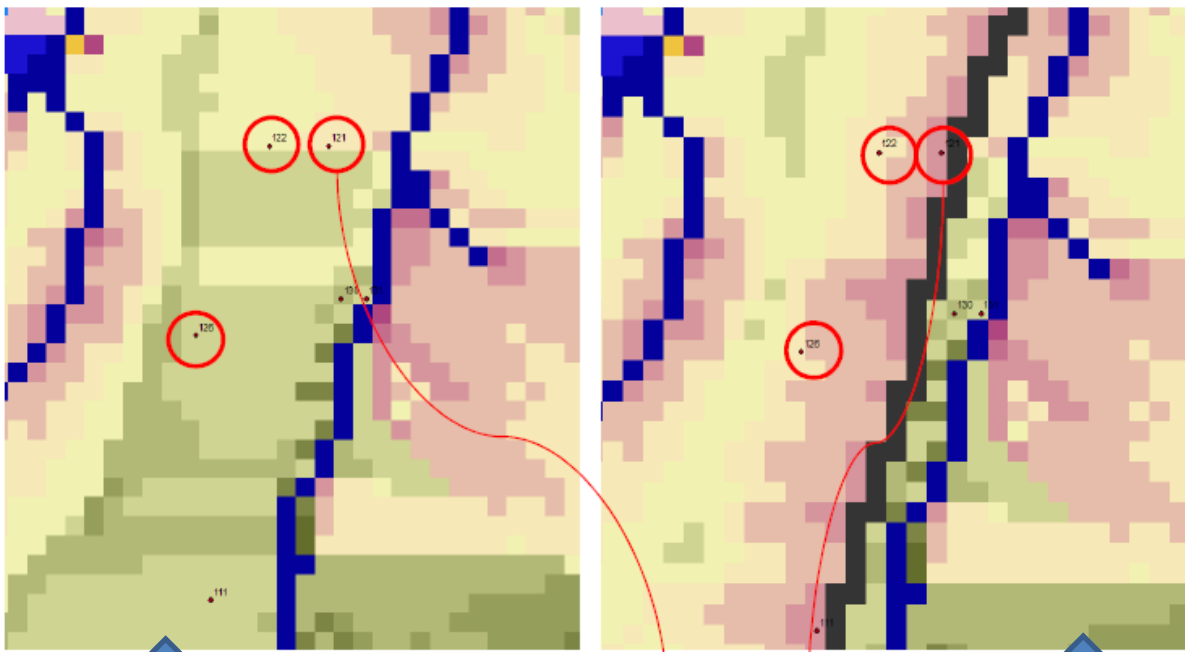


Connectivity map

RENdINA SITE
Basilicata Italy

Preject DESIRE
(2007-2011)

www.desire-project.eu



N punto	FIC	Ic senza strade	Ic con strade
121	78	-0.41	1.06
122	57	-0.69	0.31
120	40	-1.75	0.41

Sin máscara de carretera

Máscara de carretera considerada



Cassi, 2010 (PhD thesis)



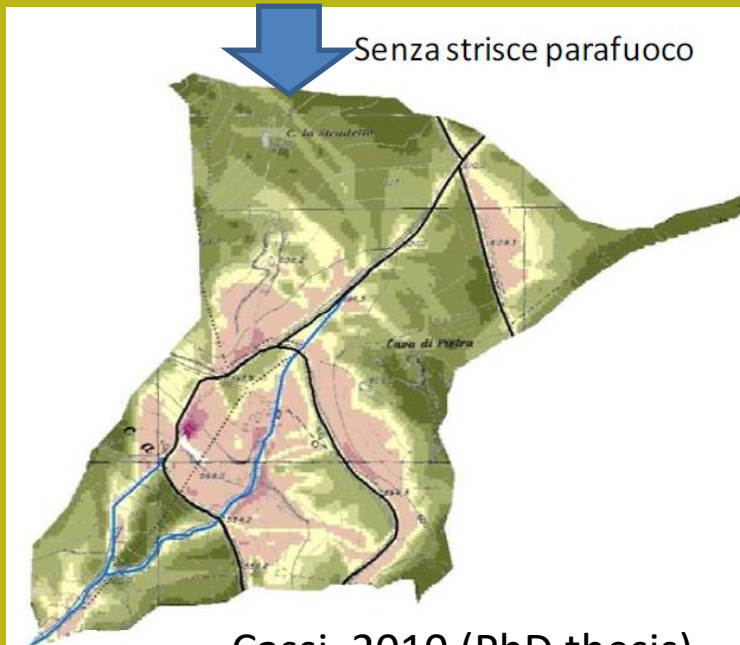
Análisis de escenario de la evolución de la conectividad debida a la técnica de manejo en cultivo de trigo duro. La conectividad es evaluada ante y después la cosecha cuando se hace una banda de labranza de 5 a los bordes de los campo ante de quemar los residuos

Sensibilidad a las condiciones locales;
5x5 m (Rendina basin, Italy – Cassi 2008) (www.desire-project.eu)

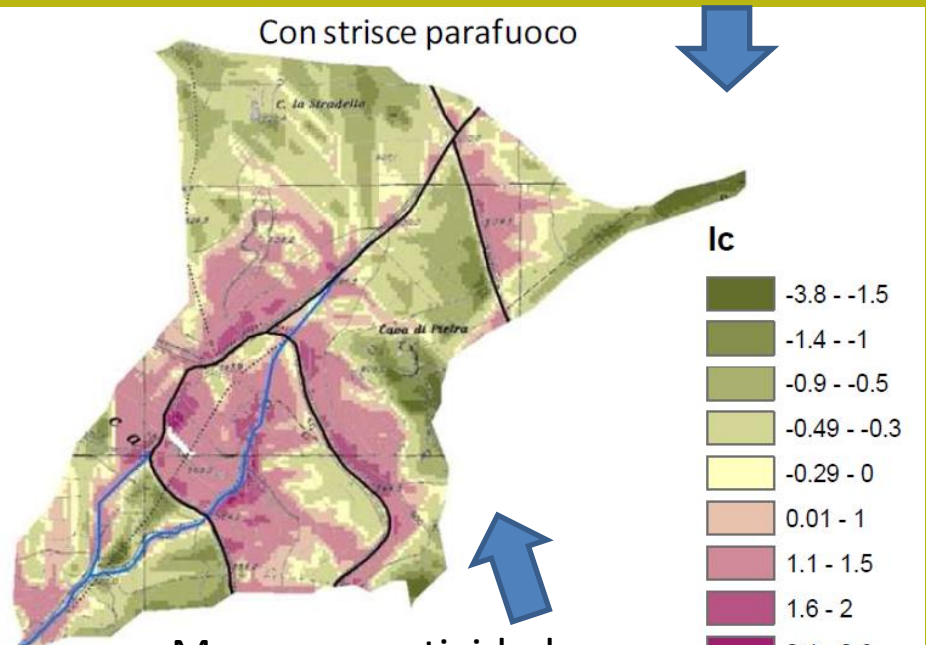


Sin bandas de suelo desnudo a los bordes del campo

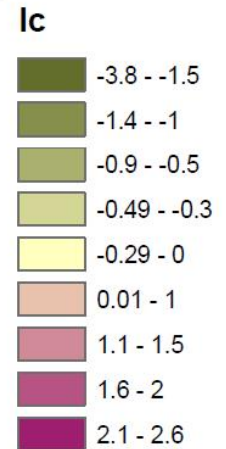
Con bandas de suelo desnudo a los bordes del campo



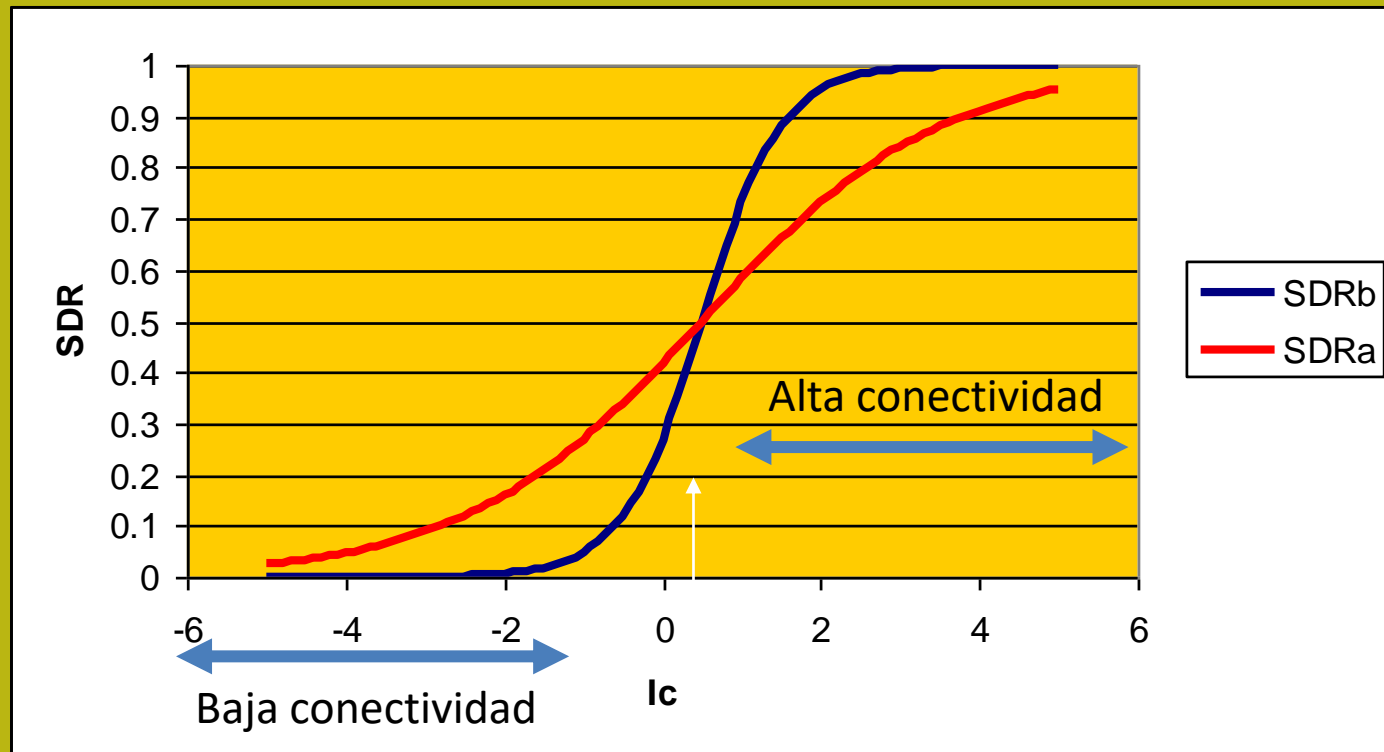
Cassi, 2010 (PhD thesis)



Mayor conectividad



Posible funcional Relaciones entre IC y SDR...



Boltzmann type function: $SDR=f(IC, IC_0, k)$
(Borselli et al. 2007)

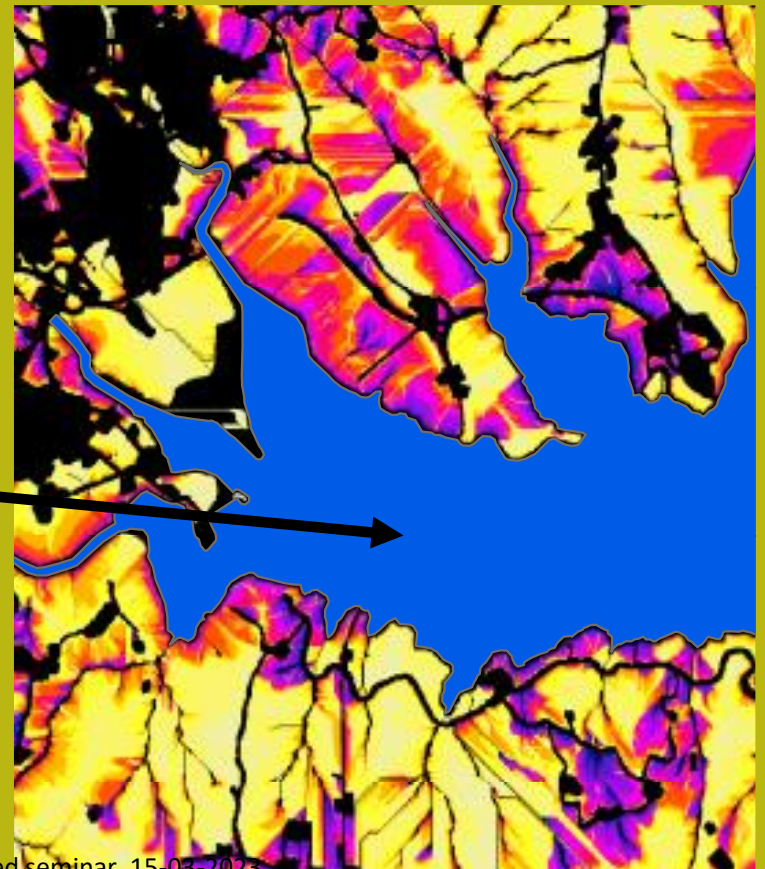
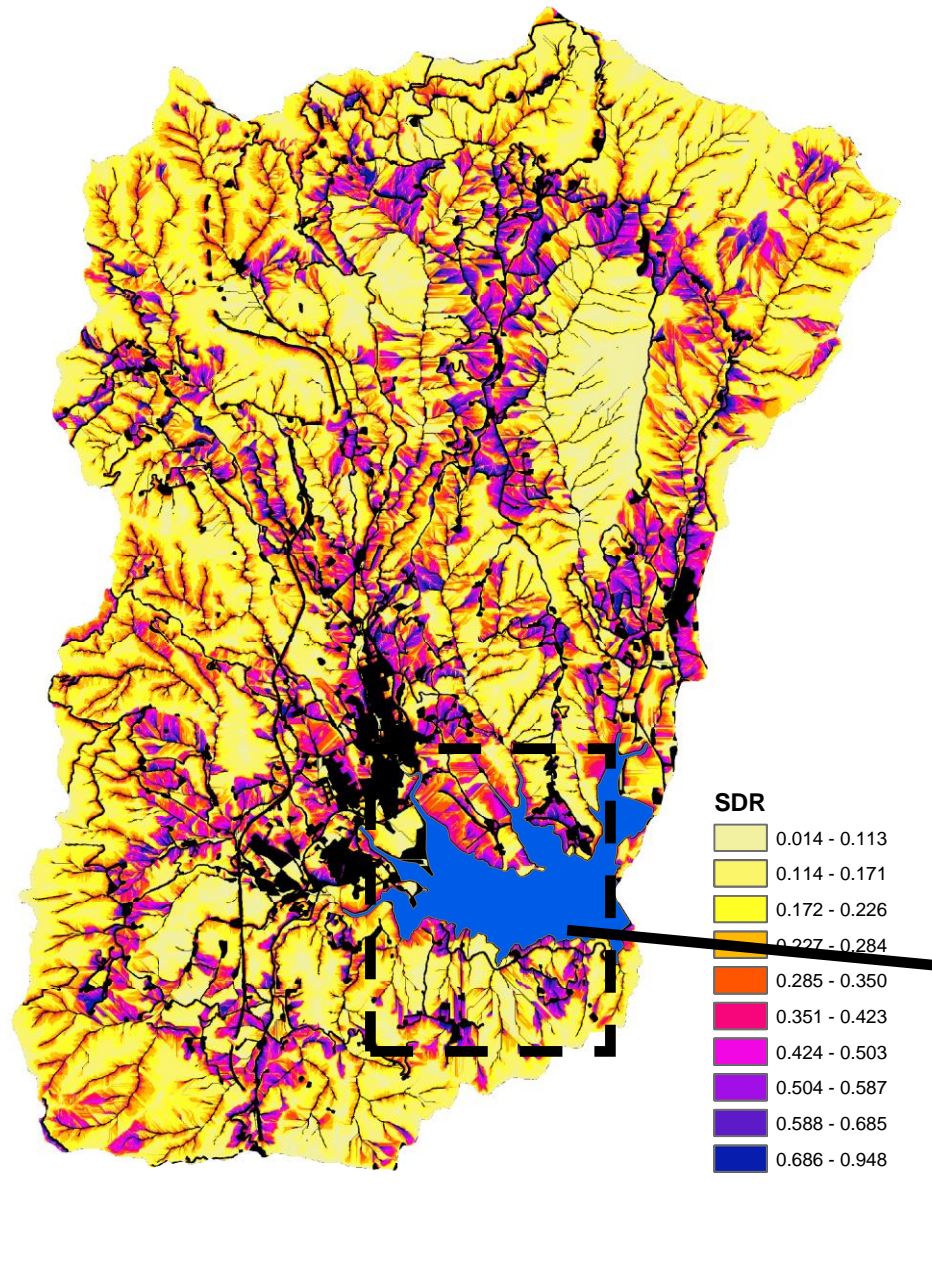
$$SDR = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{IC_0 - IC}{k}\right)}$$

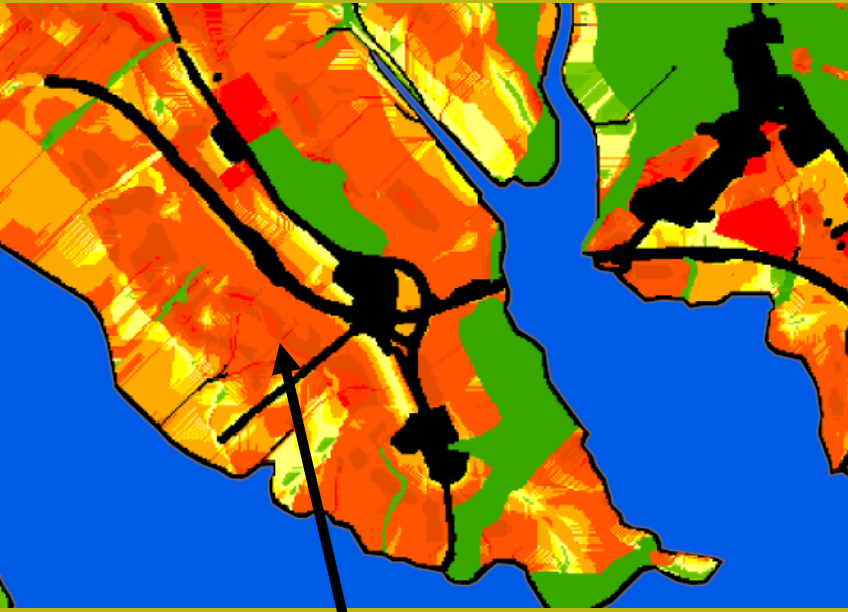
En esta primera aplicación (2007) a la cuenca de Bilancino especulé sobre una posible relación entre IC y el **SEDIMENT DELIVERY RATIO (SDR, y lo desarrollamos como $SDR=f(IC)$** a la escala de ladera.

Este análisis no se publicó oficialmente hasta 2012 después de la verificación realizada por Vigiak et al. (2012) en otra cuenca (en Australia).

Mapa de SDR en una cuenca hidrográfica para la corrección de la tasa media anual de erosión (según modelos tipo USLE) $SSY=A*SDR$

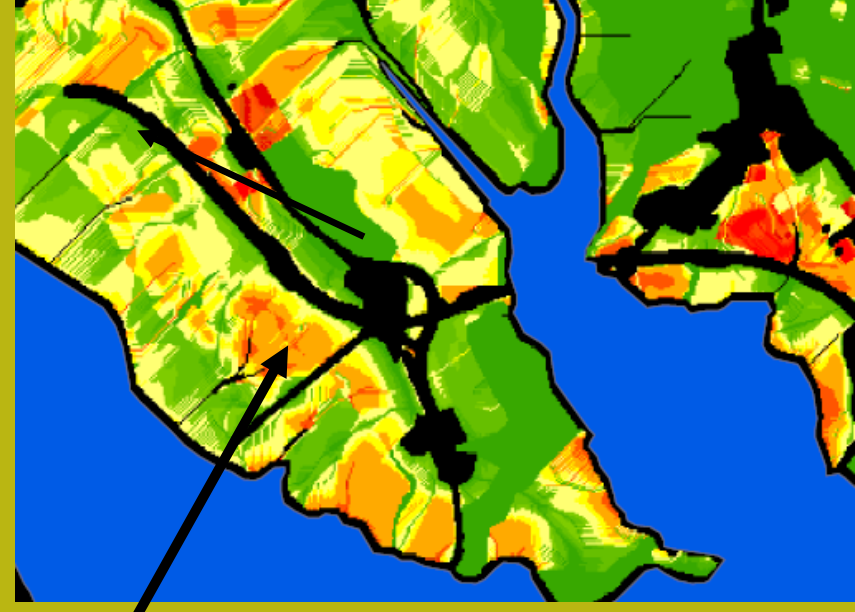
Muchos autores han utilizado el SDR para corregir los resultados distribuidos del modelo de erosión del suelo. (Ferro and Porto 2000; Lu et al., 2006)





Tasa media de erosión local... Classic RUSLE 2D

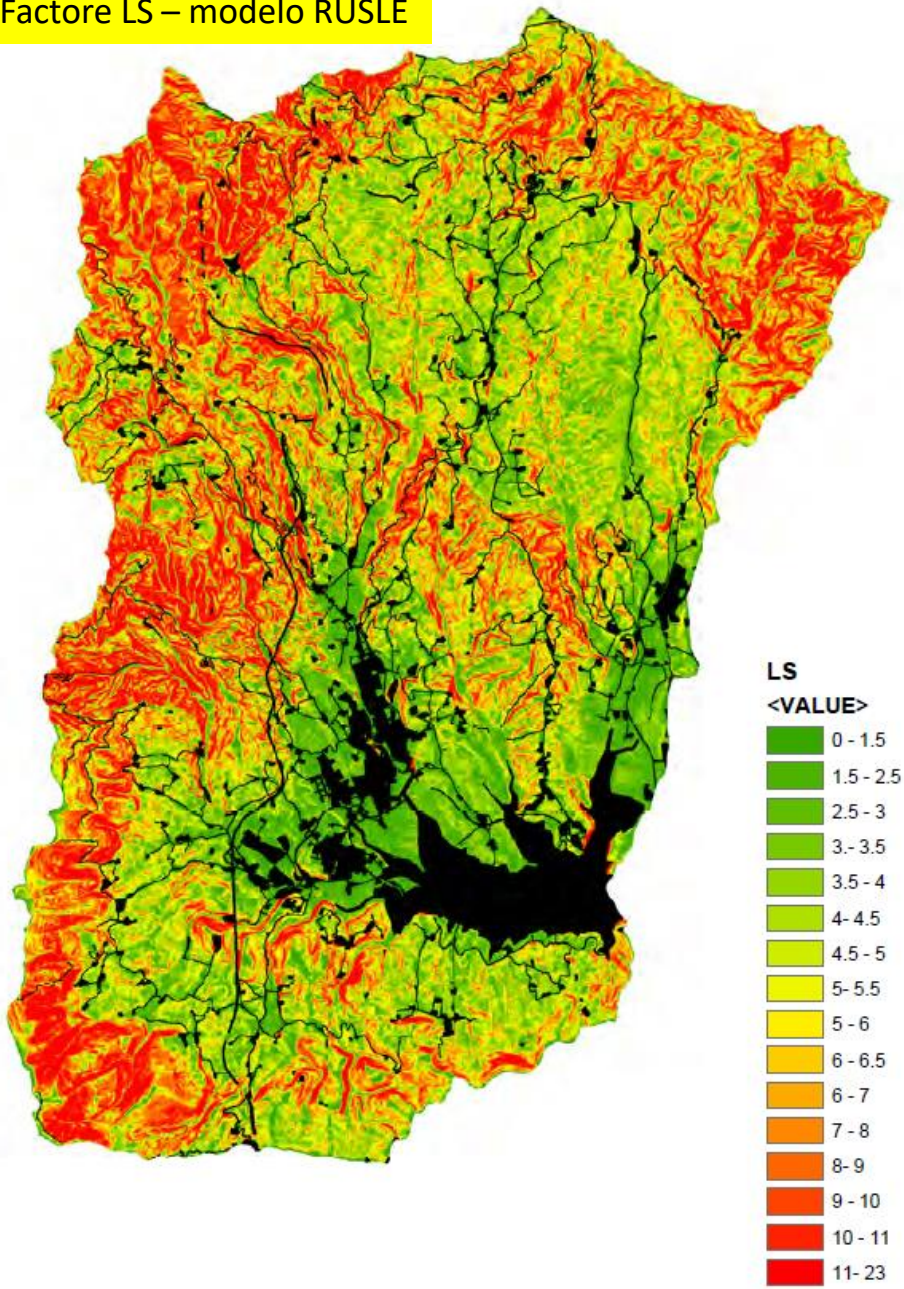
En la aplicación de Bilancino
Un nuevo algoritmo para el cálculo
de la erodibilidad (K) basada en el
conjunto de datos global y
También se utilizó la clasificación climática ...
Software KUERY 1.4.
Ver Borselli al. (2009,2012) y actualizaciones.
www.Lorenzo-borselli.eu/kuery



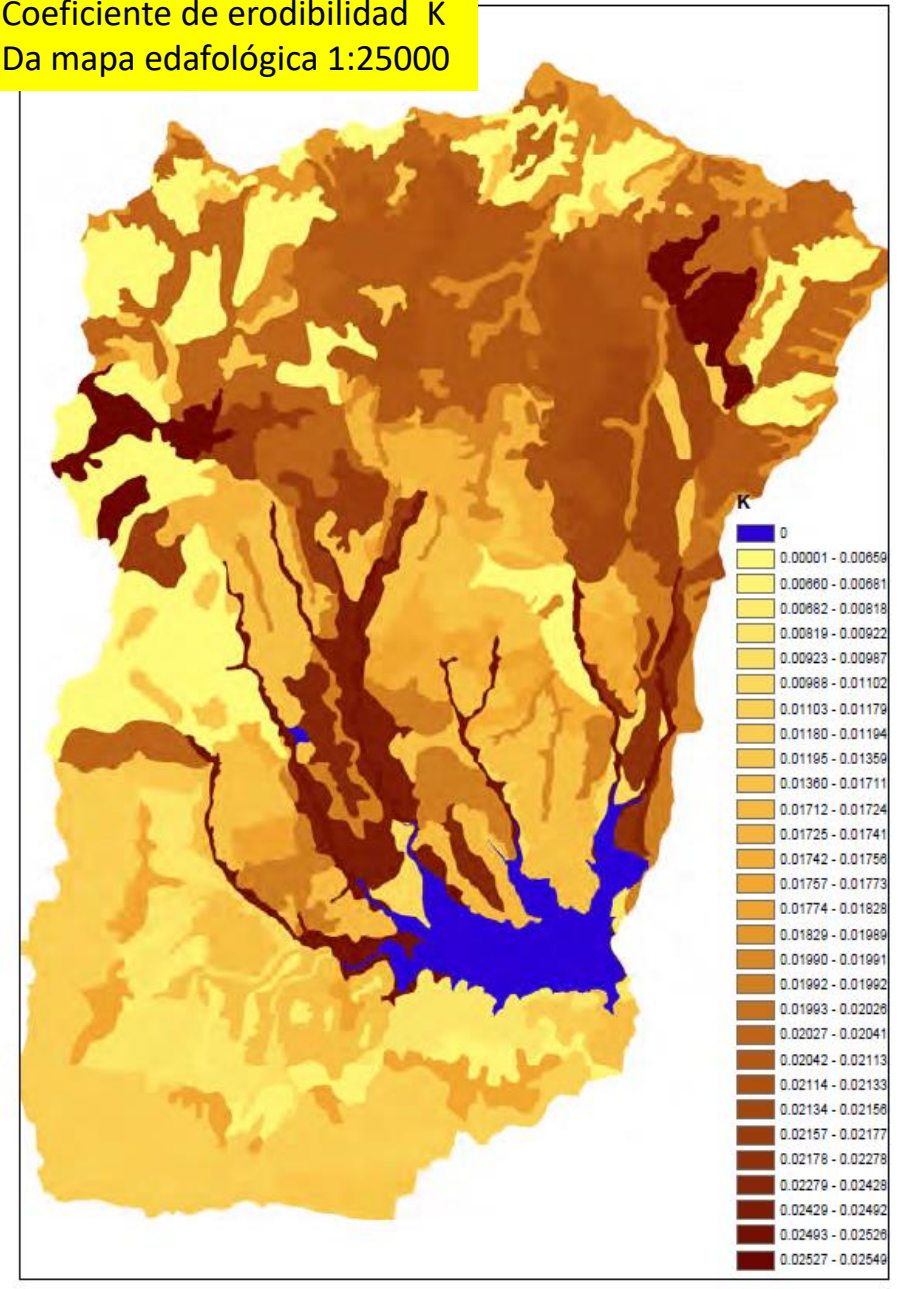
Tasa medio de contribución sedimentos: RUSLE2D corregido según IC y SDR

**Fuentes primarias de sedimentos
están en rojo (mayor tasa de
erosión)**

Factore LS – modelo RUSLE

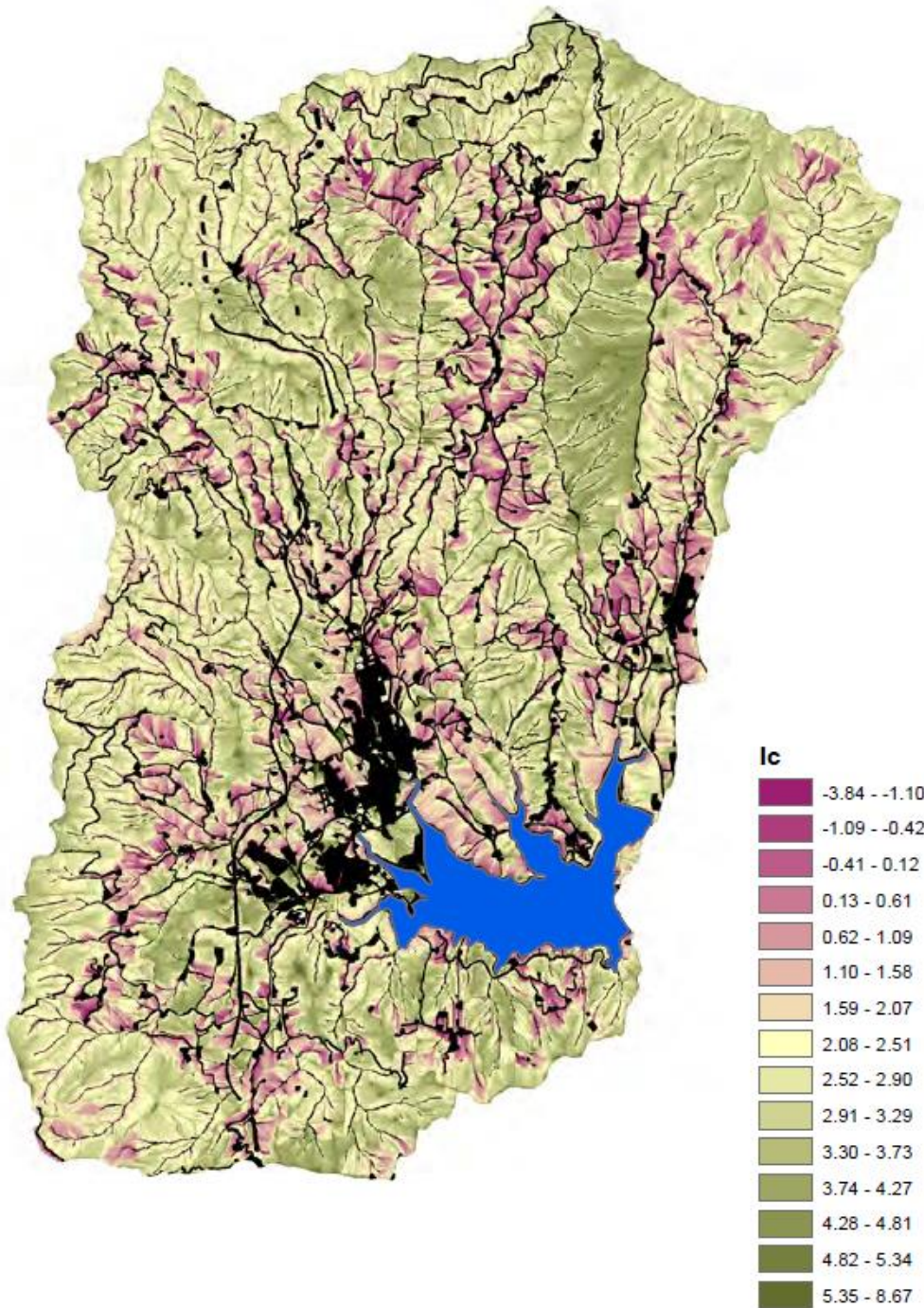


Coeficiente de erodibilidad K
Da mapa edafológica 1:25000

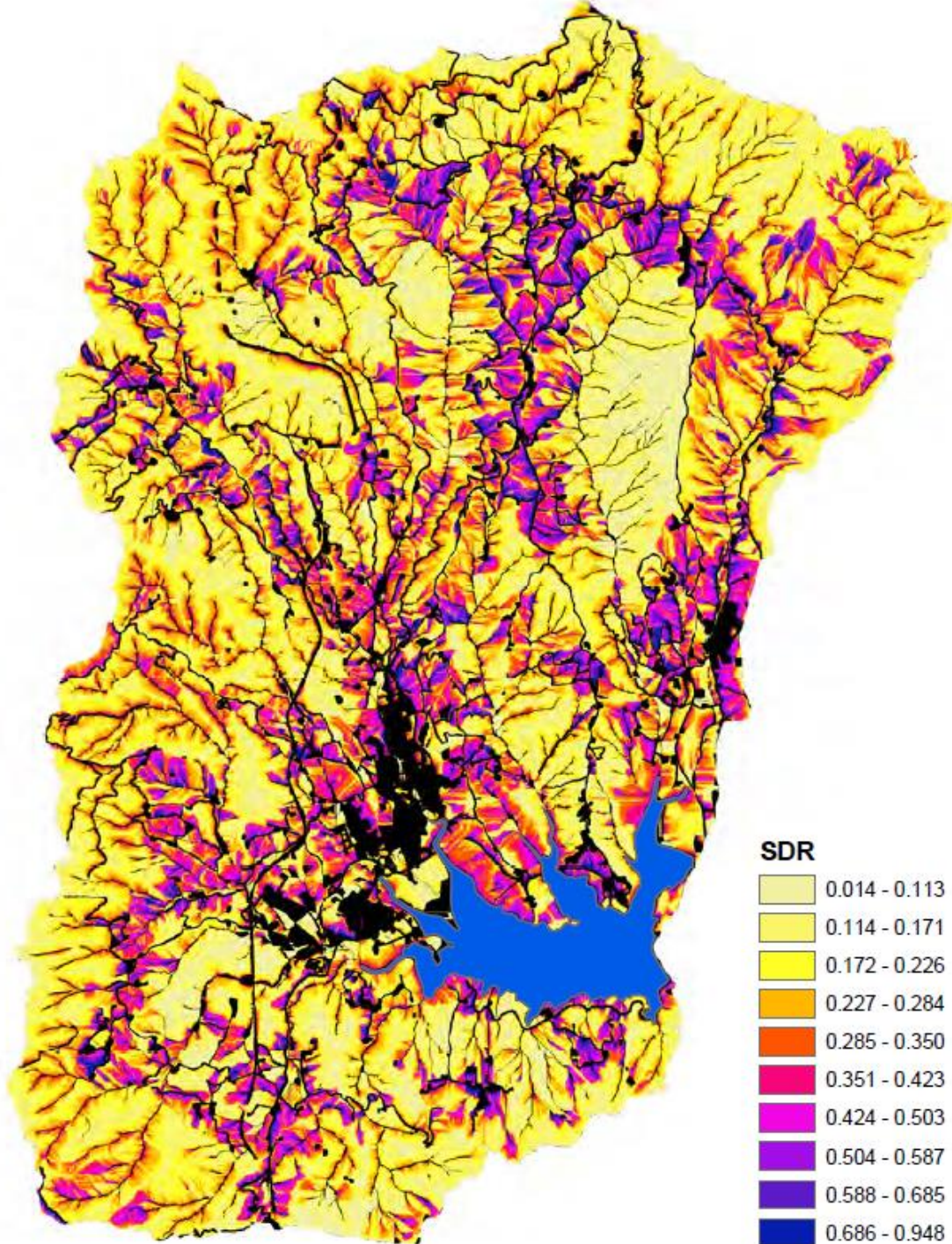


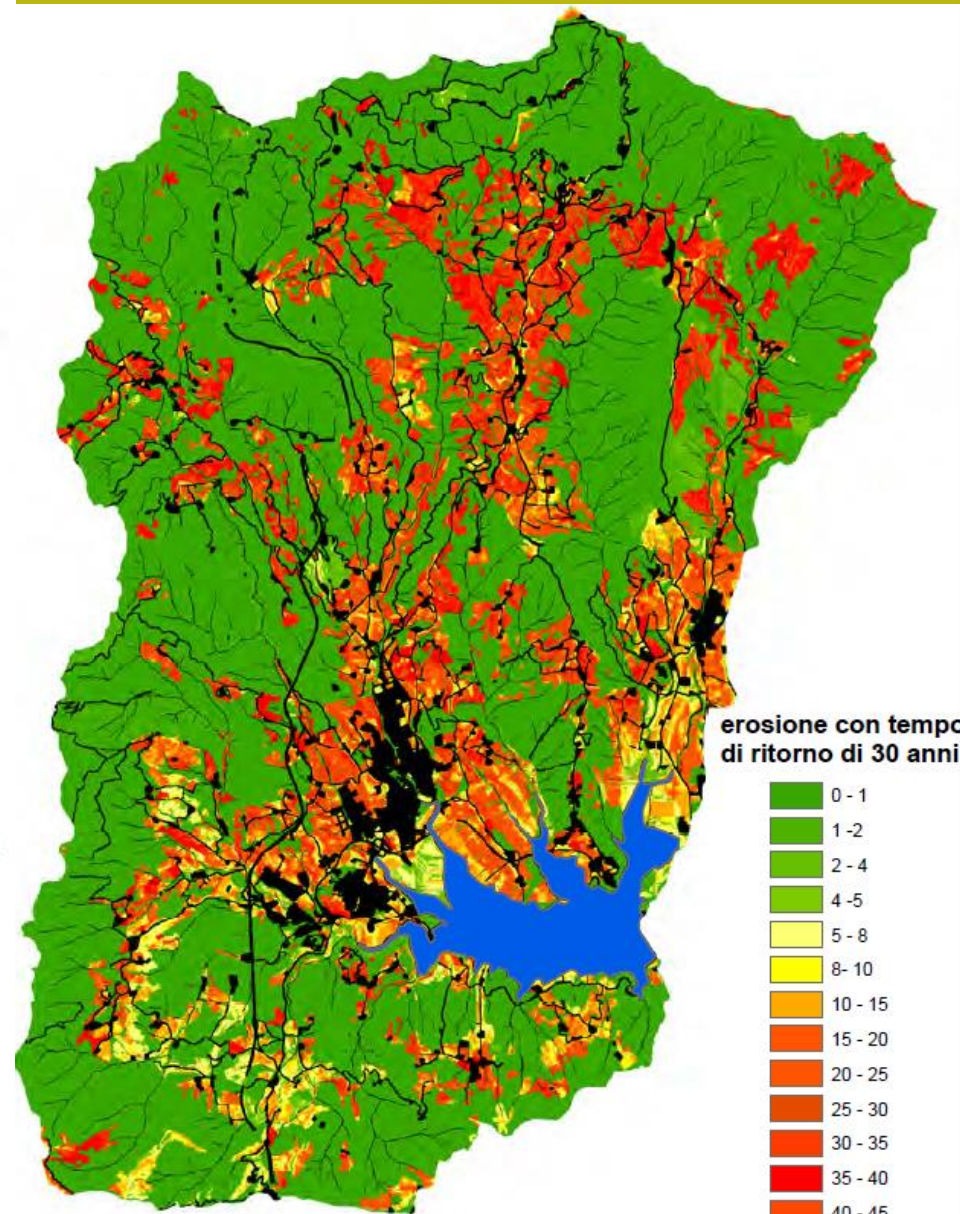
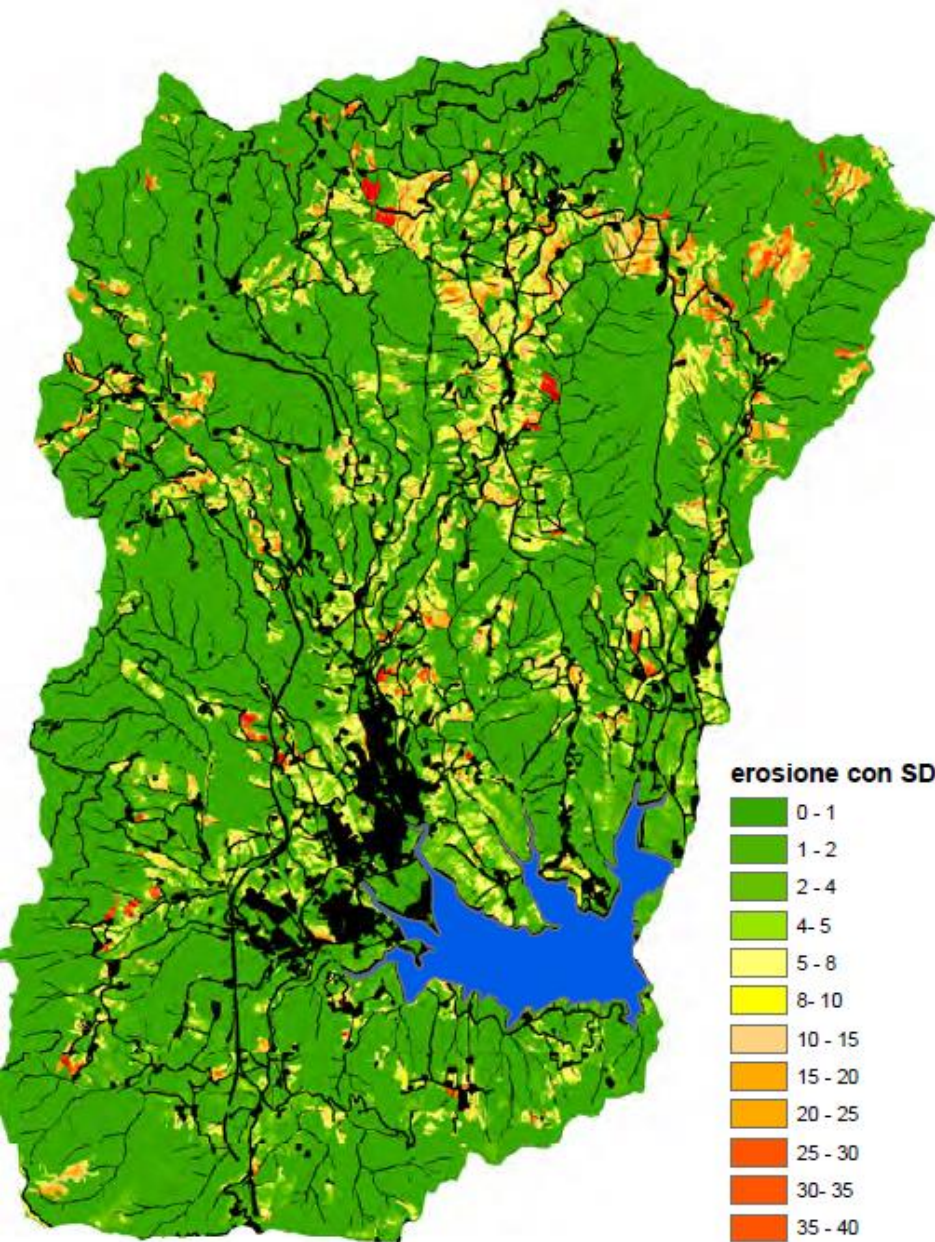
Cuenca de Bilancino, Toscana, Italia
(Borselli et al. 2007,2008)

Cuenca de Bilancino, Toscana Italia
Índice de conectividad IC
(Borselli et al. 2007,2008)



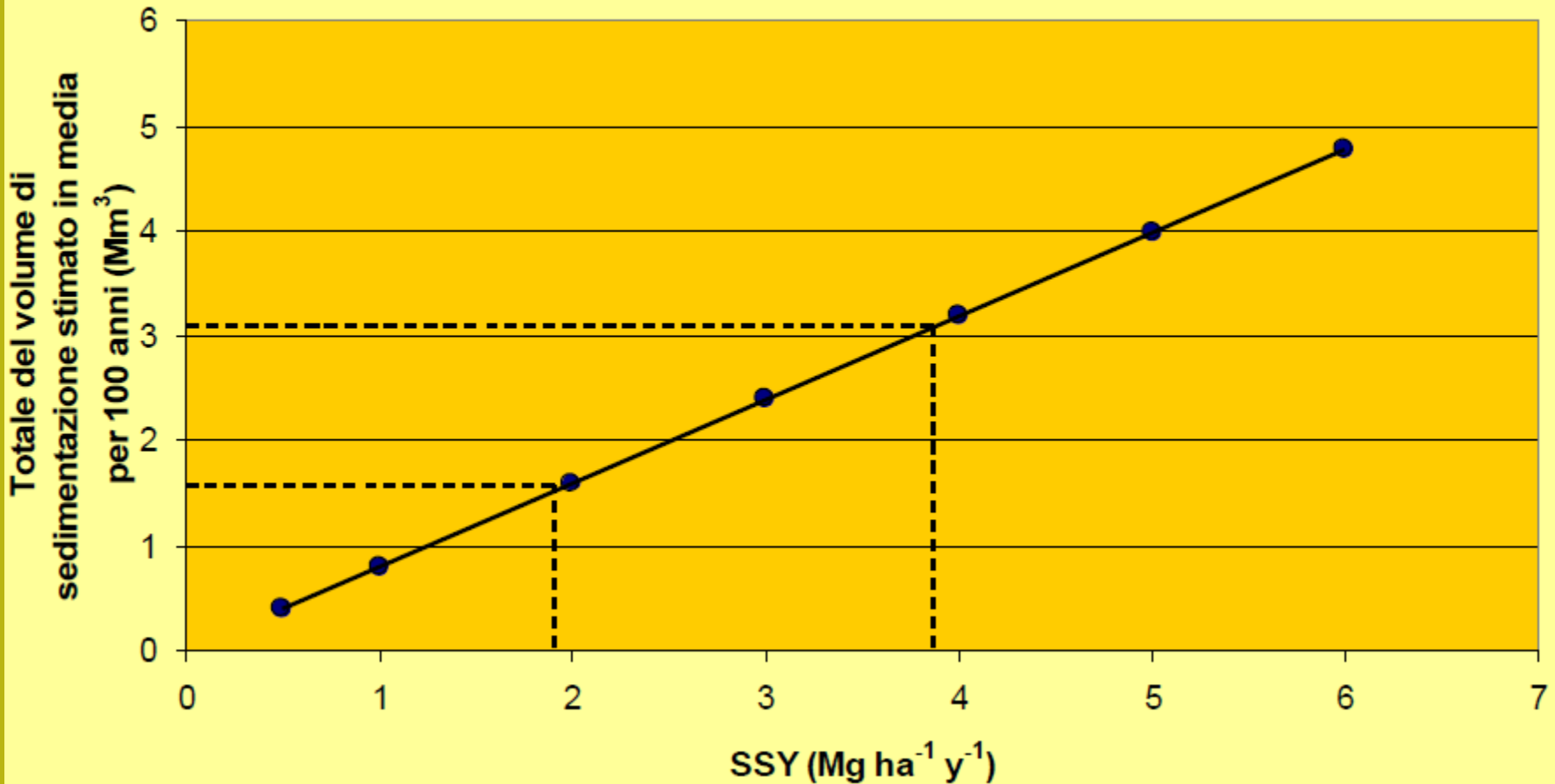
Cuenca de Bilancino, Toscana Italia
Sediment delivery ratio SDR
Estimado por medio de índice IC
(Borselli et al. 2007,2008)





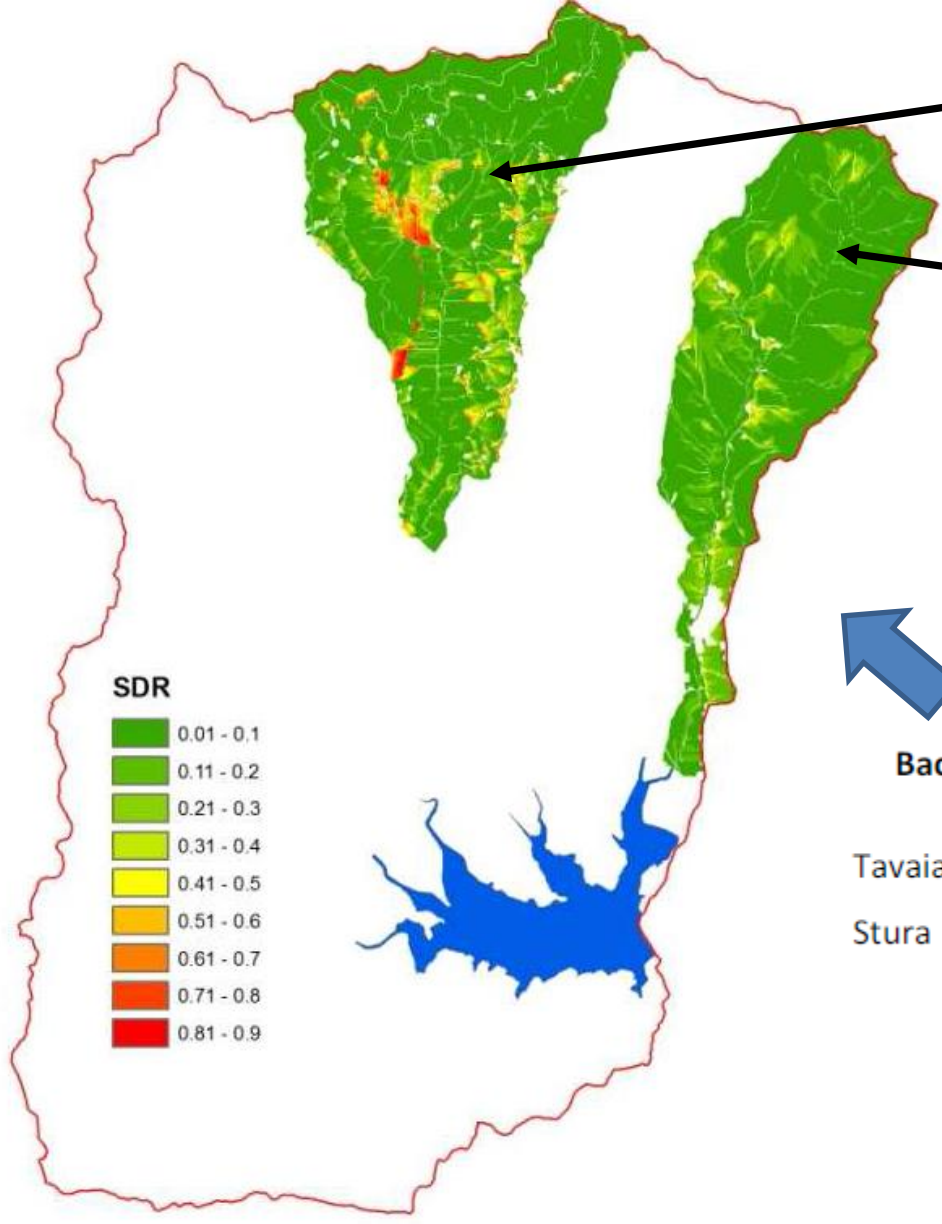
Cuenca de Bilancino, Toscana Italia
Tasa media de erosión corregida con SDR
En Mg/ha/yr (Borselli et al. 2007,2008)

Volume di sedimentazione nell'invaso di Bilancino



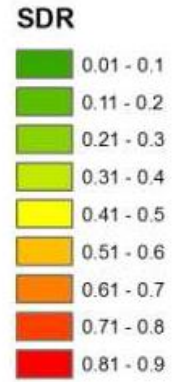
Siltation estimada en en le embalse de Bilancino

Entre 2 y 4 ($\text{Mg ha}^{-1} \text{y}^{-1}$) que son un máximo de 3 Mm^3 en 100 años



Stura watershed
 MedidoSSY 116 Mg/km²/y
 Pelacani (2010)

Tavaiano watershed
 Medido SSY 14 Mg/km²/y
 Pelacani (2010)



Bacini	Erosione netta (t km ⁻¹)	Erosione totale (t km ⁻¹)	SDR
Tavaiano	47	210	0.23
Stura	105	316	0.33

application of IC
Portion of Bilancino watershed
 Cassi, 2010 (PhD thesis)

Propuestas para aplicaciones extensivas de IC (...y FIC) in 2008:

The proposed procedure for the IC model contains a large set of potential applications such as:

- 1) **Identificación de puntos calientes de fuentes primarias de sedimentos dirigidos líneas de drenaje permanentes;**
- 2) **Verificación de los efectos de las medidas de mitigación ecocompatibles para reducir o favorecer la conectividad (Hooke and Sandercock, 2007).... Informe final del proyecto RECONDES**
- 3) **Seguimiento de los cambios en el grado de conectividad en zonas con altas tasas de evolución geomorfológica;**
- 4) **Realizar análisis de escenarios para evaluar la eficiencia de las medidas de conservación contra la erosión del suelo, el transporte de sedimentos y nutrientes, y la sedimentación (todos fuertemente relacionados con la conectividad del flujo).**

A first Tool :

En el documento hay como secuencia de comandos para (ArcGIS 8.3,10.3,QGIS etc.) se proporcionó para facilitar el cálculo de I. El procedimiento aún no está desactualizado....

aunque ahora exista algún otro válido y más rápido

Alternativas (e.g. Connectivity Toolbox , Cavalli et al. 2014

ver adelante..)

Pseudocode fragmento para el cálculo de IC - Borselli et al. 2008

Appendix A. ArcGIS 8.3, ArcMap (spatial analyst extension)

Given data

grid: elevation, C

shapefile: road, urban area

Computation of input data

1. *Slope without null value*

a. Enable Spatial Analyst

under *View... Toolbars*, select *Spatial Analyst*

b. Calculate Slope

from the Spatial Analyst toolbar, select *Surface Analysis... Slope*

name the new theme *Slope*

c. Raster Calculator

from the Spatial Analyst toolbar, select *Raster Calculator*

build an expression $(([Slope]==0)*0.005)+[Slope]$;

name the new theme *S*

2. *Road/urban mask*

a. create a raster map of road and urban areas

from the Spatial Analyst toolbar, select *Convert... feature to raster*

....

Otras aplicaciones del índice de conectividad IC, se encontraron en la literatura científica internacional, después de 2010.... Sólo las publicaciones en el área de revistas ISI han sido consideradas estas tablas... Existen más pero no se consideran aquí

Authors	Year	site	Journal	Area of app.
Sougnezet al.	2011	Spain	Catena	Soil erosion
Vigiak ,Borselli et al.	2012	Australia	Geomorphology	Soil erosion, SSY, SDR
Lopez-vicente et al.	2013	Spain	Catena	Soil erosion
Cavalli et al.	2013	Italy	Geomorphology	Debris flow
D'Haen et al.	2013	Turkey	Geomorphology	Sediment Surface redistribution and origin
Shneider et al.	2013	Germany	Earth Surface processes and landforms	Surface Drainage network evolution
Chartin et al.	2013	Japan	Anthropocene	Fukushima- radioactive pollution dispersión by rivers

Continua...

Authors	Year	site	Journal	Area of app.
Messenzel et al.	2014	Switzerland	Geomorphology	morphometric GIS modelling
Jamshidi et al.	2014	Australia	Hydrological Processes	Specific sediment yield and SDR
Kumar et al.	2014	India	Geomorphology	Impact of /antropic structures (road and railways) on mega alluvial fan in Himalaya
Foerster et al.	2014	Spain	Jurnal of soil and sediments	Connectivity change by vegetation cover (lidar+remote hyperspectral images)
Heiser et al.	2015	Austria	Geomorphology	Watershed classification for debris flow processes
Gay et al.	2015	France	Jounal fo soil and Sediments	Connectivity index applied to lowland and big watershed and low res. DTM

Detalles de cada artículos en el APÉNDICE de esta presentación...

IC Cálculos y variantes en artículos publicados

Algunas de las principales variantes probadas:

- Superficies de 0,04 km² a 155.000km²
- Resolución DEM: de 1x1 m a 50X50m
- Uso (o no) de la máscara de ríos como sumidero local (cavalli et al. 2013)
- Variable Mínimo de área contribuyente para generar líneas de drenaje permanentes (máscara de los ríos) da 0,5 ha a 20 ha, o más...
- Uso (o no) de carreteras y áreas urbanas como SINK (como lo hacen las máscaras de río)
- Factor W (clásico es $W = C$ (TIPO USLE)) o $W=RI$ (Cavalli 2013)
IC₂ by Cassi (2010) , IC_{variant} (Gay et al. 2015) y muchos otros después 2015..
- Diferentes países, ambientes, paisajes, climas e impactos antropogénicos
- De momento se han publicado más de 150 aplicaciones de IC entre mas de 400 artículos que citan el artículos original de Borselli et al. (2008) (fuente web of science)

W factor: an evolution for IC2 model

Cassi, 2010 (PhD thesis) University of Florence . Directed by L.Borselli.

La segunda versión de IC explica por: propiedades hidrológicas del suelo, magnitud del evento de lluvia, rugosidad superficial

$$C_r = 1 - \frac{I_{dt} + S}{P_{dt}}$$

Step 1: Coeficiente de escorrentía su base de evento (C_r) (adimensional) , por volumen total de infiltración (I_{dt}), Almacenamiento de agua superficial (S) y volúmenes de Lluvia pro evento (P_{dt}) (all in mm)

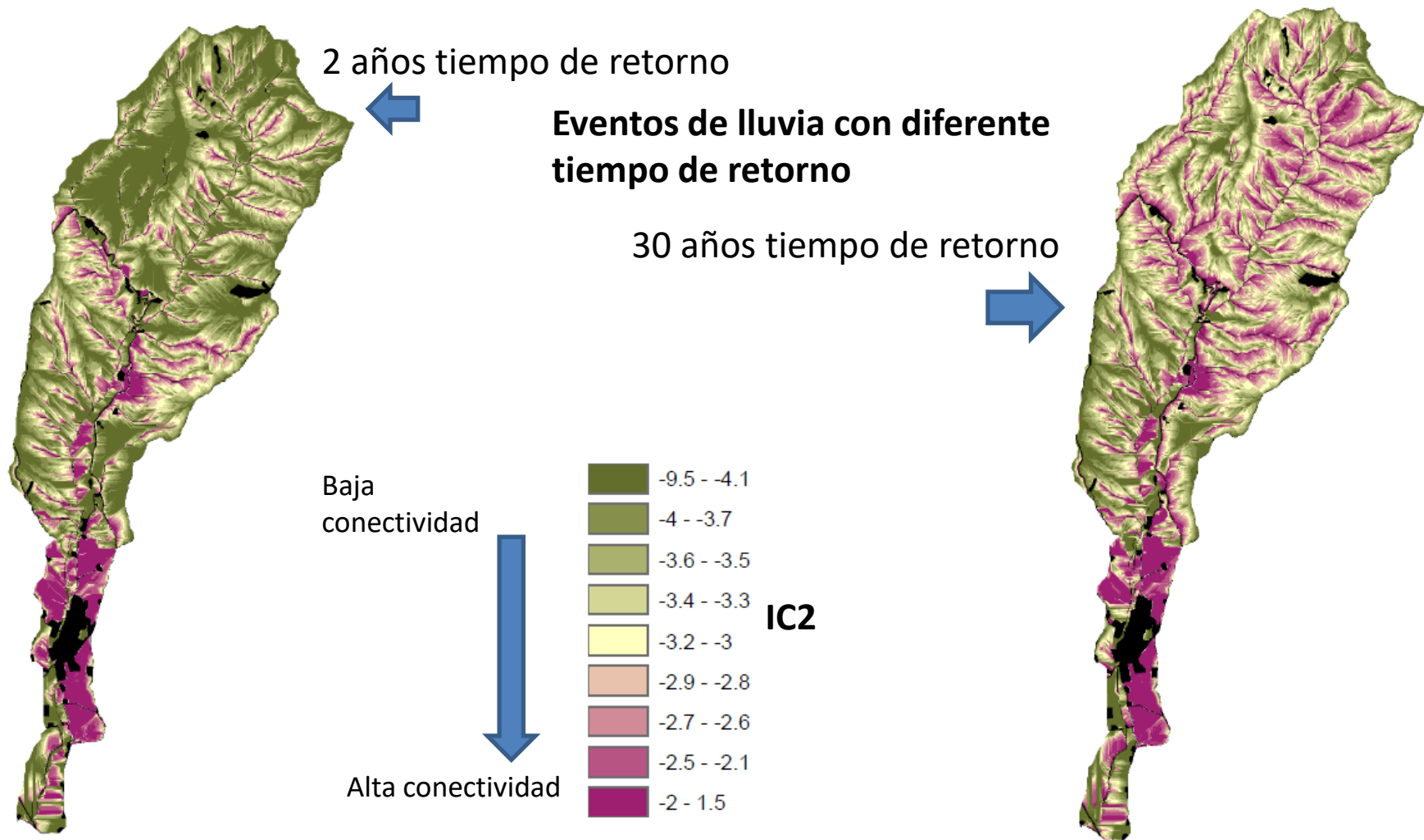
La infiltración se puede calcular localmente con modelo espical, por ejemplo, model di Morel-Seytuox (1978) para cada unidad idrológica, S wcomo se calcula con la relación by Borselli and Torri (2010, Journal of Hydrology), en función de la rugosidad de la superficie y el gradiente de pendiente local

$$\frac{1}{f}$$

Step 2 Rugosidad hidráulica debida al uso del suelo y a las características de la superficie del suelo (incluida la vegetación) por Darcy Weisbach (f) factor de fricción (adimensional)

$$W = C_r * \frac{1}{f}$$

Step 3: Cálculo final de W (tenga en cuenta que W sigue siendo adimensional)



Intensidad media 15.7 mm/h
 Duración 2.5 h
 Volume 39.2 mm

Primera aplicación de IC2
Parte de la cuenca del Bilancino
 Cassi, 2010 (PhD thesis)

Intensidad media 37.9 mm/h
 Duración 1 h
 volume 37.9 mm

State of Science

Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales

Louise J. Bracken,^{1*} Laura Turnbull,^{1,2} John Wainwright¹ and Patrick Bogaart³

¹ Department of Geography, Durham University, Science Laboratories, South Road, Durham, DH1 3LE, UK

² Institute of Hazard, Risk and Resilience, Durham University, Science Laboratories, South Road, Durham, DH1 3LE, UK

³ Environmental Sciences, Copernicus Institute of Sustainable Development, Utrecht University, Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht, The Netherlands

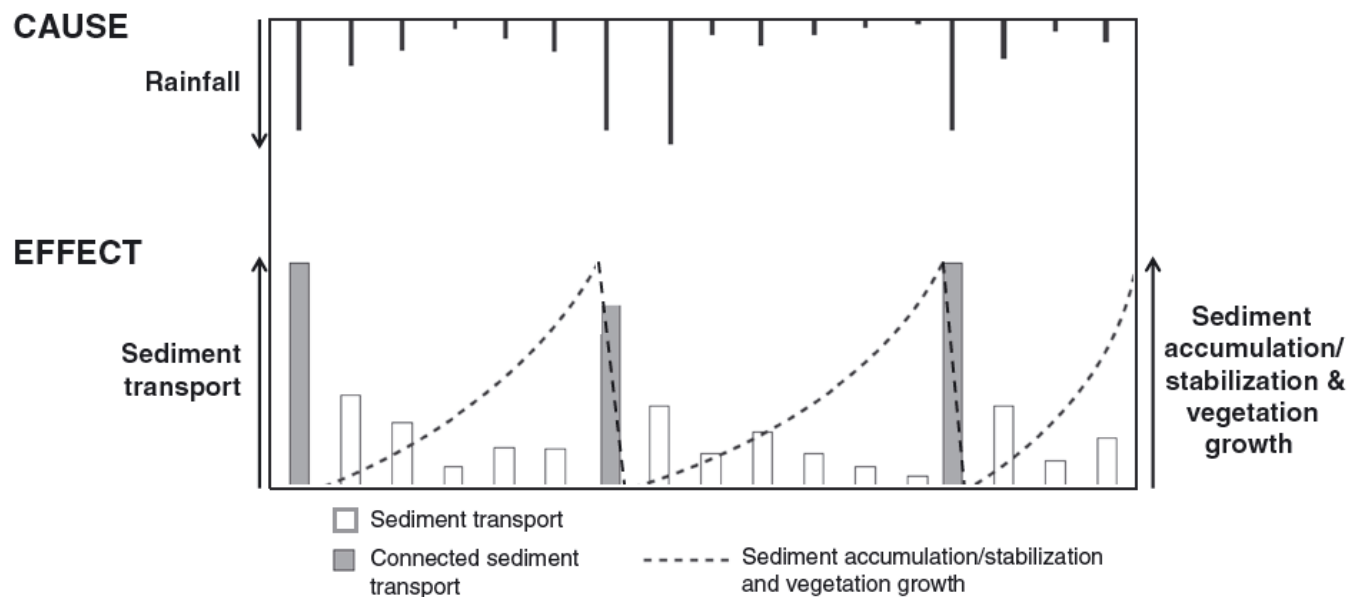


Figure 4. Diagram showing the effect of a major, infrequent event followed by low magnitude, high frequency events, which tend to decrease in magnitude over time as vegetation stabilizes hillslopes and river banks, as well as removing water from sediment transport via transpiration. This pattern continues until another high magnitude event occurs, leading to some form of resetting of the system.

Now Conectividad en México...

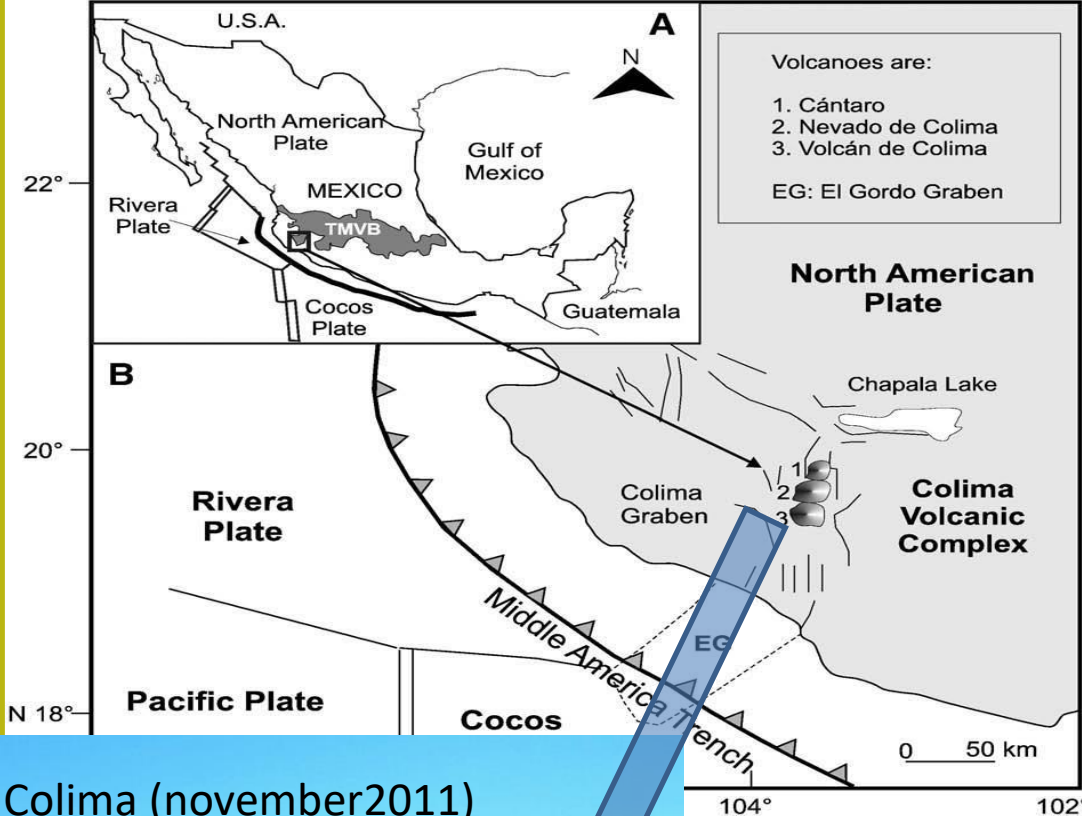
Project MOPRI (2013-2016)

“Modelado de procesos hidrológico, dinámica de hidrofobicidad e infiltración, para su aplicación en la evaluaciones del riesgo debido a inundaciones y lahares: aplicación en la ciudad de San Luis Potosì y en el Volcán De Colima” (2013-2016)(CONACYT-Ciencia Basica-2012-01 -184060)

Principales procesos geomórficos: flujo piroclástico, flujos de escombros (lahares), movimiento de masas, erosión de barrancos, colapso de edificios y avalanchas de escombros, Aprox. cada 2500 years in the last 15000BP



Volcán de fuego, Colima, México. El volcán más activo de América del Norte. Altitud 3860 m a.s.l.



*From, Saucedo
et al. 2010*

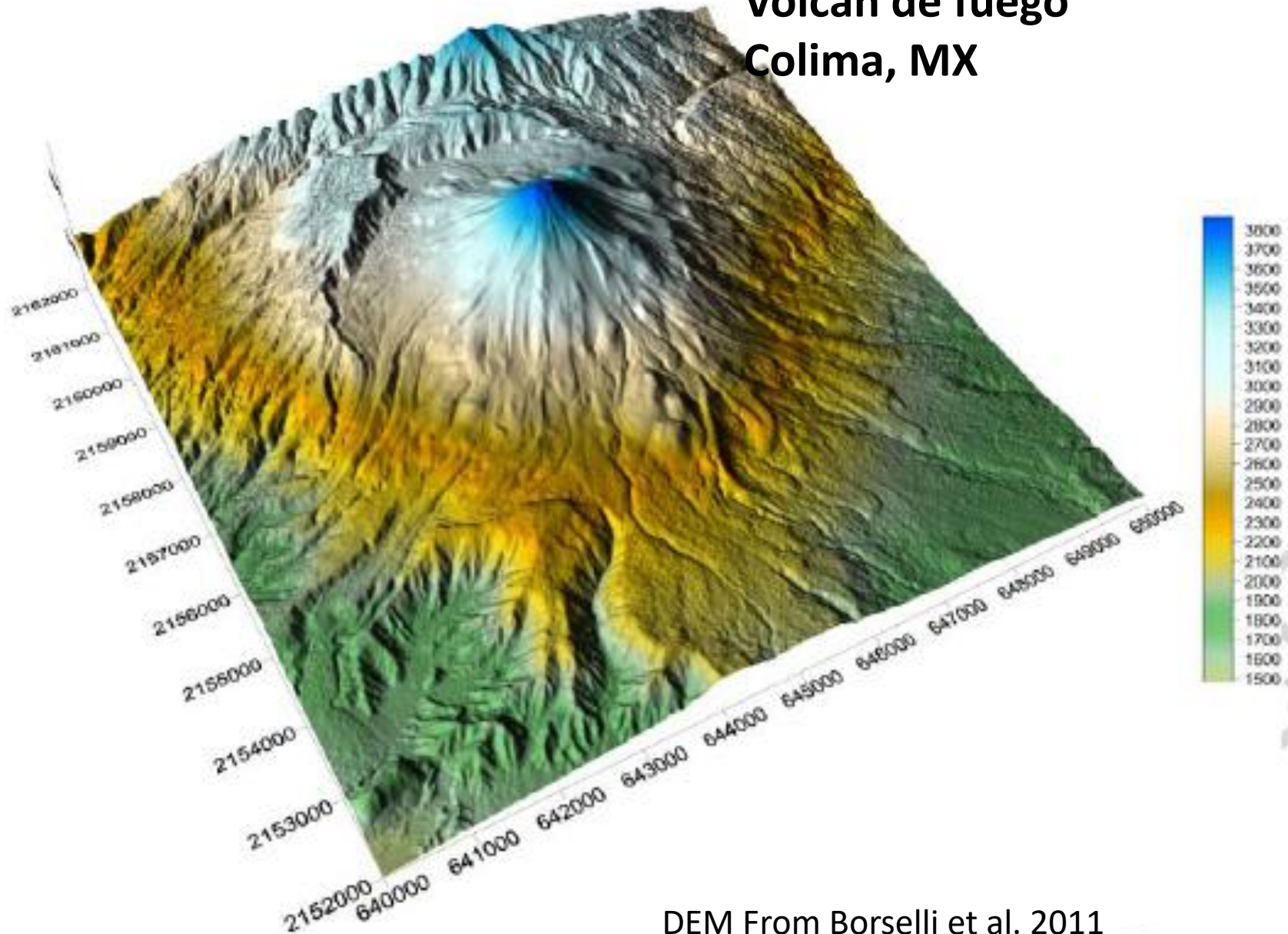


Volcan de Fuego, Colima (november 2011)
W view



**Volcan de fuego
Colima, MX
3900 m a.s.l.
Active volcano**

Volcan de fuego Colima, MX



DEM From Borselli et al. 2011

A intense geomorphological activity



ELSEVIER



Short communication

Preliminary report on the July 10–11, 2015 eruption at Volcán de Colima: Pyroclastic density currents with exceptional runouts and volume



L. Capra^{a,*}, J.L. Macías^b, A. Cortés^c, N. Dávila^d, R. Saucedo^e, S. Osorio-Ocampo^f, J.L. Arce^g, J.C. Gavilanes-Ruiz^h, P. Corona-Chávez^g, L. García-Sánchez^f, G. Sosa-Ceballos^b, R. Vázquezⁱ

Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 18, 781–794, 2018

<https://doi.org/10.5194/nhess-18-781-2018>

© Author(s) 2018. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.



Natural Hazards
and Earth System
Sciences



Montegrande ravine

La Lumbre ravine

Images from
Capra et al. 2018

Hydrological control of large hurricane-induced lahars: evidence from rainfall-runoff modeling, seismic and video monitoring

Lucia Capra¹, Vello Coviello^{1,2}, Lorenzo Borselli³, Víctor-Hugo Márquez-Ramírez¹, and Raul Arámbula-Mendoza⁴

¹Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Campus Juriquilla, Querétaro, Mexico

²Free University of Bozen-Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie, Bolzano, Italy

³Instituto de Geología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, Mexico

⁴Centro Universitario de Estudios e Investigaciones en Vulcanología (CUEIV), Universidad de Colima, Colima, Mexico

Colima,
Volcan de
Fuego



Flujo de escombros
Boulder transportado
(La Lumbre Ravine)

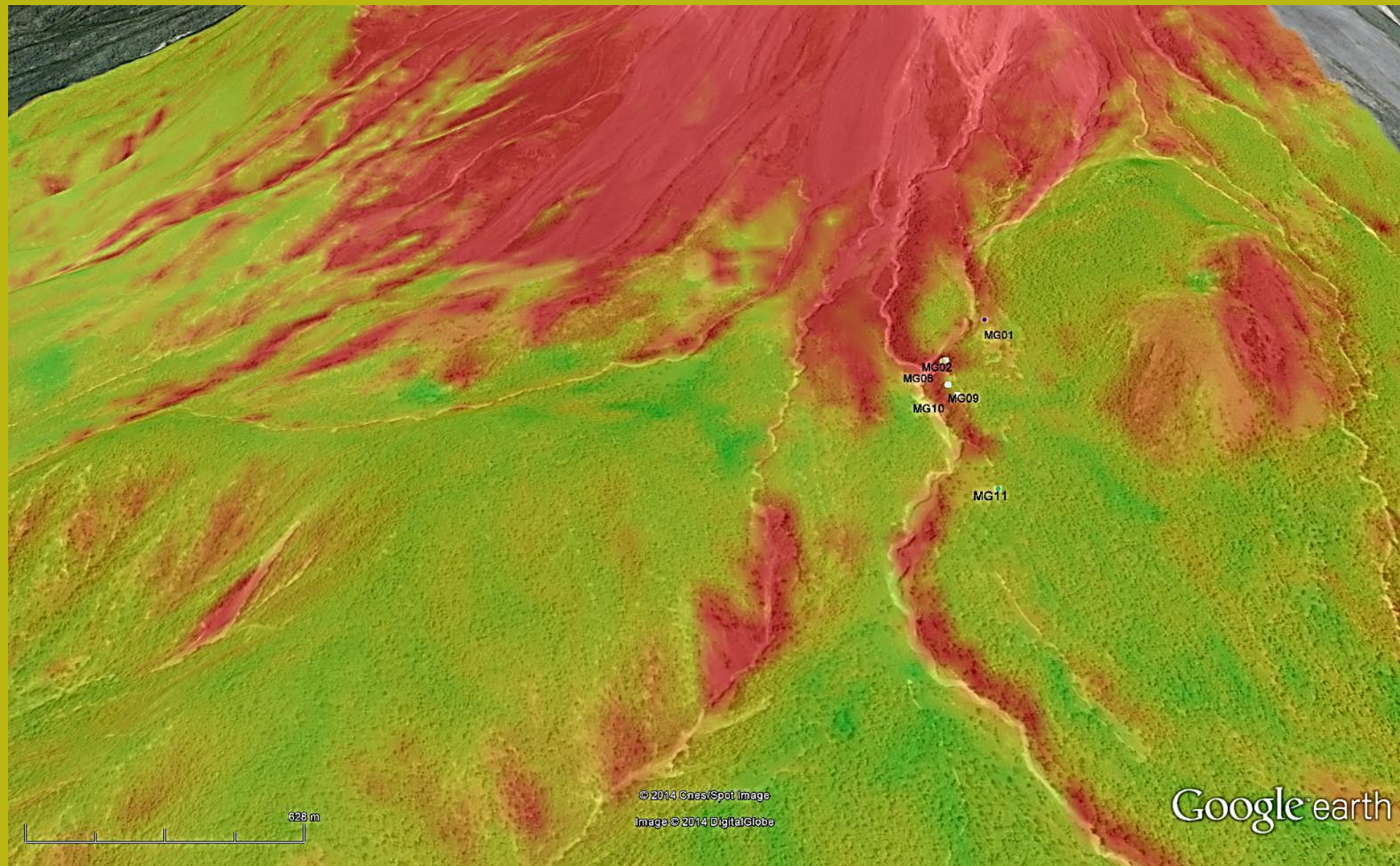


Flujo de escombros
Cantos rodados transportados
(Montegrande ravine)



Deslizamientos
en trerazos fluviales
(La Lumbre Ravine)

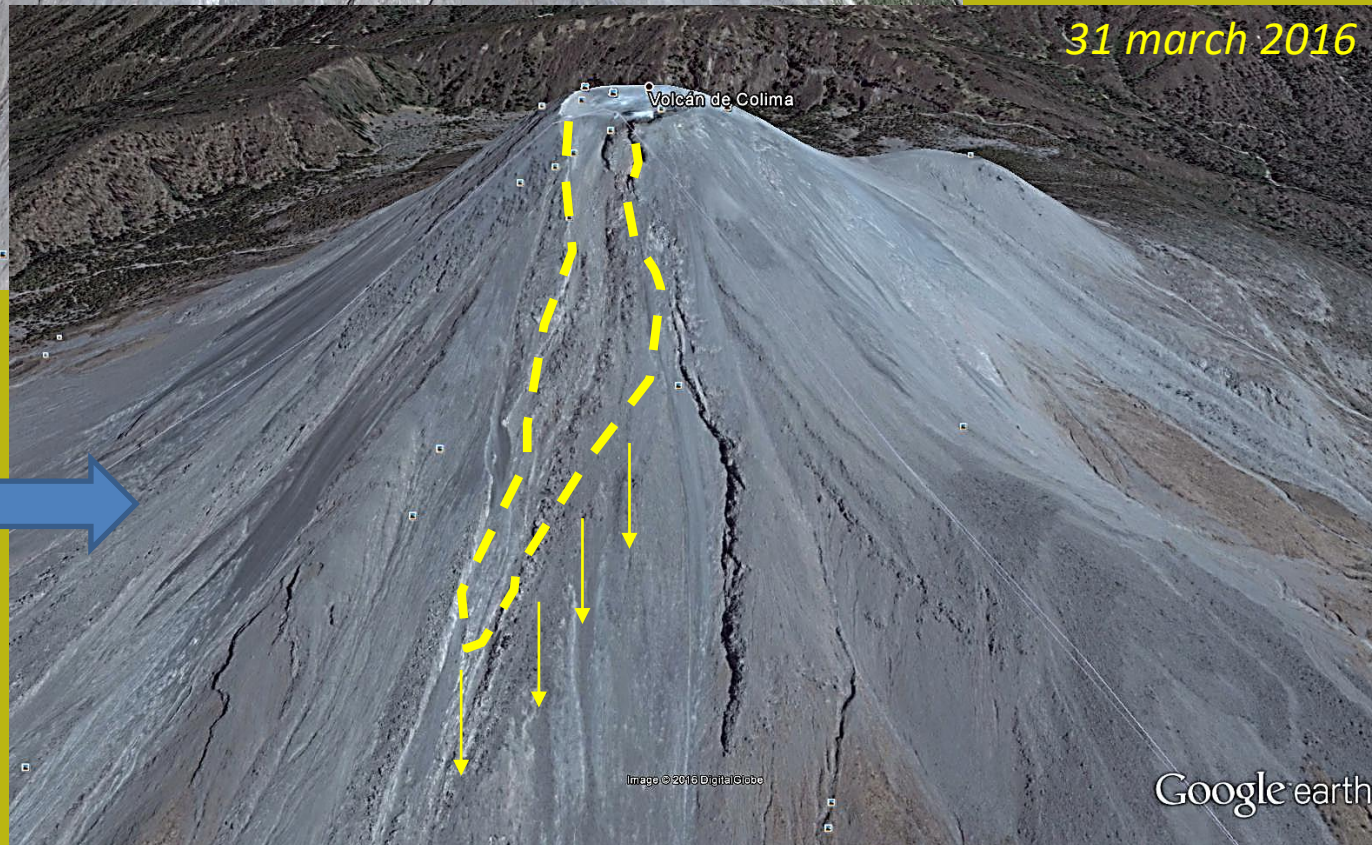




La conectividad puede ayudar a comprender la dinámica de las contribuciones hidrológicas laterales que desencadenan o remobilizan los lahares al comienzo de la temporada de lluvias, cuando el suelo es hidrófobo. (Capra , Borselli et al. 2010).



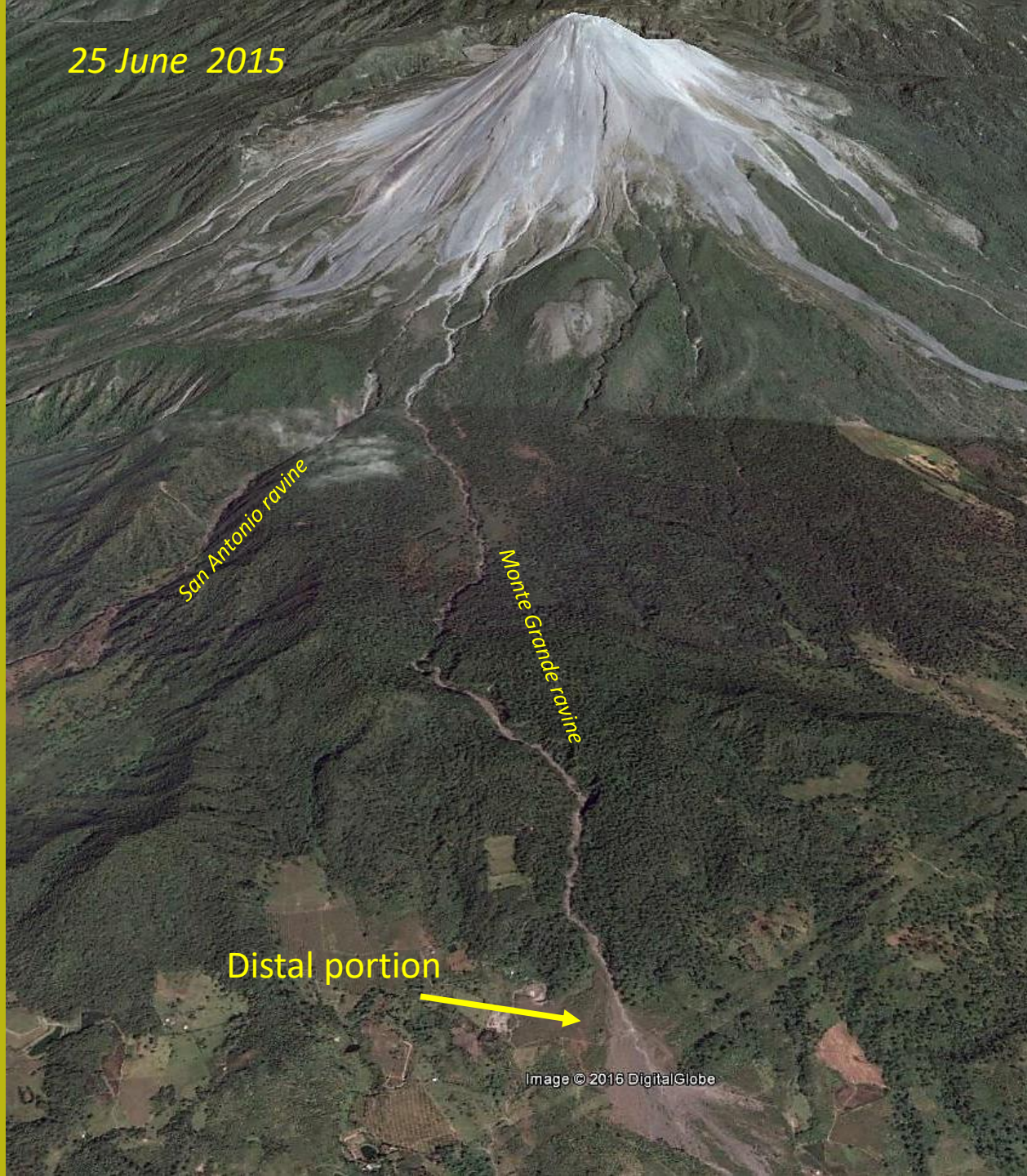
Colima volcán
de Fuego
upper edifice



Dome and side crater
partial collapse 10 July
2015, 10 km large
runout and piroclastic
flow, as block and ash
flow SW view
(images by Google
Earth)

25 June 2015

Colima volcán
de Fuego
Full SW view
(images by
Google Earth)



San Antonio ravine

Monte Grande ravine

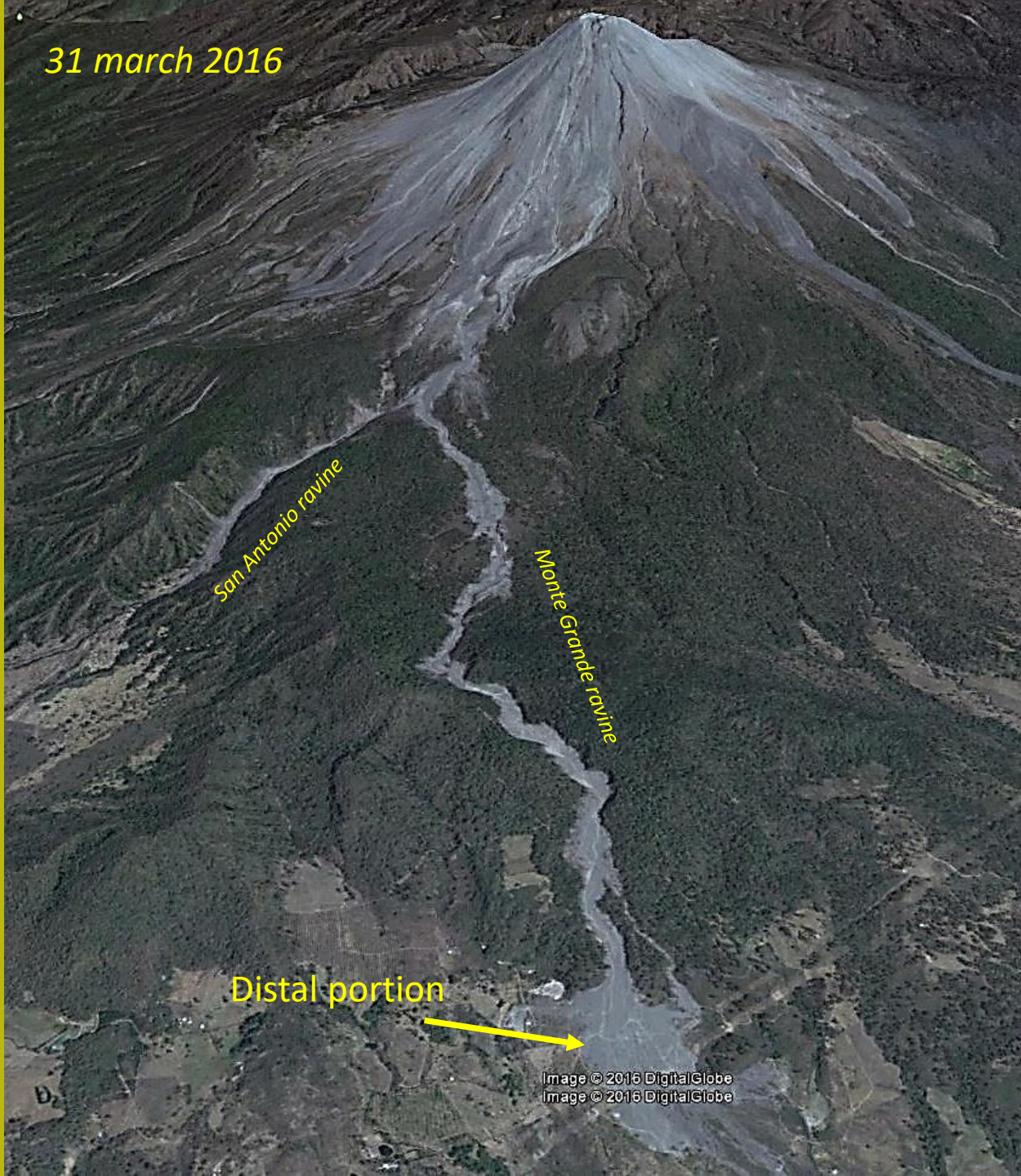
Distal portion



Image © 2016 DigitalGlobe

31 march 2016

Colima volcán
de Fuego
Full SW wiew
(images by
Google Earth)



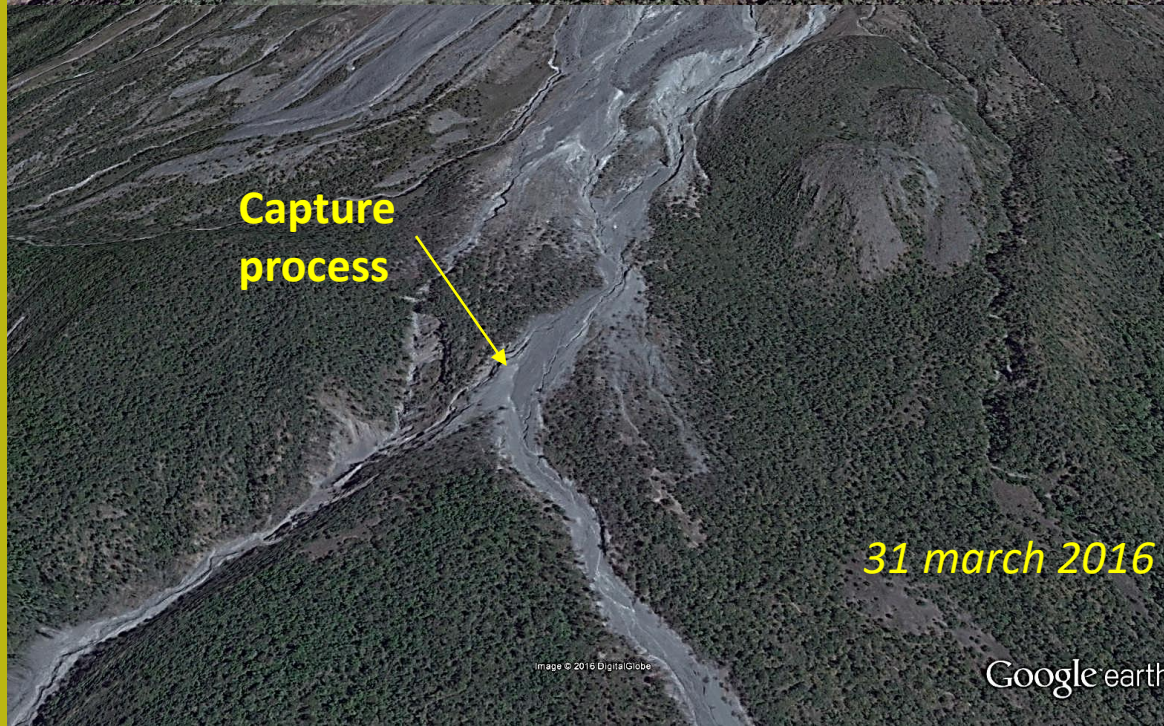
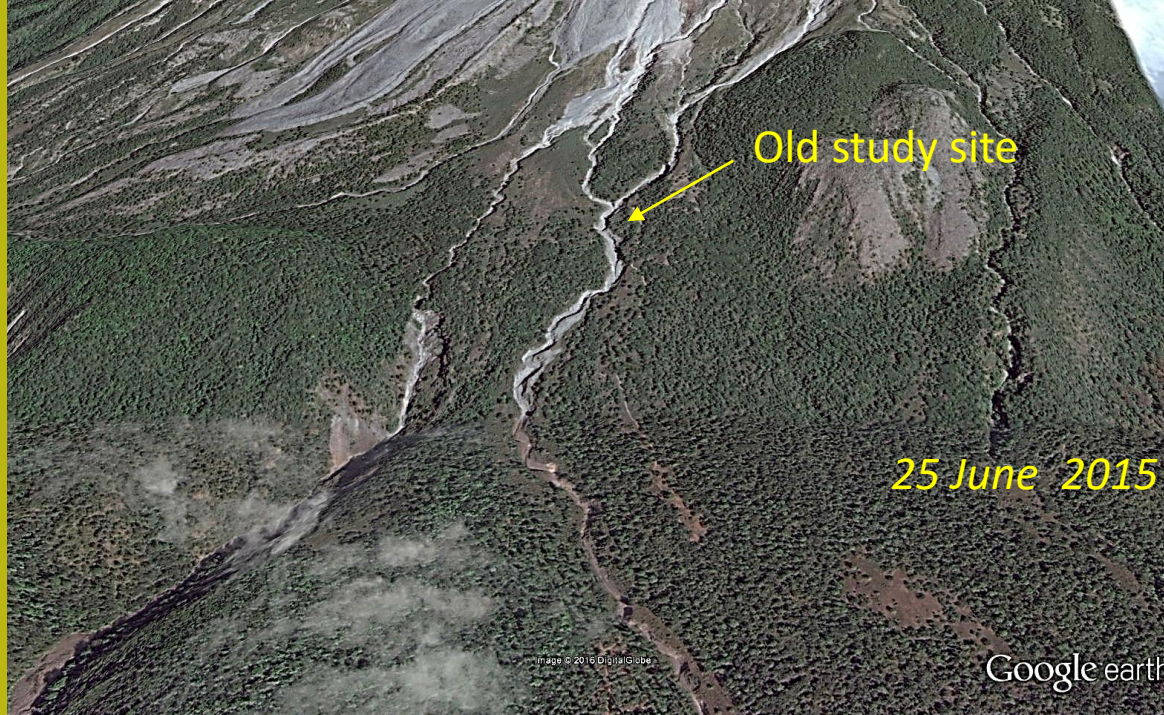
San Antonio ravine

Monte Grande ravine

Distal portion

Image © 2016 DigitalGlobe
Image © 2016 DigitalGlobe

Colima volcán
de Fuego
Porción
mediana
Barrancas
Montegrande
y San Antonio
(images by
Google Earth)



Capture Area details in the
montegrande ravine
With dynamics of lateral
contributing areas



17/05/2017

Google Earth

En este tipo de entorno geomorfológico nos desarrollamos en el marco de CONACYT: Proyecto Ciencia Básica CB-2012/184060 un estudio de conectividad en zonas volcánicas activas.

Catena 157 (2017) 90–111



Contents lists available at ScienceDirect

Catena

journal homepage: www.elsevier.com/locate/catena



Flow connectivity in active volcanic areas: Use of index of connectivity in the assessment of lateral flow contribution to main streams



A.J. Ortíz-Rodríguez^{a,b,*}, L. Borselli^b, D. Sarocchi^{b,c}

^a Doctorado Institucional en Ingeniería y Ciencia de Materiales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Sierra Leona No. 530 Col. Lomas 2ª, Sección Planta Baja, C.P. 78210 San Luis Potosí, S.L.P., Mexico

^b Instituto de Geología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Manuel Nava No. 5. Zona Universitaria, C.P. 78240 San Luis Potosí, S.L.P., Mexico

^c Department of Geosciences, Boise State University, 1910 University Drive, Boise, ID 83725-1535, United States

**Algoritmo para calcular valores de CI
En morfología compleja
y uso del suelo
como en las zonas
volcánicas. Ortiz-
Rodrigues et al. (2017)
Métodos integradores
de
Borselli et al. (2008)
y Cavalli et al. (2013)**

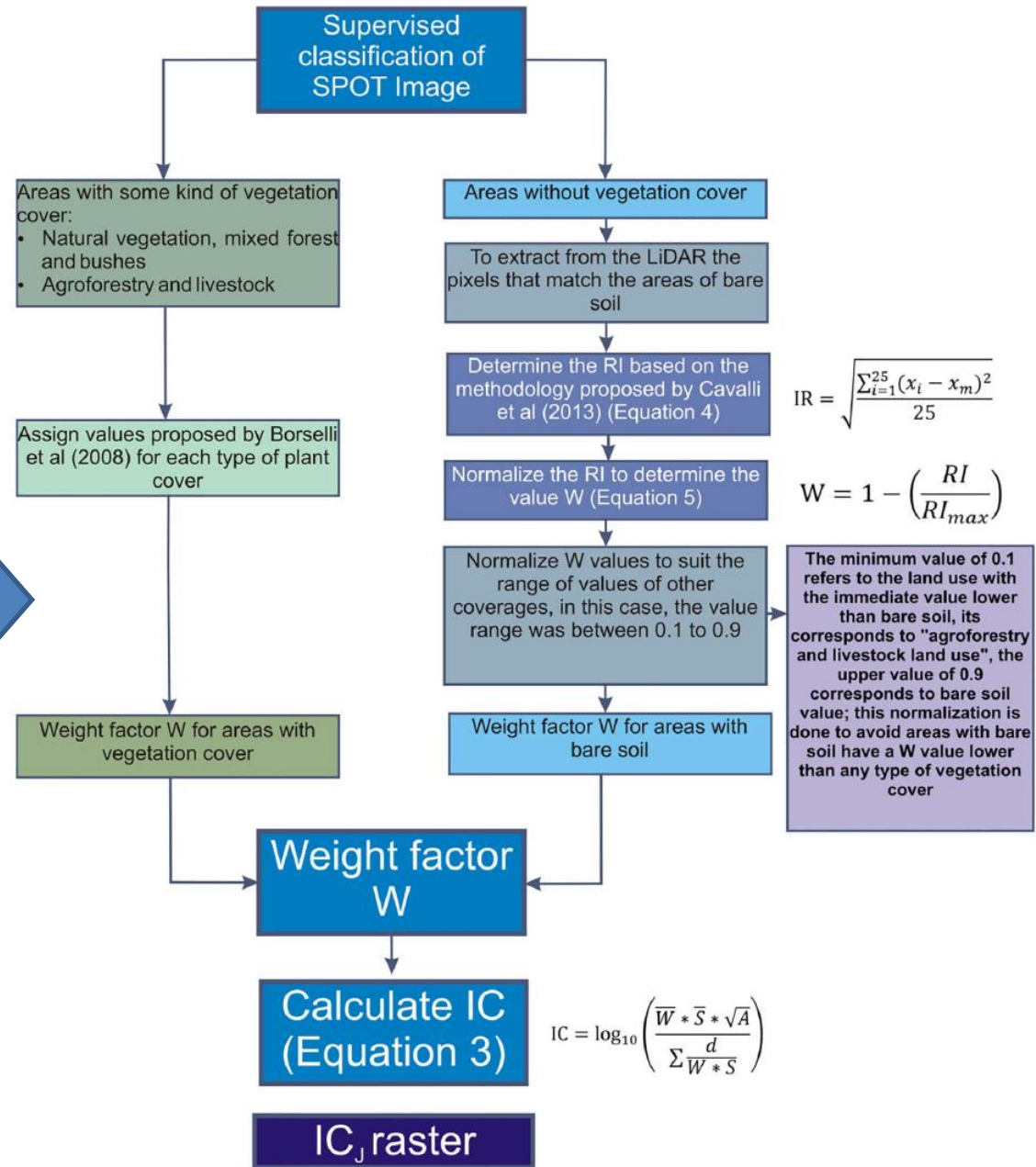


Fig. 8. Flowchart for calculating the weight factor W.

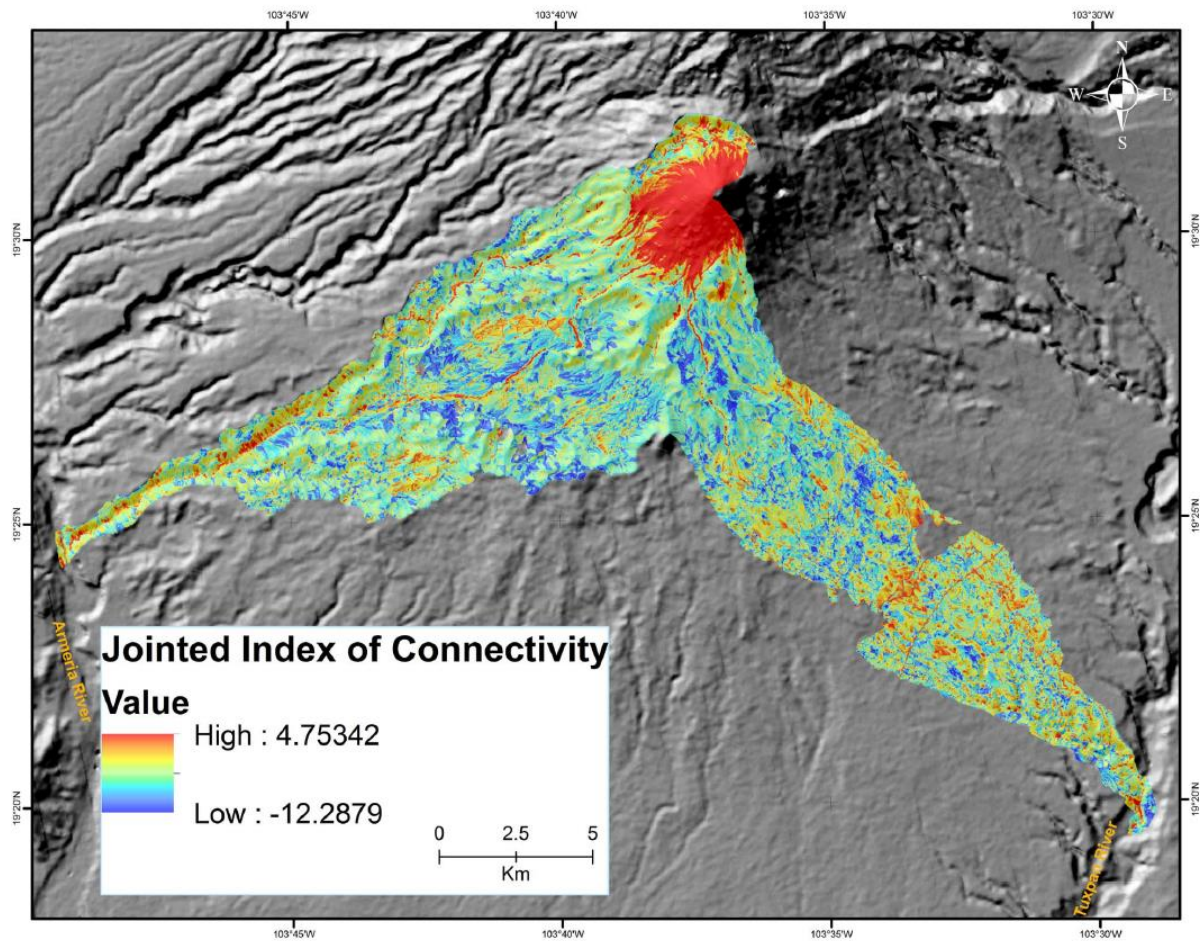
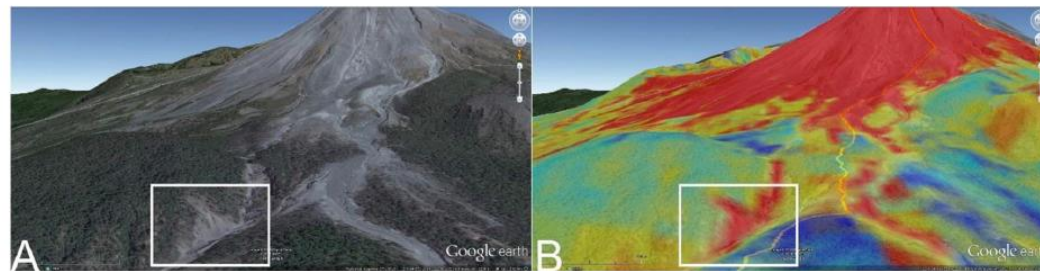


Fig. 11. Spatial distribution of joint index of connectivity (IC_j).



Source images: DigitalGlobe and NASA (2016) and coverage of IC_j , developed in this research

Fig. 12. Example of lateral collapse and IC_j .

Algoritmo para calcular los valores del índice LHEI
En morfología compleja y uso del suelo como en las zonas volcánicas. Ortiz-Rodrigues et al. (2017)

Lateral Hydrological efficiency index (LHEI)

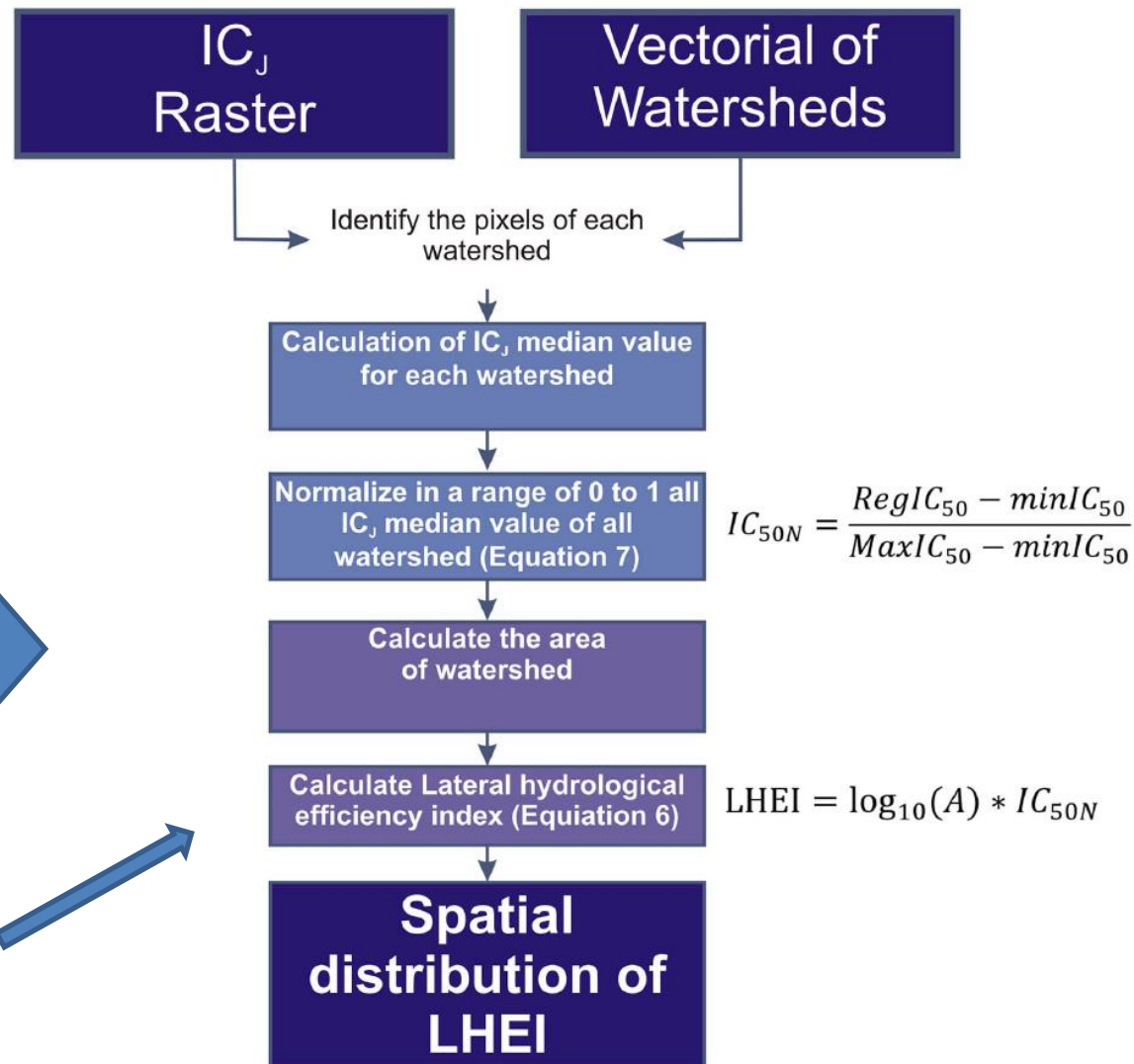


Fig. 10. Flowchart for calculating LHEI.

Con respecto a un valor medio de ICj en una cuenca, LHEI representa estadísticas locales a nivel de subcuenca. y permite una clasificación de diferentes niveles de eficiencia de conectividad de las subcuencas con respecto a la corriente principal.

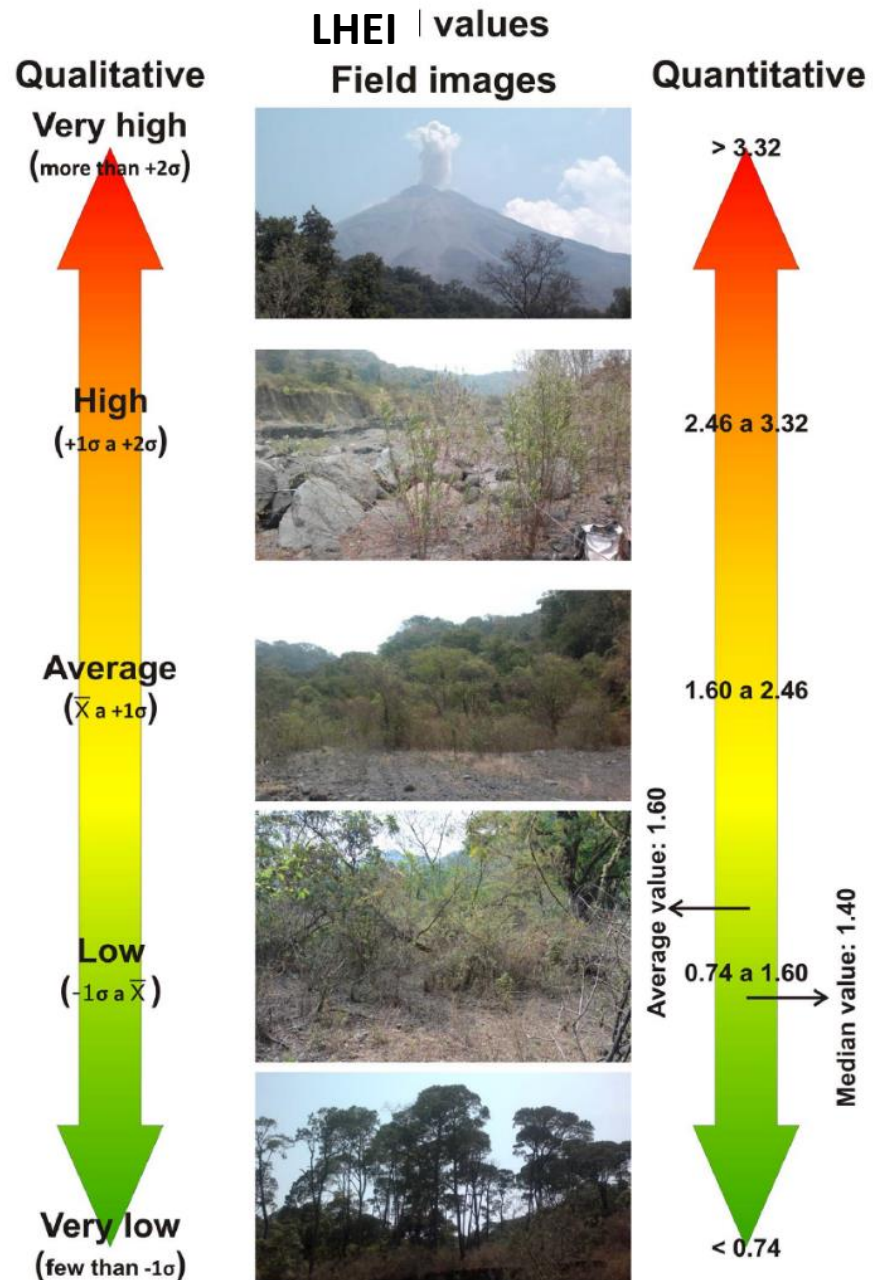


Fig. 17. Graphic scale of values and classes of LHEI values.

Conclusión principal de estos proyectos:

1) Ajustes método IC propuesto por Borselli et al. (2008)

para el análisis de conectividad con el fin de incluir detalles sobre las áreas vacías de vegetación y características de diversas cubiertas vegetales
Permitir un mejor detalle en la caracterización de áreas que tienen una alta dinámica geomorfología y por tanto mayor complejidad.

2) Esta modificación permite el uso de un índice, el índice **LHEI**, cuál evalúa fácilmente la eficiencia hidrológica a nivel de cuenca y
Identifica áreas primarias que proporcionan sedimentos a arroyos, material que es capaz de ser removilizado y asimilado en procesos epiclástico que ocurren como en áreas volcánicas activas.

3) La aplicación del LHEI constituye una forma rápida de reconocer áreas de mayor eficiencia fuera de la fuente principal de material que permite identificar áreas donde se pueden tomar acciones que reduzcan la conectividad y, por lo tanto, el riesgo para las poblaciones y la infraestructura..

Connectivity: toolbox, software and extensions

Cavalli's TOOLBOX (2014) for IC index computation

From Marco Cavalli
2014

(An ArcGIS implementation for IC calculation and its variants)

marco.cavalli@irpi.cnr.it

From Project SEDALP www.sedalp.eu

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying www.sedalp.eu/download/tools.shtml. The page features a navigation menu with the following items: HOME, DOWNLOAD, TOOLS, EVENTS, REPORTS & MILESTONES, TOOLS (highlighted in blue), FLYER, PUBLICATIONS, and VIDEOS. The main content area is titled "TOOLS" and lists three items:

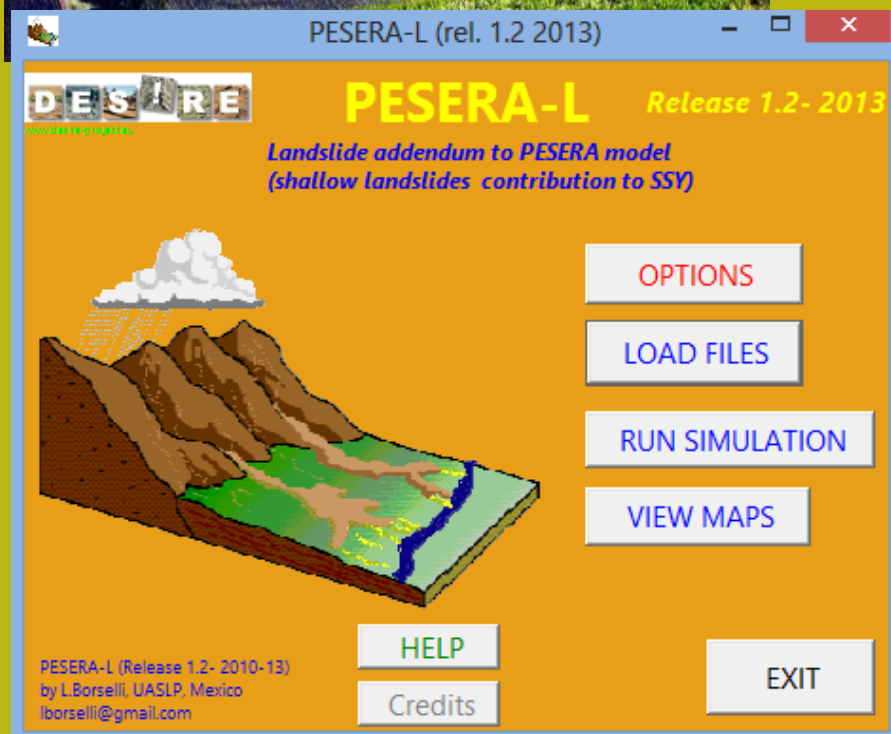
- Bedload computational tool**
Date: June 2015
 - Bedload computational tool (pdf, 5,45 Mb)
- FluvialCorridor toolbox**
Date: September 2014
 - read more +
- Connectivity Tools**
 - Connectivity ToolBox for ArcGis 10.1 (rar, 6,22 Mb)
 - SedInConnect_2.0 Stand alone application (rar, 61,5 Mb)
 - read less -

Below the "Connectivity Tools" section, there is a paragraph of text: "Computation of Connectivity Index as expressed in: Lorenzo Borselli, Paola Cassi, Dino Torri, "Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment" (CATENA, Volume 75, Issue 3, 15 November 2008, Pages 268-277, ISSN 0341-8162 - <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.006>) and modified by: Marco Cavalli, Sebastiano Trevisani, Francesco Comiti, Lorenzo Marchi "Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments" (Geomorphology, Volume 188, 15 April 2013, Pages 31-41, ISSN 0169-555X - <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.05.007>).



PESERA-L, the shallow landslides contribution to specific sediment yield (SSY), as extensions of the PESERA soil erosion model

See www.Lorenzo-borselli.eu/peseral
Para descarga de software y documentación



Author:

Lorenzo Borselli
www.lorenzo-borselli.eu
lorselli@unlp.edu.ar
Instituto de Geología / Fac. De Ingeniería
Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP),
Av. Dr. Manuel Nava 5,
78240 San Luis Potosí,
S.L.P. - MEXICO
lorselli@gmail.com

Special credits to:

Piernicola Lollino
CNR-IRPI, Bari, Italy

CONACYT:
Proyecto Ciencia
Basica CB-
2012/184060

PESERA-L model:
*An addendum to the PESERA model
for Sediment Yield due to shallow mass movement in a watershed*

**PESERA-L rel. 1.3 (64bit)
(2010,2015)**

PESERA-L is a Full Freeware Software available for the scientific community

The aim of this software is calculate the sediment yield contribution due to shallow landslide in a watershed. The PESERA-L model is released as a freeware software for the scientific community. PESERA-L has been designed to operate as additional unit to well know PESERA model framework. Any way PESERA-L can operate independently for assesment of landslide degree of instability, Sediment yield, and degree of degradation by landslide assessment. PESERA-L operates (both input and output file) with common ASCII grid files (common ARCGIS, ASCII grid raster file format) and ASCII text file (CVS format) structured for an easy exchange with EXCEL spreadsheet.

The latest PESERA-L package can be downloaded in this page:

DOWNLOAD PESERA-L full package (30 MB) as portable application: [HERE](#)
and [preliminary documentation](#) (0.6 MB)

PESERA-L uses [GNU PLOT 5.1](#) Package for graphic rendering of Rastere Maps.
GNU PLOT 5.1 is included in the PESERA-L portable full package.

PESERA-L run only on WINDOWS 64bit architectures (mostly WIN 8.1 and WIN 10)

references on Pesera-L software:

- [BORSSELLI L. SALVADOR SANCHISM.P., BATOLINI D., CASSI P., LOLLINO P. \(2011\). PESERA-L model: an addendum to the PESERA model for sediment yield due to shallow mass movement in a watershed. CNR-IRPI, Italy Report .n.82. scientific report deliverable 5.2.1 DESIRE. PROJECT. Pp.28](#)
- [PESERA-L, the shallow landslides contribution to specific sediment yield \(SSY\), as extensions of the PESERA soil erosion model \(2010\)](#)

This software is released as **FREEWARE** for the scientific community.

This imply that is released and downloadable for free, but without warranties .

The author of this software wants acknowledge the peoples that with their testing activities and suggestions helped us to improve the performance of PESERA-L.
All the Suggestions from the users are welcomed and greatly appreciated.

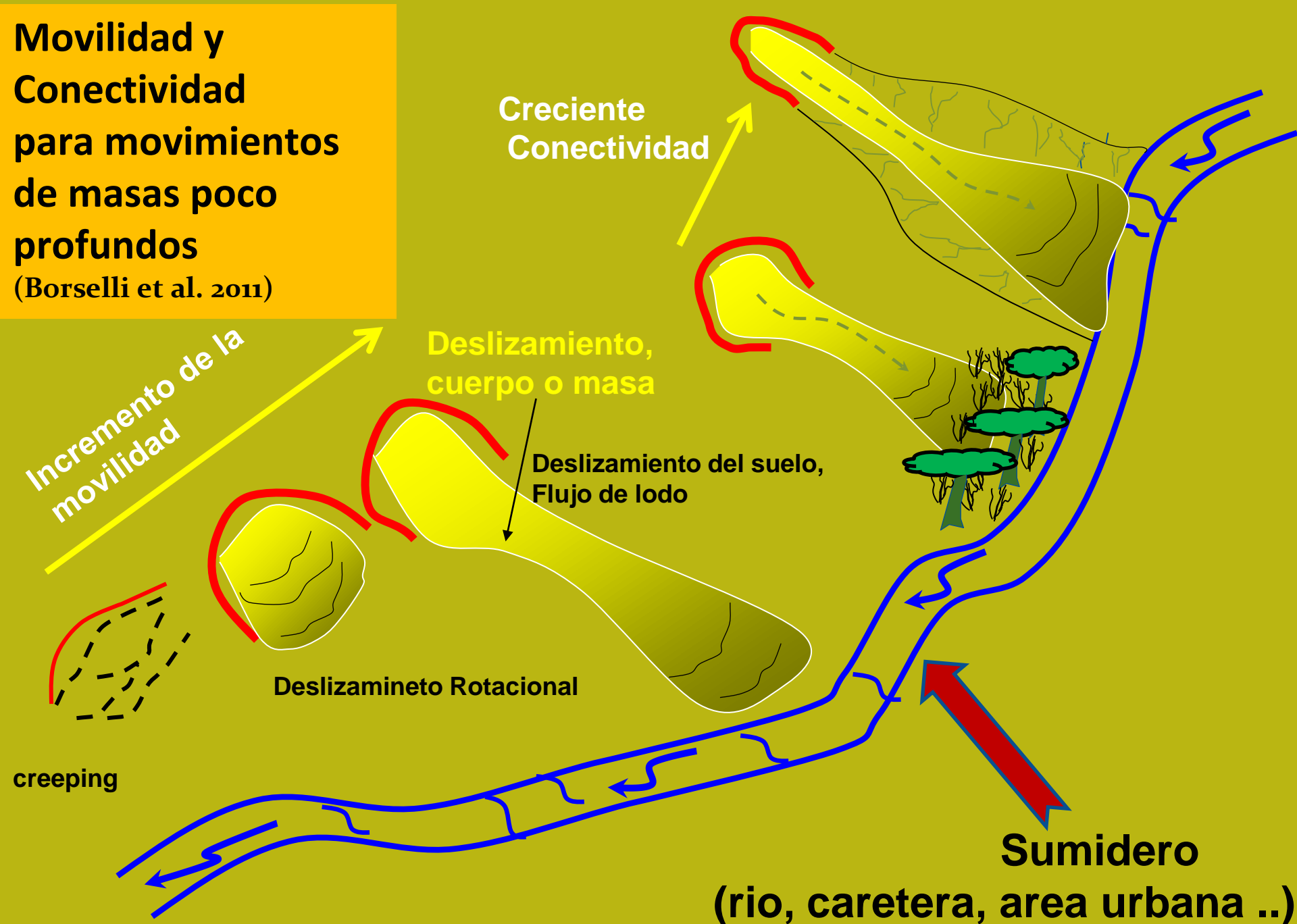
developed with:

[Code Typhon 5.5](#) and [Free Pascal 3.1](#)



<https://www.lorenzo-borselli.eu/peseral>

Movilidad y Conectividad para movimientos de masas poco profundos
(Borselli et al. 2011)



La relación de pérdida de sedimentos para deslizamientos de tierra SDR_L Y cómo obtener SSY (con Pesera-L)

$$V = 10^6 A D \Psi SDR_L$$

$$SSY = \frac{V \gamma_s}{100A \Delta_t} \quad [Mg \ ha^{-1} \ yr^{-1}]$$



Where

V= net eroded Volume (m³)

A= area of HLU (km²)

D= average depth of landslides (m)

Ψ= fraction of area potentially unstable (-)

SDR_L= sediment delivery ratio from landslides (-)

γ_s= soil unit weight (Mg/m³)

Δ_t= annual frequency (yr)

SSY= specific sediment yield from hillslope [Mg/ha/yr]

Distribución exponencial Modelo para la pérdida de sedimentos

Derivado por
Miller y Burnett (2008) y
modificado por la implementación de
una porción de IC

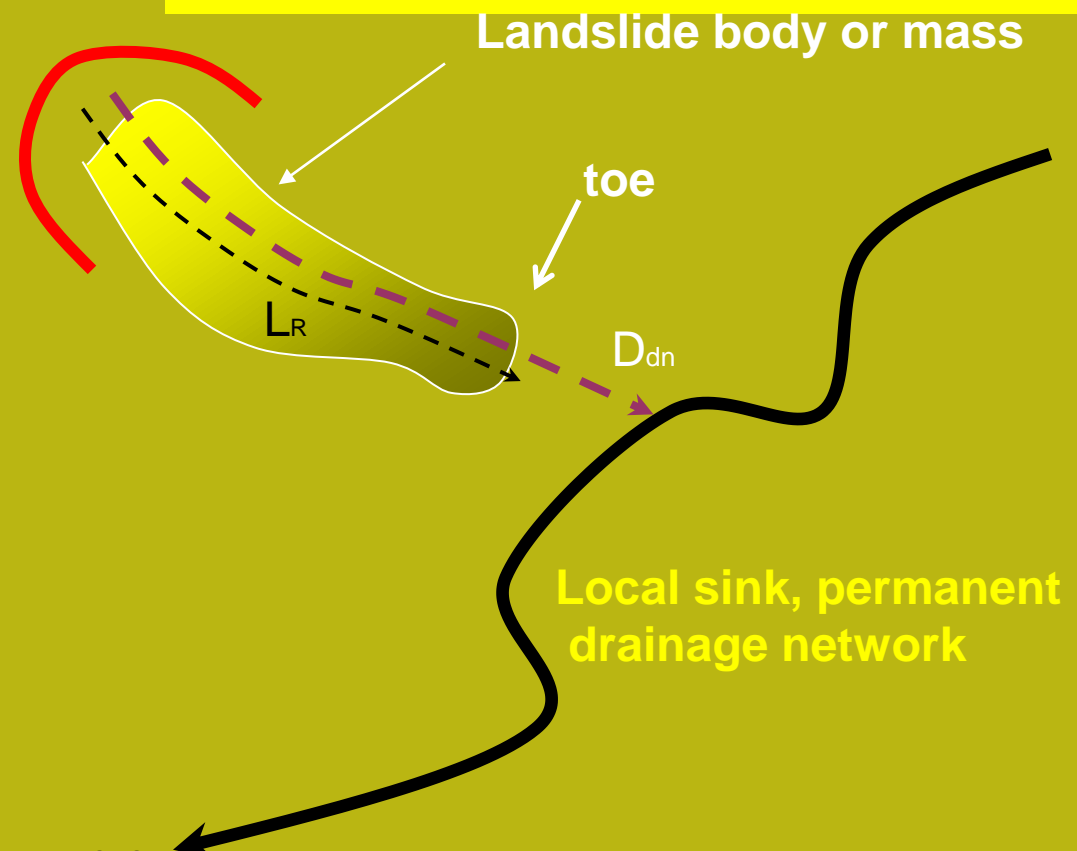
Where:
 L_R = Corrimiento promedio de
deslizamientos de tierra (m)
 D_{dn} = Enrutamiento cuesta abajo
Distancia pesada (m)
(IC model Borselli et al. 2008)

$$SDR_L = e^{-\lambda D_{dn}}$$

$$\lambda = \frac{1}{\bar{L}_R}$$

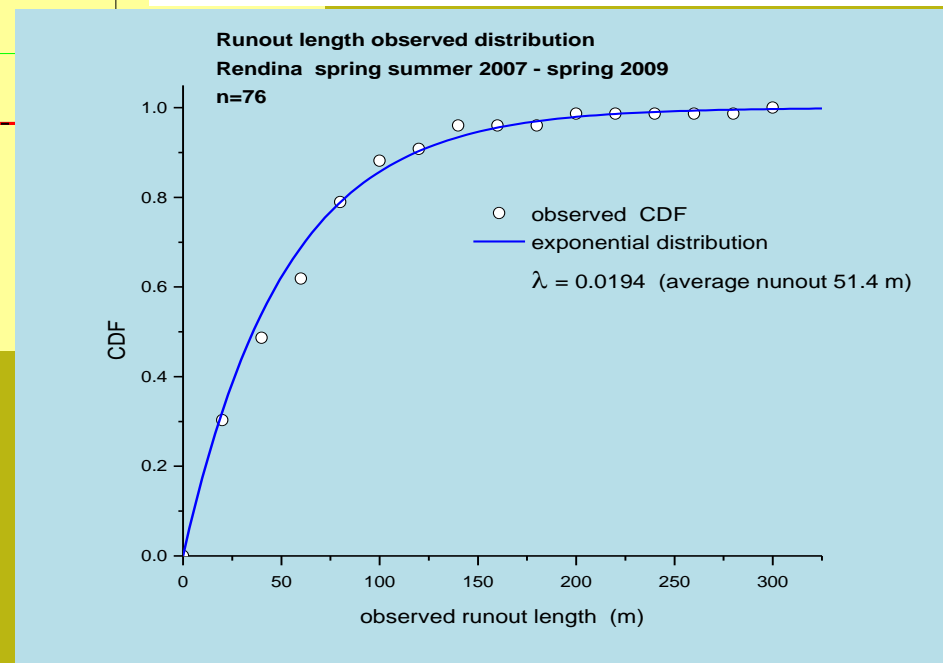
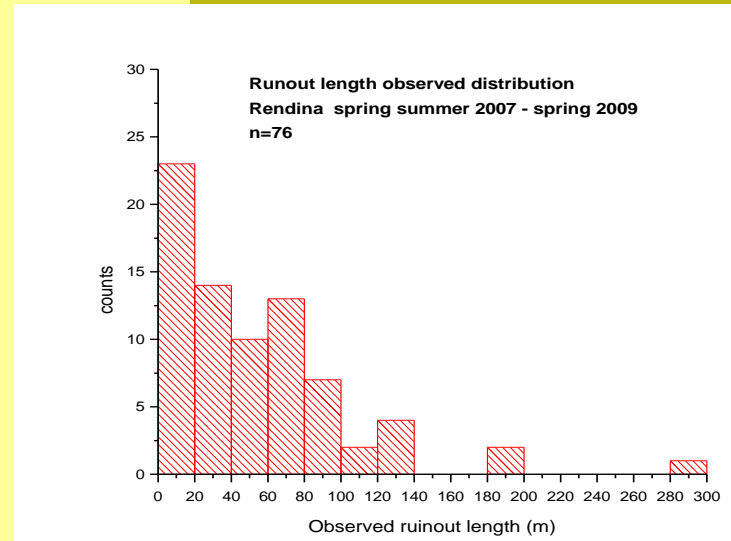
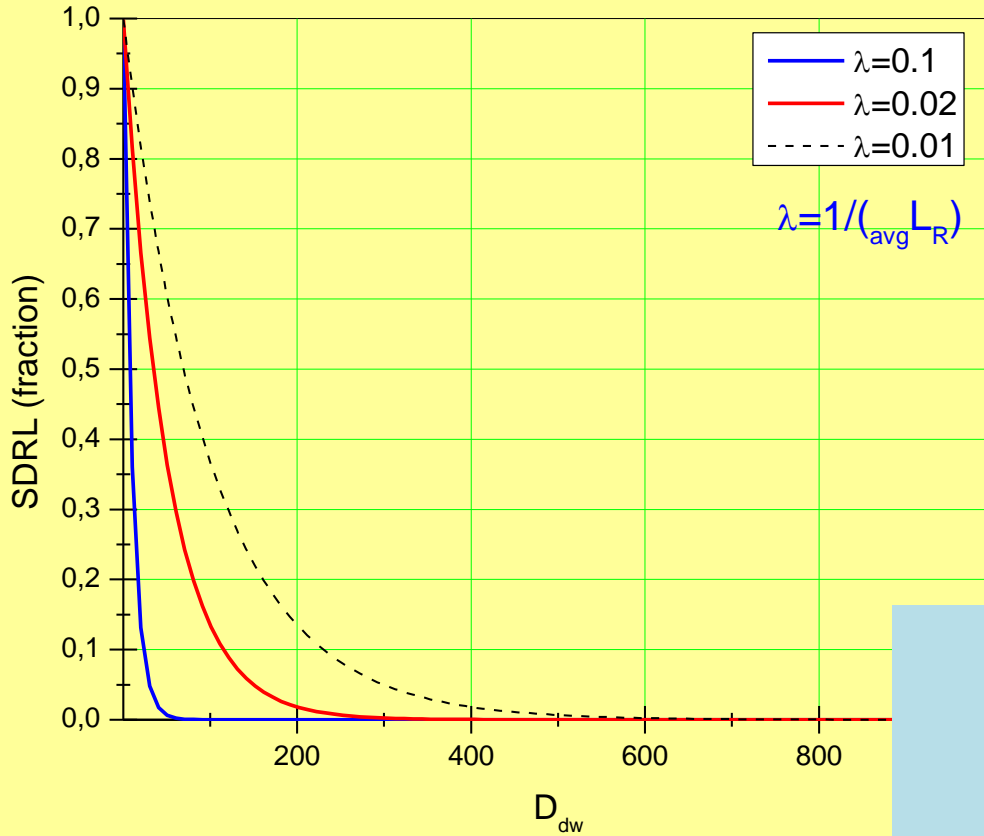
$$SDR_L = e^{-\frac{D_{dn}}{\bar{L}_R}}$$

*Parámetro de movilidad
que depende del promedio de runout observado L_R y D_{dn} local*

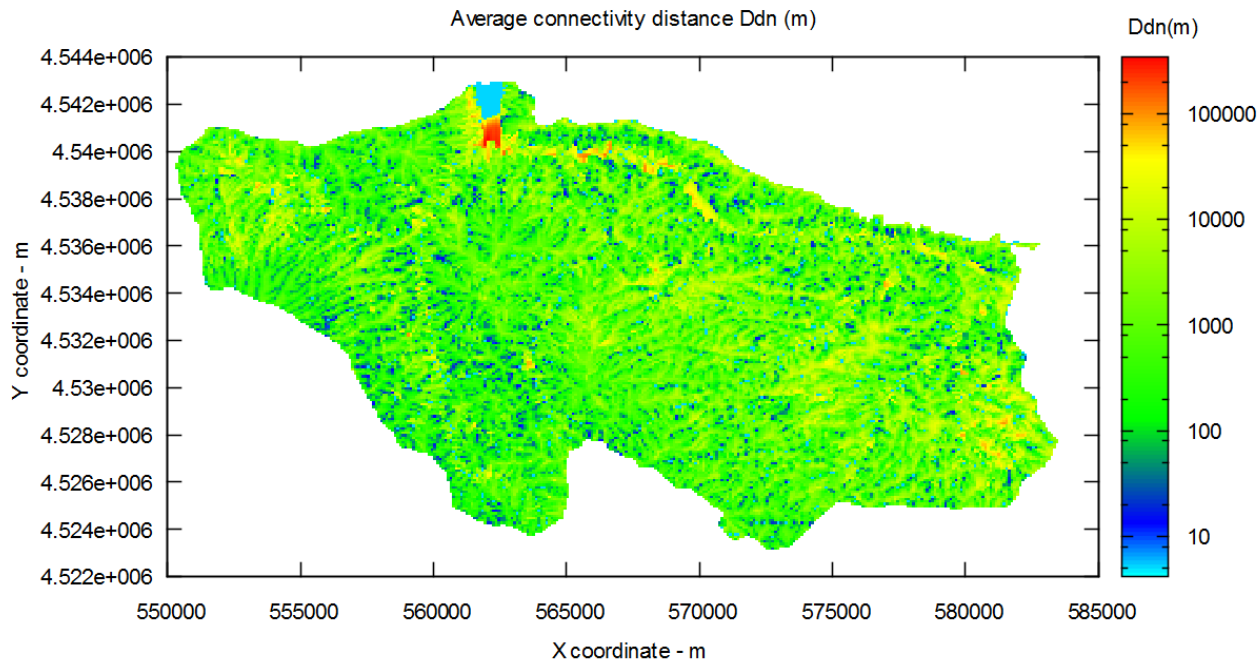


probabilistic model of landslides and debris flow delivery to stream channels

(Miller & Burnett, 2008)



Función de distribución de probabilidad exponencial depende de la longitud media de runout L_r (medida) y el sitio local D_{dn} distancia al sink max próximo (p.ej. Arroyo)

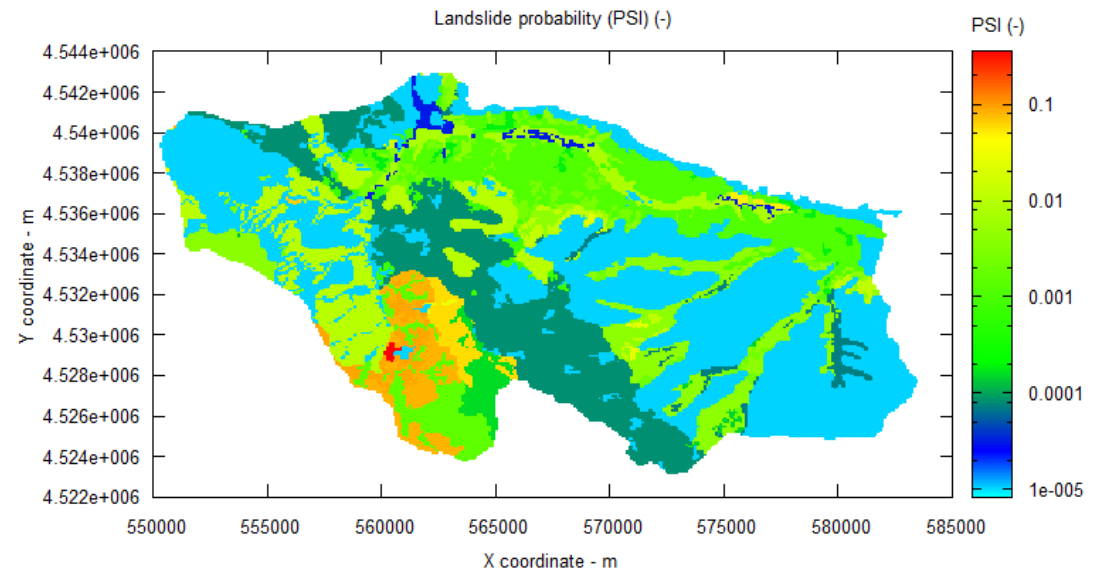


Application to Rendina watershed
Project DESIRE

PESERA-L rel. 1.2 (2013) by L. Borselli, lborselli@gmail.com
<http://www.lorenzo-borselli.eu/peseral>

Connectivity average
downslope distance

Landslide probability



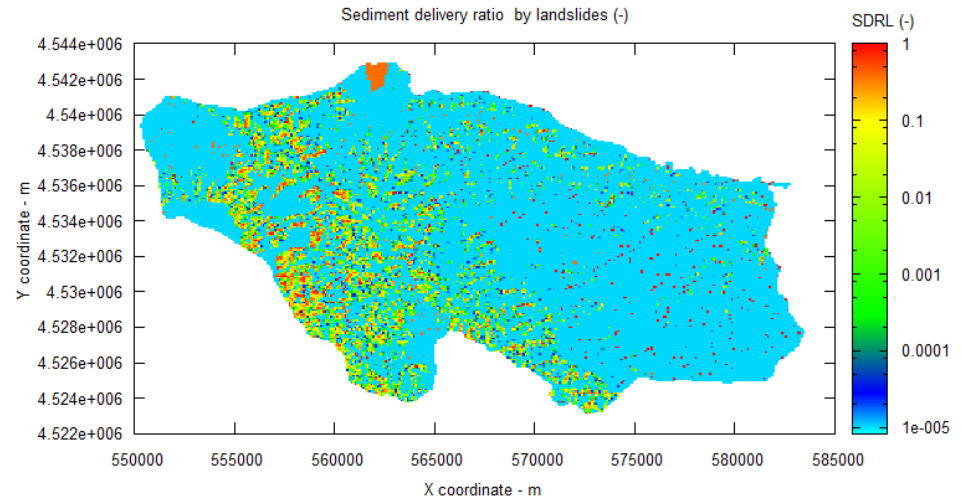
PESERA-L rel. 1.2 (2013) by L. Borselli, lborselli@gmail.com
<http://www.lorenzo-borselli.eu/peseral>

L. Borselli, "Conectividad de Flujos de Sedimentos: conceptos, aplicaciones y desafíos" – Invited seminar. 15-03-2023.

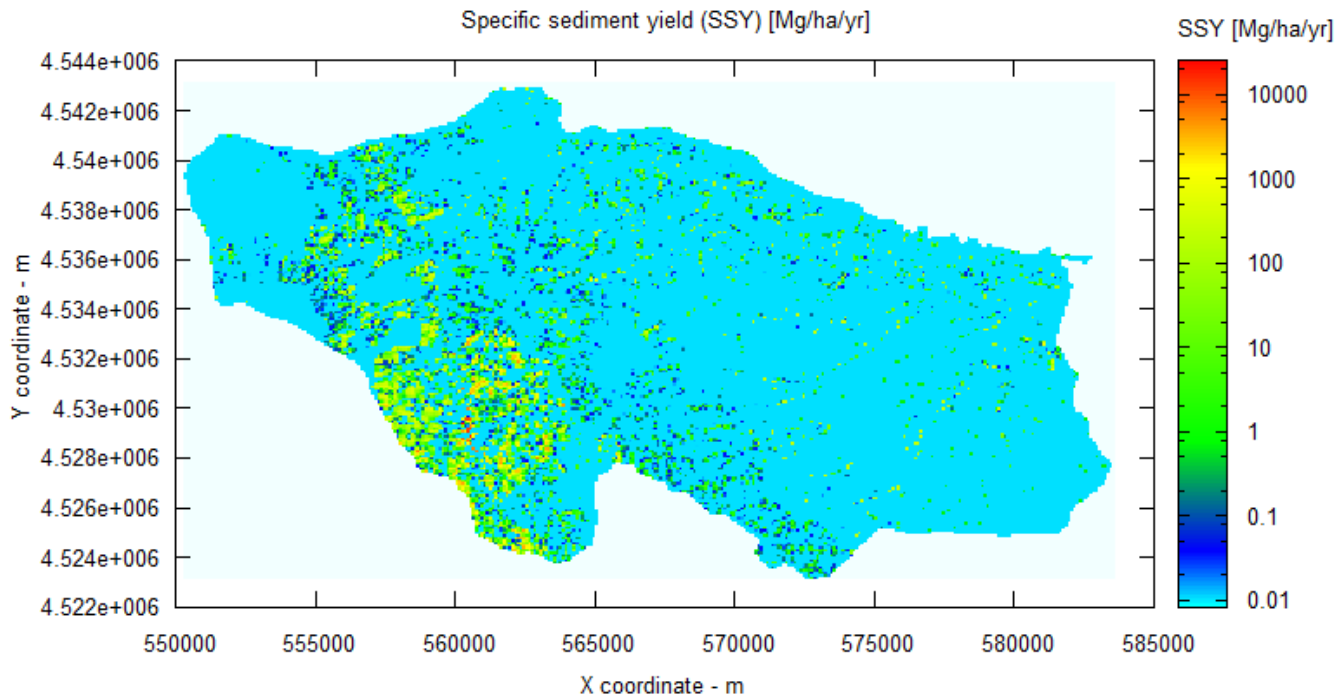
Universidade Federal de Espirito Santo (UFES), Vitória, BRASIL

SDRL

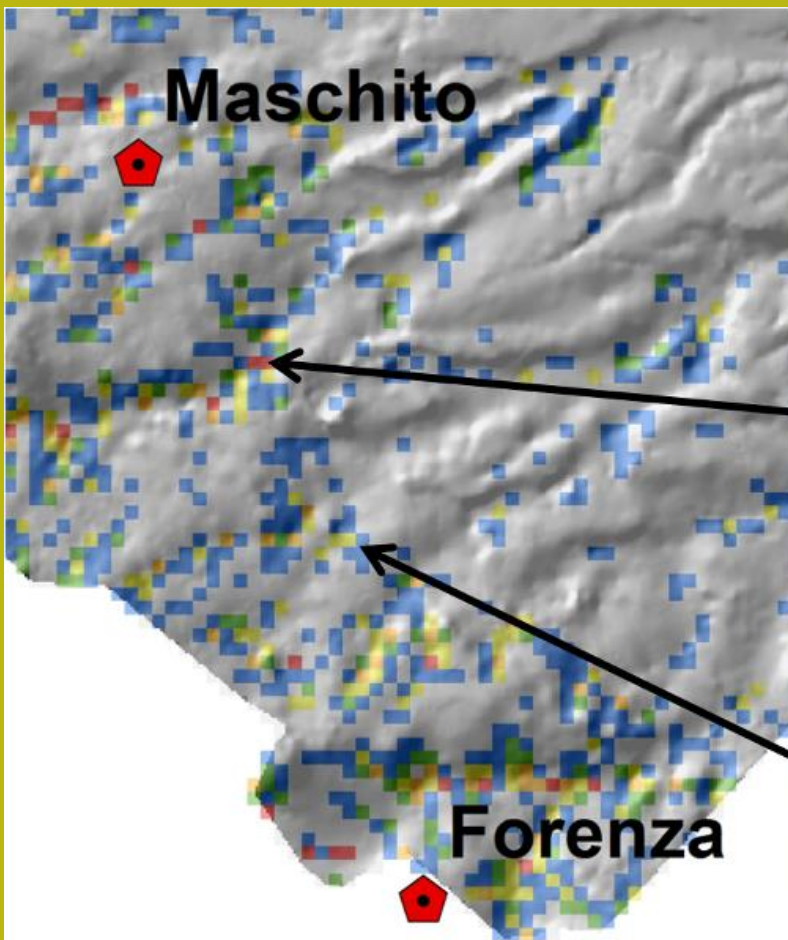
Sediment delivery ratio asociado
perdida de sedimentos por
Deslizamientos de tierra superficiales



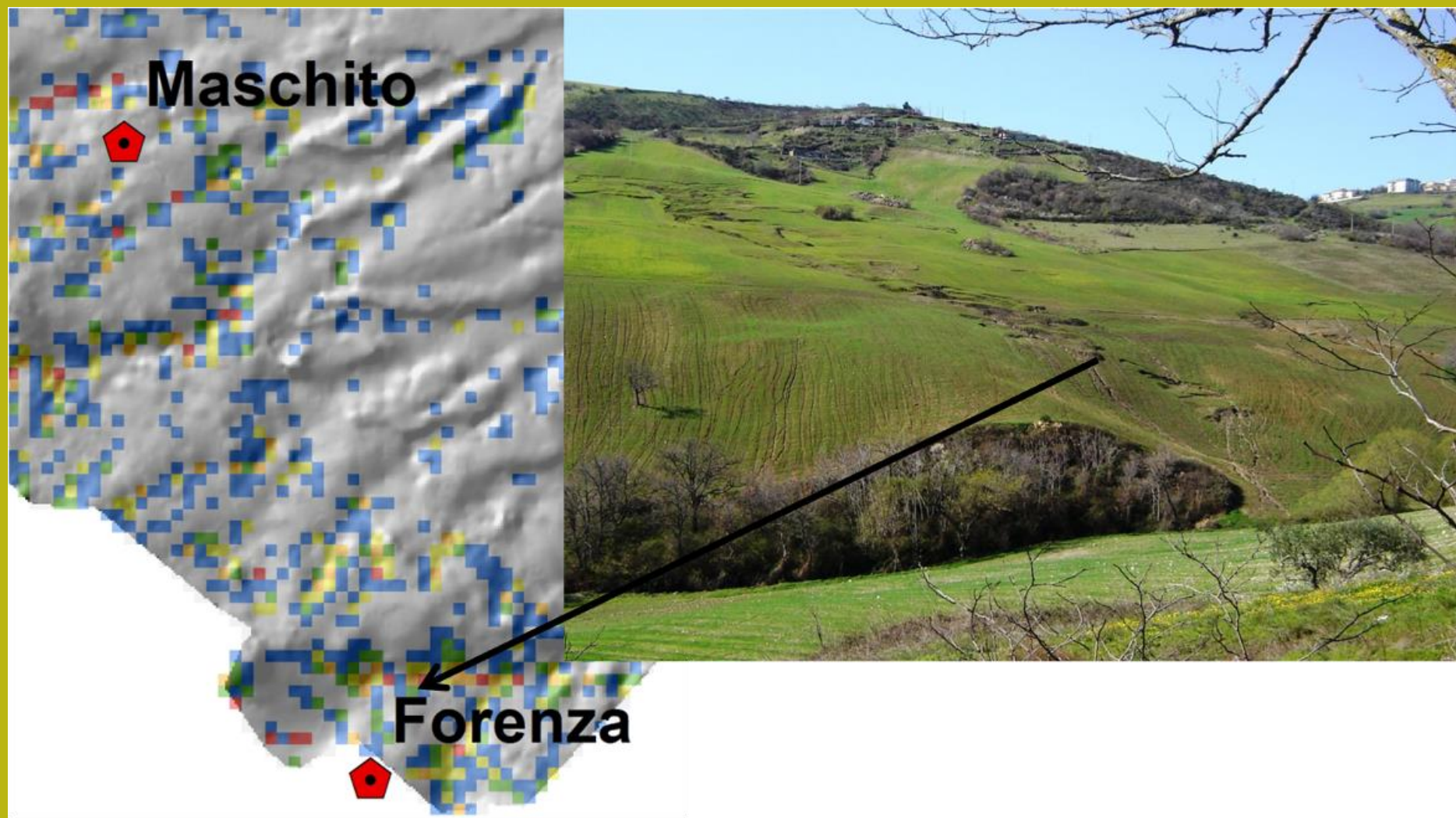
PESERA-L rel. 1.2 (2013) by L. Borselli, lborselli@gmail.com
<http://www.lorenzo-borselli.eu/peseral>



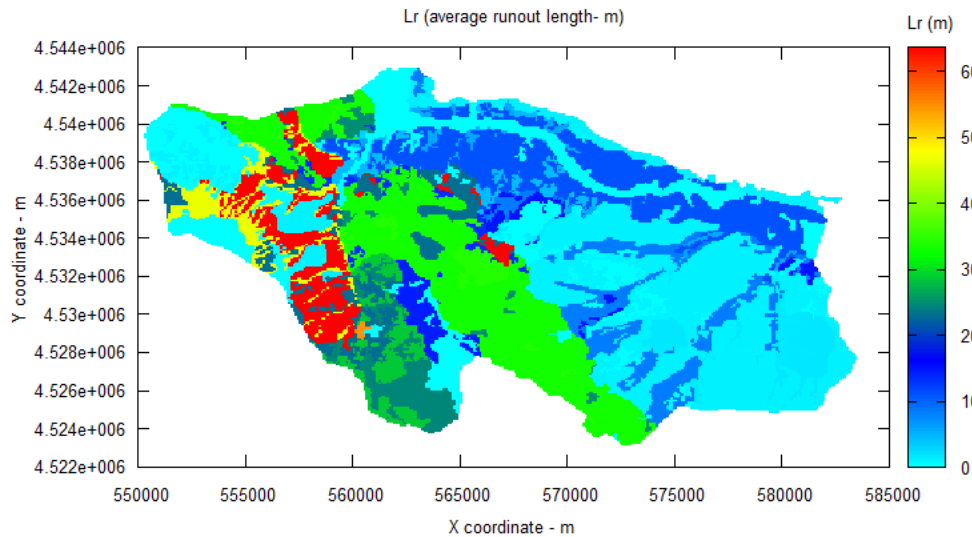
SSY por
Movimiento de tierra



SSY por
Movimiento de tierra superficial



SSY por
Movimiento de tierra superficial

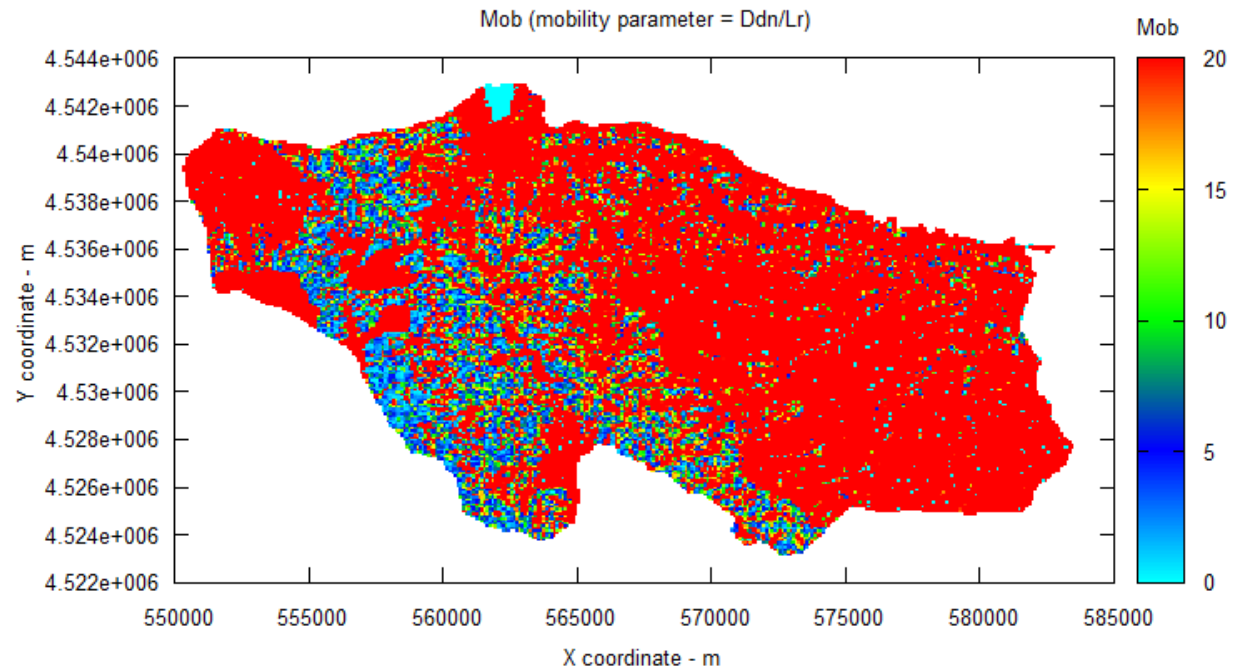


Longitud media de corrimiento de los deslizamientos de tierra poco profundos para cada LUS (*land unit system*) obtenidas de la reconocimient de campo y Fotos aéreas multitemporales

PESERA-L rel. 1.2 (2013) by L. Borselli, lborselli@gmail.com
<http://www.lorenzo-borselli.eu/peseral>

Parámetro Mobility de deslizamientos de tierra

$$\frac{\overline{D_{dn}}}{\overline{L_R}}$$



PESERA-L rel. 1.2 (2013) by L. Borselli, lborselli@gmail.com
<http://www.lorenzo-borselli.eu/peseral>

**Mass
movement
type**



**Flow slide
mudflow**

**Shallow
Translational**

**Shallow
Rotational**

creeping

$$\frac{\overline{D}_{dn}}{\overline{L}_R}$$

$$\overline{L}_R$$



0.1

1.0

2.0

5

10

**Land unit
landforms**

**Badlands
Clay shale
Deposits
High drainage
density**

**rolling topography
Medium steepness
and medium drainage
density**

**Rolling to flat
topography**



Landslide mobility parameter

And the possible dependence from processes and landforms

APPENDIX

Literature Review on IC index

Application in soil erosion,

geomorphology , hydrology

(Until August 2015)



Review

Low erosion rates measured for steep, sparsely vegetated catchments in southeast Spain

N. Sougnez*, B. van Wesemael, V. Vanacker

George Lemaitre Centre for Earth and Climate Research (TECLIM), Earth and Life Institute (ELI), Université Catholique de Louvain, B-1348 Louvain-la-Neuve, B

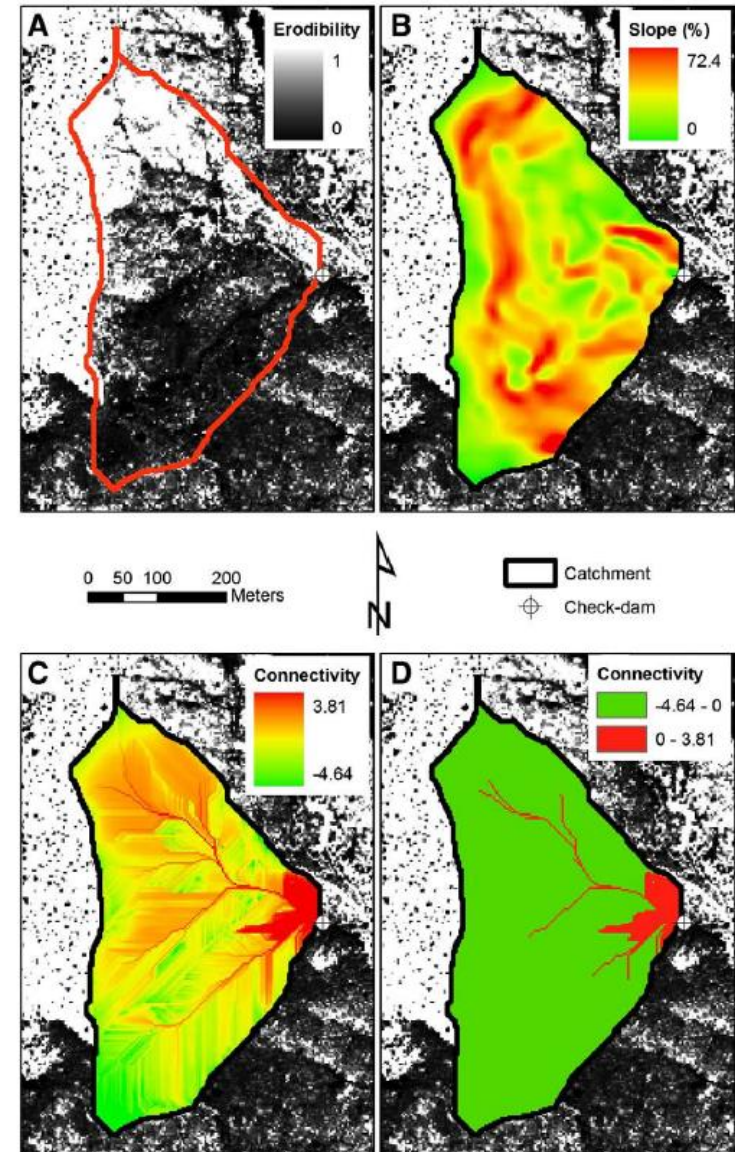
Site: Sierra de la Torrecilla and the Sierra de Carrascoy (Murcia, South Spain) – several small catchments of 1-20 ha each.

DTM: 3x3 m from contour lines, topographic Map 1:25.000

aims: to provide an accurate estimation of catchment-wide erosion rates for a semi-arid mountainous region. A variety of methods combined to measure and analyze spatial patterns in vegetation cover; and to evaluate their effect on water and sediment connectivity



N. Sougnez et al. / Catena 84 (2011) 1–11





ELSEVIER

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Geomorphology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/geomorph

Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio

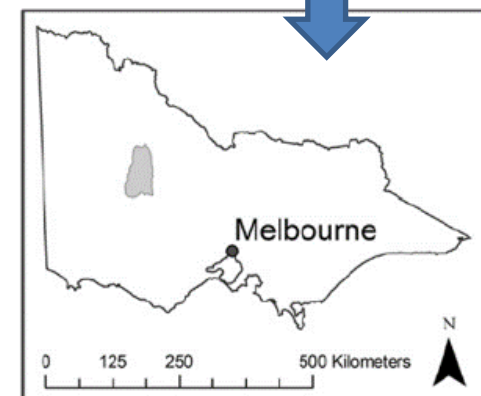
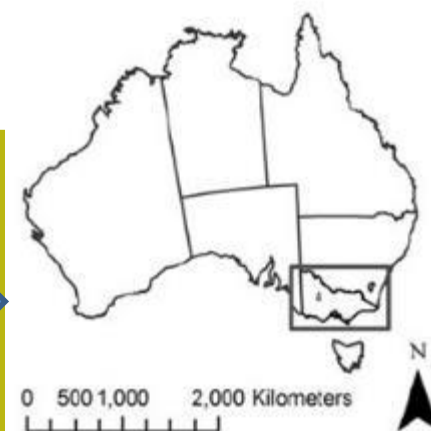
O. Vigiak ^{a,*}, L. Borselli ^b, L.T.H. Newham ^c, J. McInnes ^a, A.M. Roberts ^a

Site : Avon-Richardson catchment (Victoria, Australia) 3300 km² .. **DEM:** Raster DEM 20x20 m

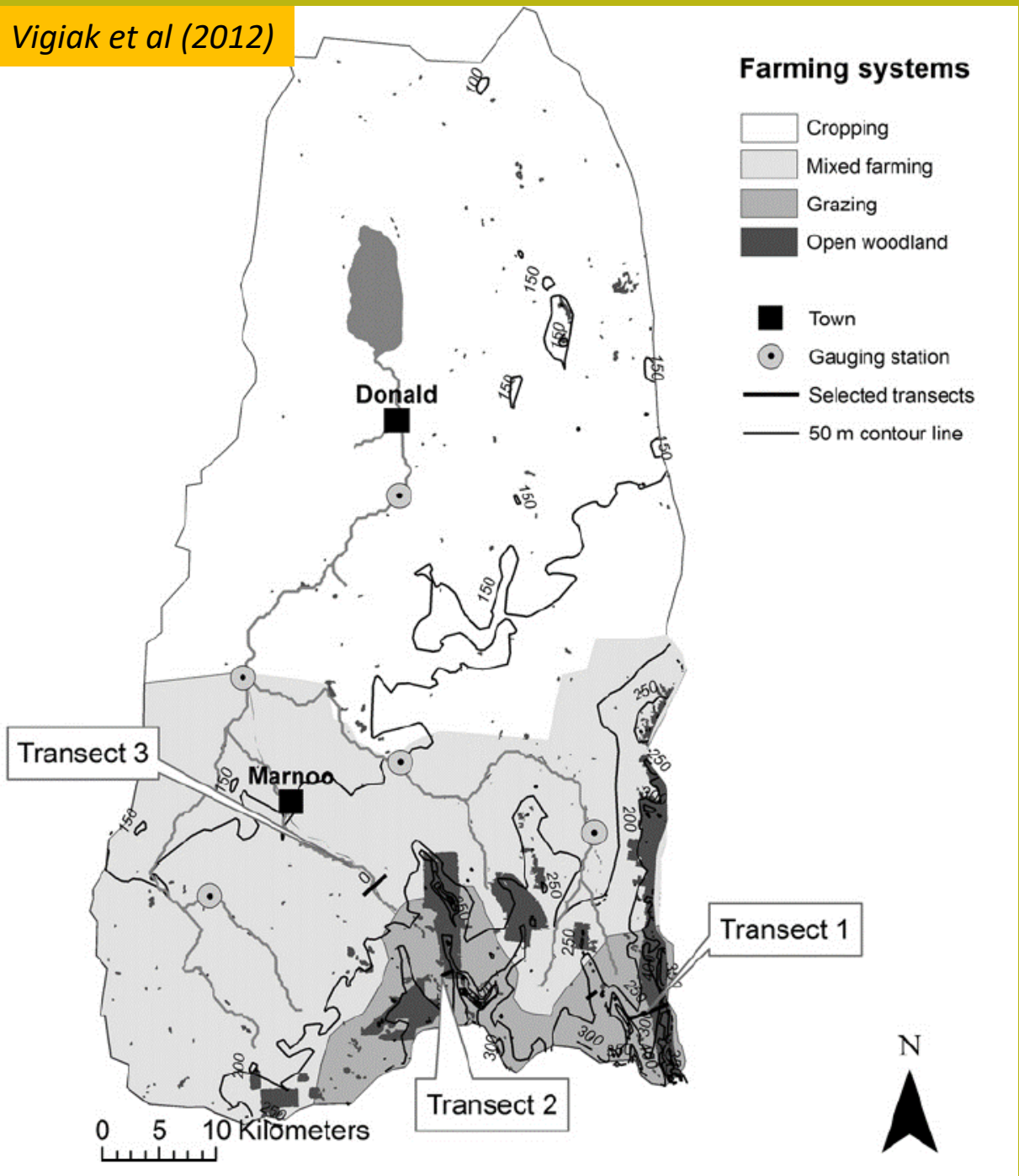
AIMS:

To calibrate and apply a point-to-catchment linked model (**HowLeaky + CatchMODS**) for daily soil loss estimation (developed by Olga Vigiak and collaborators)


4 metrics for regionalization of SDR were compared in terms of pattern distributions and efficiency in matching sediment yields at 5 monitoring stations (4 indices of connectivity in total, including IC)

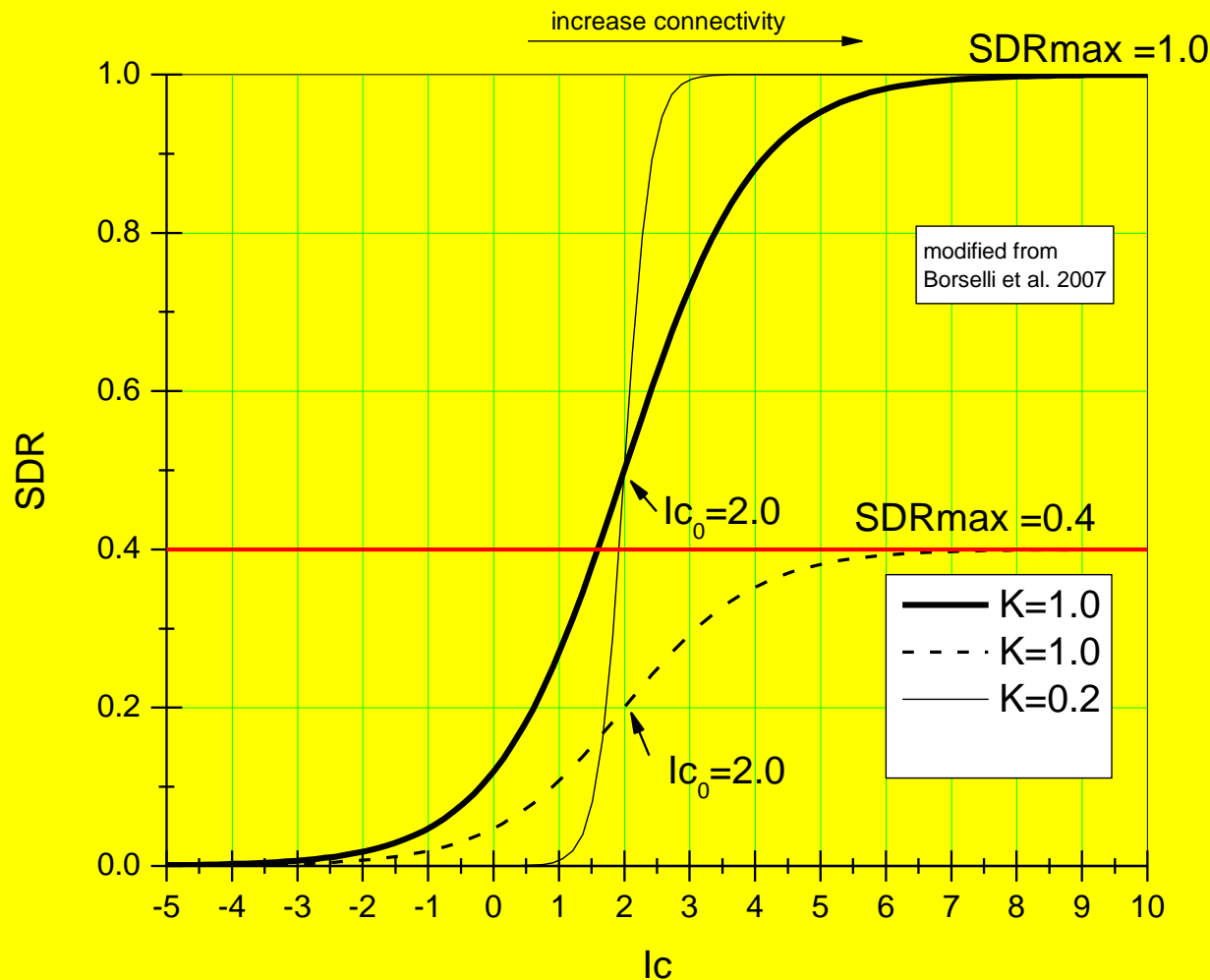


- **Avon-Richardson catchment (Victoria, Australia)**



Comparison of 4 connectivity metrics...

Metric	Main concepts
Travel Time (TT, Ferro and Minacapilli, 1995)	(time) distance to the stream
Stream Transport (ST, based on Rustomjii and Prosser, 2001)	Stream transport capacity (Upstream accumulation area and local slope)
Flux Connectivity Index (IC, Borselli et al., 2008) linked to SDR 	Potential for down routing of runoff vs potential for sinks to the stream
Sediment Residence Time (RT, Lu et al., 2006)	Travel time vs effective storm duration, sediment settling properties

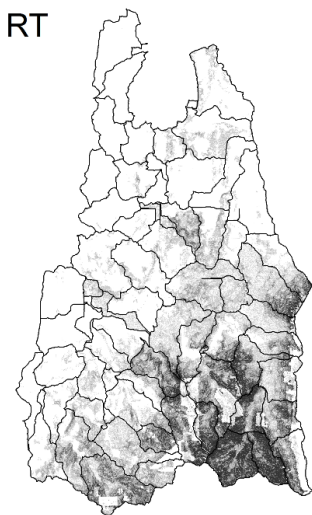
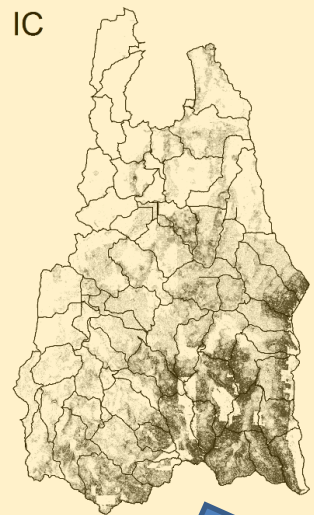
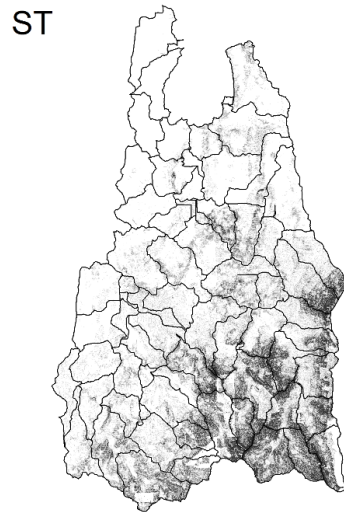
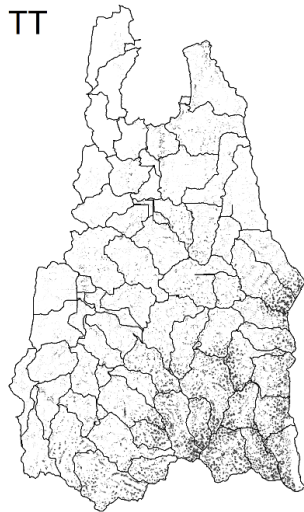
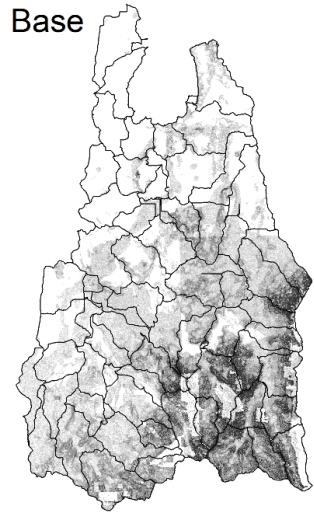


Implementation of $SDR = f(\text{conn. Index})$ For 4 types of connectivity indexes (including IC...) and optimization of parameters (Ic_0 and k) by Observed SSY at a series of Gauging stations

$$SDR = \frac{SDR_{Max}}{1 + \exp\left(\frac{Ic_0 - Ic}{k}\right)}$$

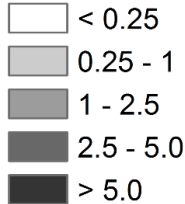
Case of SDR by IC, and optimized Ic_0 and k
 $Ic_0 = 0.5$ and $k = 2.0$

Hillslope erosion patterns (pixel)



Specific sediment yield

Mg/km²/y



N



0 5 10 20 Kilometers



Base = spatially-constant SDR

TT = travel time
(Ferro and Minacapilli 1995)

ST = sediment transport
(Rustomjii and Prosser, 2001)

IC = flux connectivity index
(Borselli et al. 2008)

RT = residence time
(Lu et al 2006)

Estimation of specific sediment yields

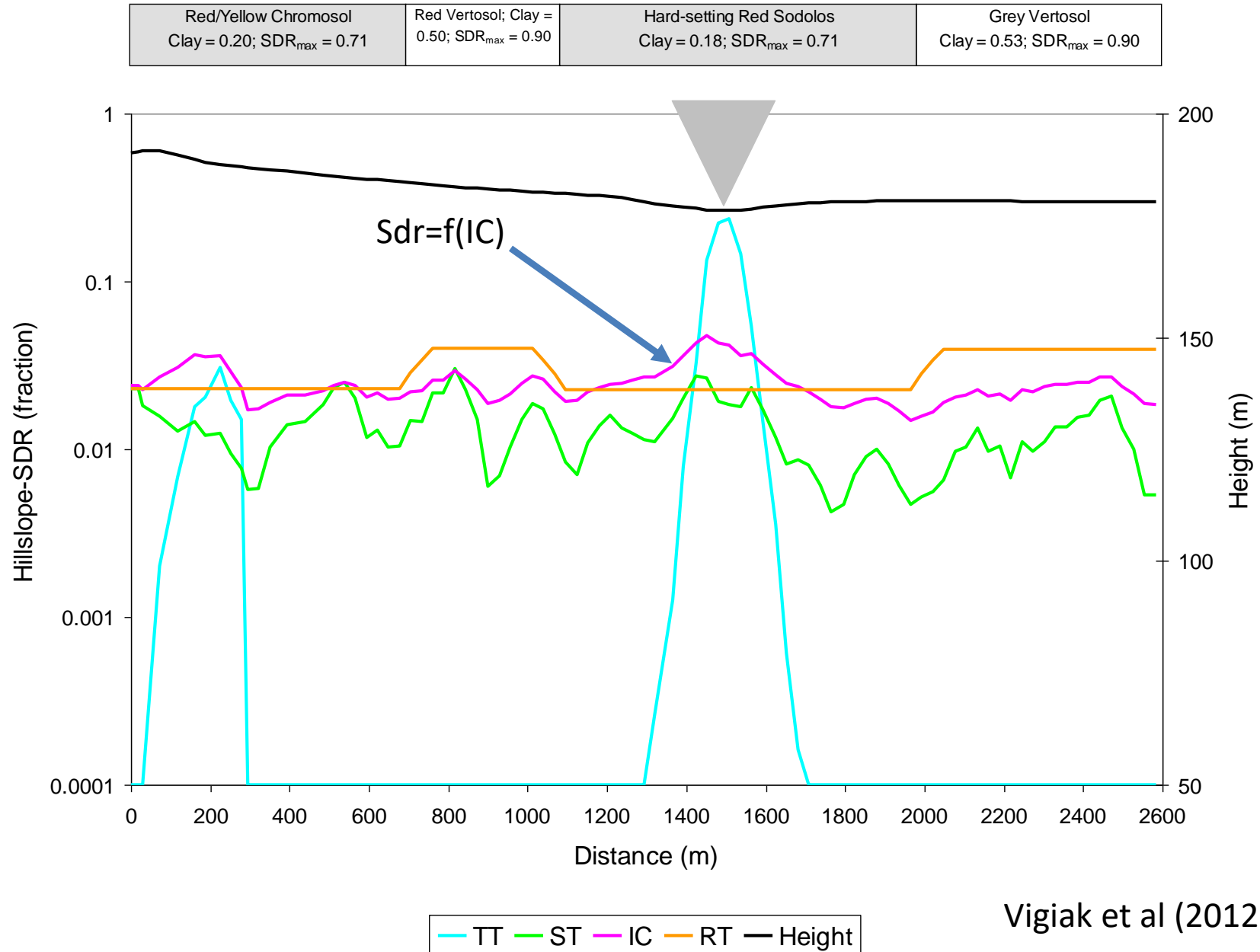
Goodness of fit of best model configurations at subcatchment scale against measurements at **monitoring gauging stations (sample size=7)**

	Nash-Sutcliffe Model Efficiency	AICc
Base	0.48	-52
TT	-0.25	-46
ST	0.55	-50
IC	0.66	-52
RT	0.61	-54

IC

By Vigiak et al (2012)

SDR pattern along a transect



Conclusions (Vigiak et al. 2012)

Regionalisation of hillslope SDR improved the estimation of specific sediment yields at subcatchment scale (less so at pixel scale)

The introduction of all metrics (except RT) did not increase data requirements

The 4 metrics differ in data requirements, dominance of landscape factors, and conceptualization of sedimentological connectivity

IC metric can be recommended in small-medium catchments (homogeneous climatic conditions)

RT metric can be recommended on large catchments (e.g. continental scale; important climatic gradient)



ELSEVIER

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Catena

journal homepage: www.elsevier.com/locate/catena

Year 2013

Predicting runoff and sediment connectivity and soil erosion by water for different land use scenarios in the Spanish Pre-Pyrenees

M. López-Vicente ^{a,*}, J. Poesen ^a, A. Navas ^b, L. Gaspar ^b

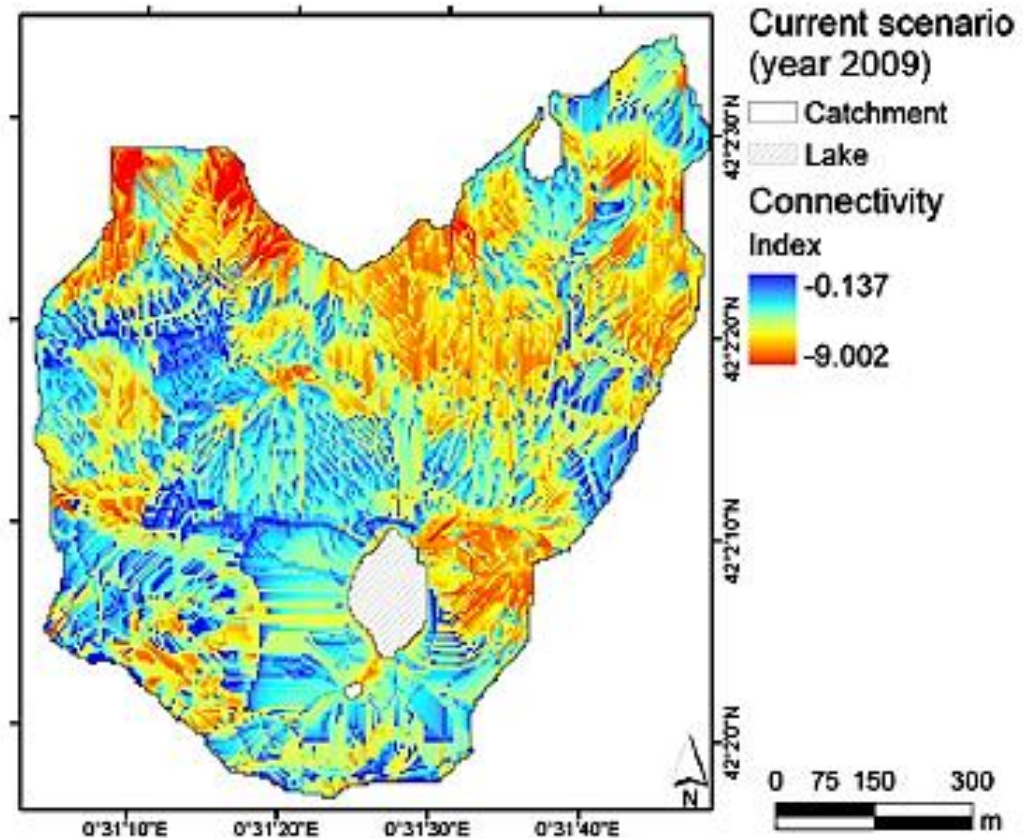
^a Dept. of Earth and Environmental Science, K.U. Leuven, GEO-INSTITUTE, Celestijnenlaan 200 E, 3001, Heverlee, Belgium

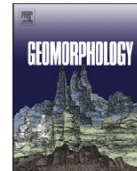
^b Dept. of Soil and Water, Experimental Station of Aula Dei, CSIC, Postal Box 202, 50080, Zaragoza, Spain

Site: Spanish Central Pre-Pyrenees.
0.74 km² catchment

DTM: not provided (probably 5x5m)

aims: the study seeks to assess the effect of agricultural terraces, irrigation channels, trails, sinks, scarps, and land abandonment on the hydrological connectivity of a small catchment and its consequences on predicting rates of soil erosion under four different scenarios of land uses.





Lithology: mica-schist, gneiss, and phyllite.

Land use: coniferous forest, mountain grassland, bare rock and debris.

Annual rainfall: around 500 mm in the valley floor, strong increase with elevation.

Gadria catchment : area 6.36 km², average slope 79.1%, range in elevation: 1394 – 2945 m.

Strimm catchment : area 8.5 km², average slope 61.8%, range in elevation 1394 – 3197 m.

Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments

Marco Cavalli ^{a,*}, Sebastiano Trevisani ^b, Francesco Comiti ^c, Lorenzo Marchi ^a

^a CNR-IRPI, National Research Council of Italy - Research Institute for Geo-Hydrological Protection, Padova, Italy

^b University IUAV of Venice, Faculty of Architecture, Venezia, Italy

^c Free University of Bozen-Bolzano, Faculty of Science and Technology, Bolzano, Italy

Sites: Gadria and Strimm catchments
(Eastern Italian Alps) - 14.4 km²

DTM: 2.5x2.5 m (high resolution)

aims: development and **adaption of IC index to model sediment pathways dealing with debris flows and channelized sediment transport**, based on the one proposed by Borselli et al. (2008) with *ad hoc* modifications aimed at better exploitation of HR-DTMs

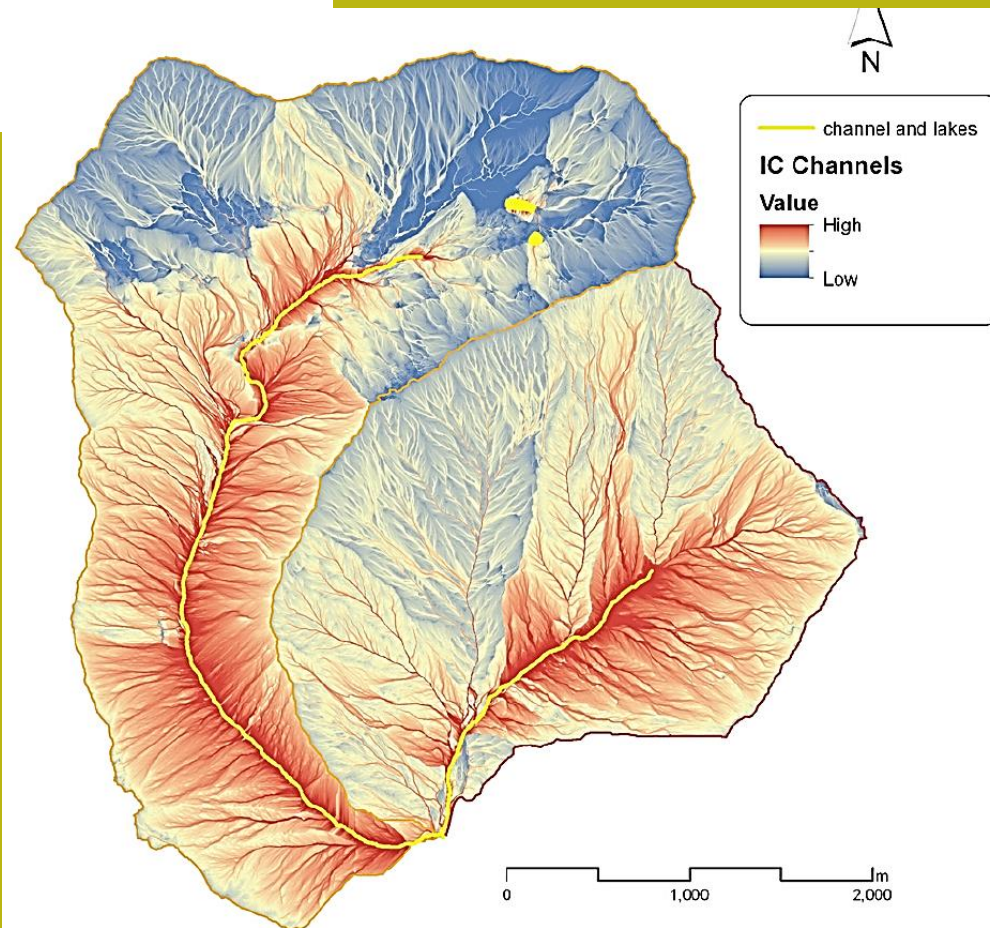
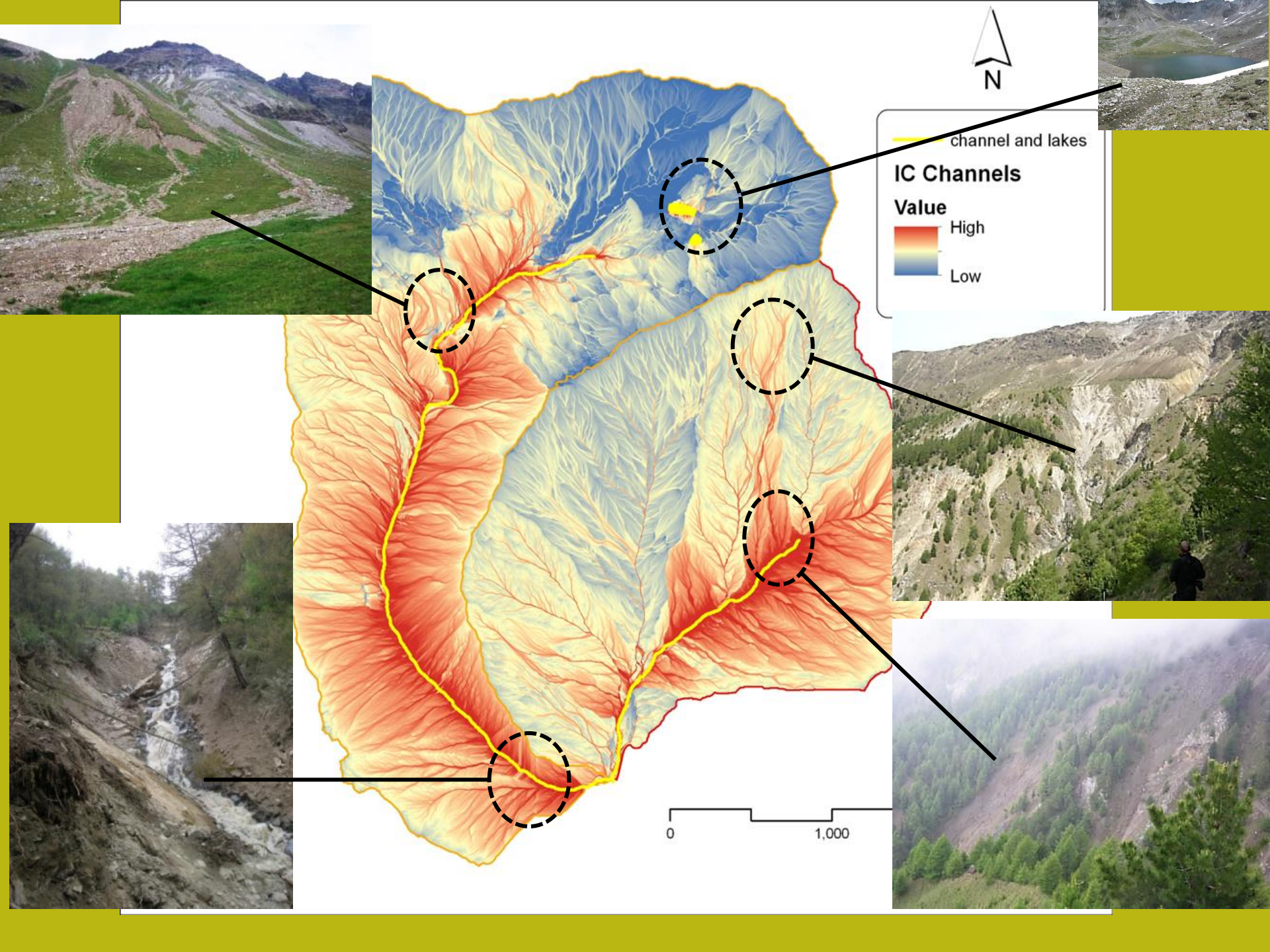


Fig. 5. IC channels map: index of connectivity IC computed with reference to main channels and lakes.



Adaptation of the IC to mountain catchments and its use with HR-DTMs (Cavalli et al., 2013)

BEWARE !!!
High resolution DTM is required....

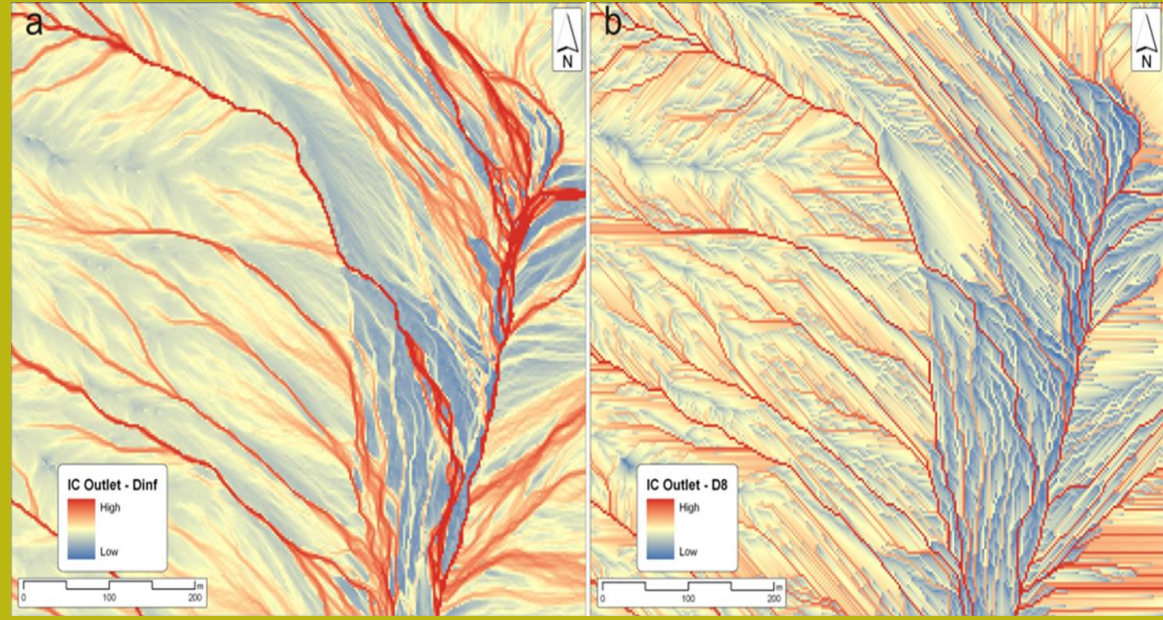
Flow direction
D ∞ method (Tarboton, 1997)

Slope S (m/m)
S > 1 -> S = 1

Weighting factor W

- Related to the impedance to water and sediment fluxes;
- C factor of USLE – RUSLE in the original model;
- Replaced by a roughness index (Cavalli et al., 2008).

High W : Low roughness and low impedance to fluxes
Low W : High roughness and high impedance to fluxes



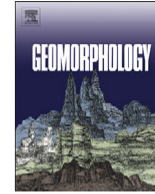
$$W = 1 - \left(\frac{RI}{MAX(RI)} \right)$$

W (m/m) ranges from 0 to 1;
minimum value set to 0.01

**Application to debris flow and Surface landslide
process .. But not only**

*standard dev of
local residual*
Cavalli (2008)

$$RI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{25} (x_i - x_m)^2}{25}}$$



Site: Büğdüz River catchment in SW Turkey (262 km²)

DTM: Detailed information not provided.

aims: to elucidate the spatial variability of sediment sources and geomorphic coupling between hillslope and floodplains

A sediment fingerprinting approach to understand the geomorphic coupling in an eastern Mediterranean mountainous river catchment

Koen D'Haen, Bert Duser, Gert Verstraeten*, Patrick Degryse, Hanne De Brue

Department of Earth and Environmental Sciences, KU Leuven, Celestijnenlaan 200E box 2409, B-3001 Leuven, Belgium
 Centre for Archaeological Science, KU Leuven, Celestijnenlaan 200E box 2408, B-3001 Leuven, Belgium



Cavalli's approach has been used by others Authors e.g.

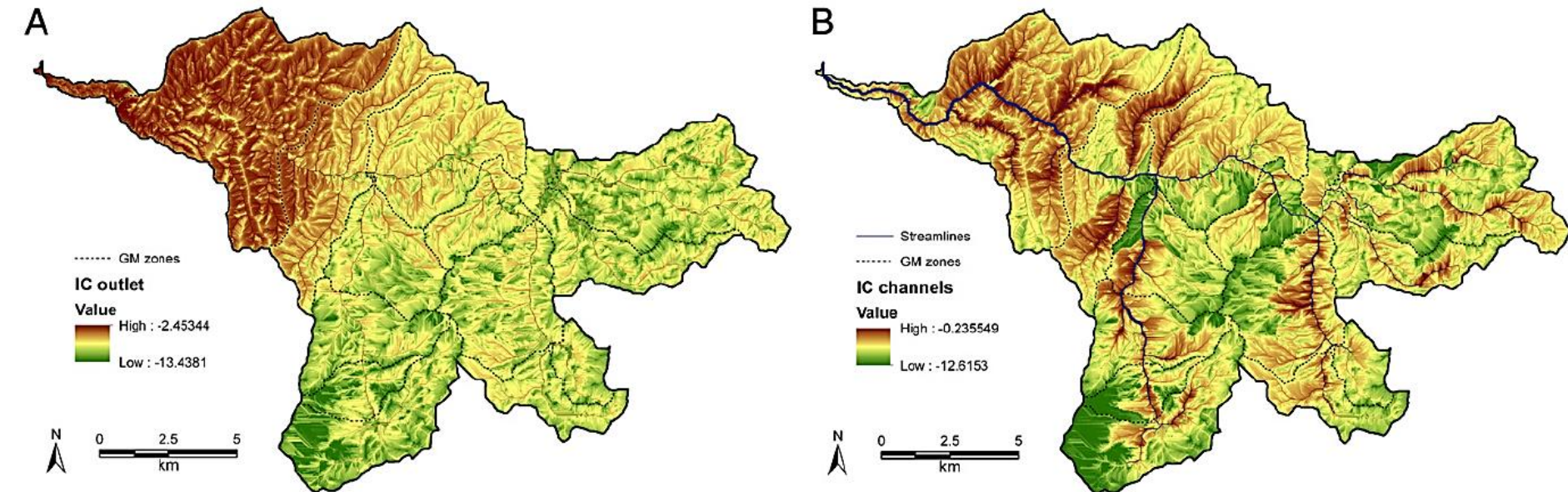


Fig. 4. (A) Connectivity index of Büğdüz catchment with respect to catchment outlet (IC outlet). (B) Connectivity index of Büğdüz catchment with respect to catchment outlet (IC channels).

Initial hydro-geomorphic development and rill network evolution in an artificial catchment

Anna Schneider,^{1†*} Horst H. Gerke,² Thomas Maurer¹ and Rossen Nenov¹

¹ Brandenburg University of Technology (BTU) – Research Centre for Landscape Development and Mining Landscapes (FZLB), Cottbus, Germany

² Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF) – Institute of Soil Landscape Research, Müncheberg, Germany

Received 2 February 2012; Revised 18 December 2012; Accepted 20 December 2012

*Correspondence to: Anna Schneider, Brandenburg University of Technology (BTU) – Research Centre for Landscape Development and Mining Landscapes (FZLB), Konrad-Wachsmann-Allee 6, Cottbus 03046, Germany. E-mail: schneida@tu-cottbus.de

†Current affiliation: 2 Brandenburg University of Technology (BTU) - Chair of Geopedology and Landscape Development, Cottbus, Germany



Site: open-cast lignite mine Cottbus,
150 km south of Berlin (Germany)
Approx 0.04 km²

DTM: 1x1 m survey in several phases
of erosion evolution (during 5 years)

aims: to characterize and to identify
characteristic phases of rill network
development in the artificially-
created catchment as an example for
initial hydrogeomorphic
landform development in temperate
climate

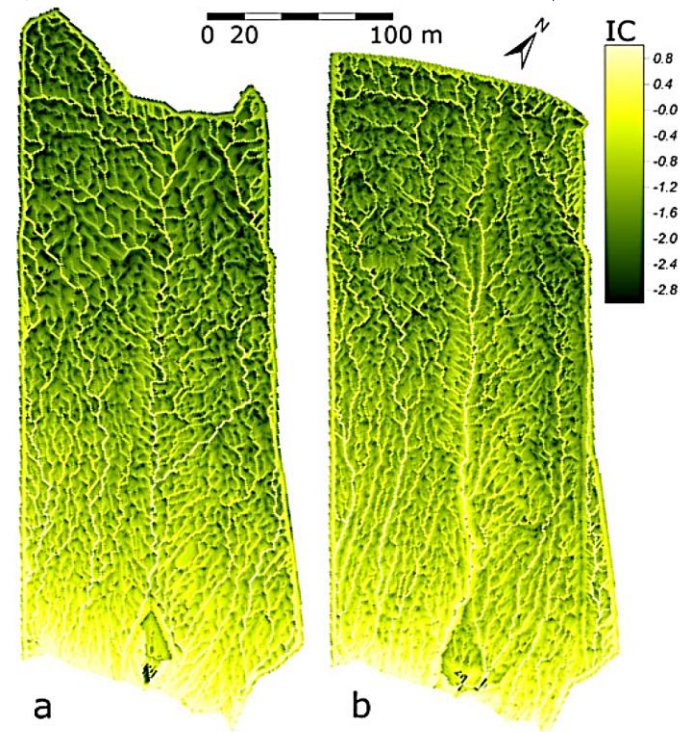


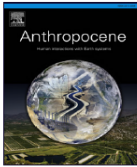
Figure 13. Spatial distribution of DEM cell values of the IC in the erosion-dominated area (as defined in Figure 3b), based on DEMs for (a) November 2005, and (b) March 2010. Grid cell size is 1 m by 1 m. Modification of the surface catchment area in autumn 2009 results in lower IC values in b).



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Anthropocene

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ancene

Site: Fukushima Prefecture
(Japan) Approx 600 km²

DTM: 10x10 m

aims: In post-accidental context, the paper aims to provide alternative methods to estimate the early dispersion of contaminated sediment during the 20 months that followed the nuclear accident in the mountainous catchments exposed to a succession of erosive rainfall, snowfall and snowmelt events.

Tracking the early dispersion of contaminated sediment along rivers draining the Fukushima radioactive pollution plume

Caroline Chartin^a, Olivier Evrard^{a,*}, Yuichi Onda^{**b}, Jeremy Patin^b, Irène Lefèvre^a, Catherine Ottlé^a, Sophie Ayrault^a, Hugo Lepage^a, Philippe Bonté^a

^aLaboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE/IPSL), Unité Mixte de Recherche 8212 (CEA, CNRS, UVSQ), 91198 Gif-sur-Yvette Cedex, France

^bCenter for Research in Isotopes and Environmental Dynamics (CRIED), University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan

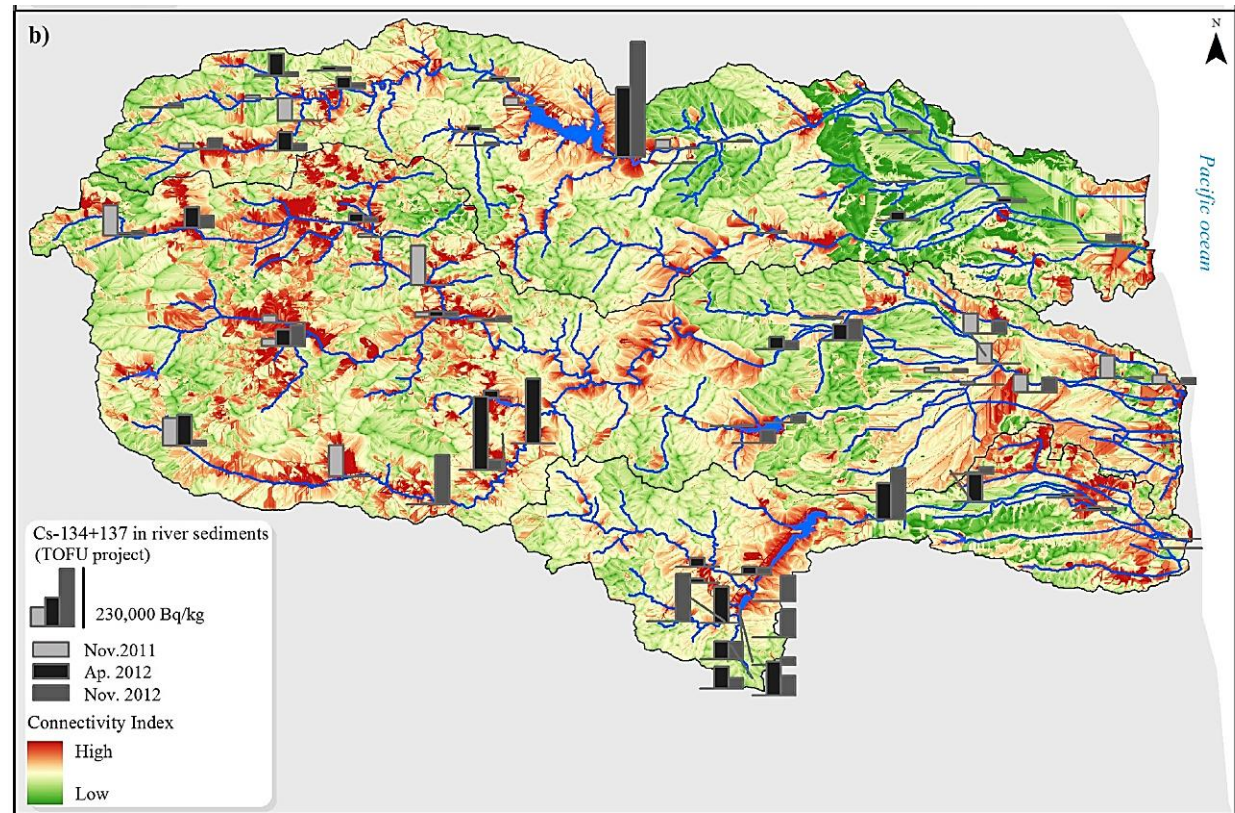


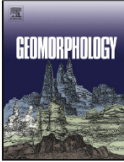
Fig. 6. Dominant land uses in the coastal catchments derived from analysis of satellite images (a) and associated hillslope-to-sinks hydro-sedimentary connectivity index compared to river sediment radiocaesium activities (b). ((M) Mano catchment); (N) Nitta catchment; (O) Ota catchment).

Site: in Swiss National Park (SNP), Engadine region in Switzerland - study area 6.4km²

DTM: LiDAR-based 2x2m

aims: 1) to evaluate the morphometric GIS modelling results against the field based geomorphic map, 2) to decipher key controls on the present-day sediment flux in a small, de-glaciated mountain valley, and 3) to address the question of whether traditional geomorphic field maps have become indispensable today when studying mountain cascading systems.

Cavalli et al (2013) variant for W factor

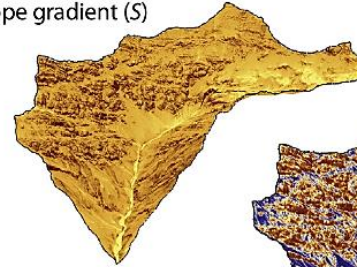


Sediment connectivity in the high-alpine valley of Val Müschauns, Swiss National Park – linking geomorphic field mapping with geomorphometric modelling

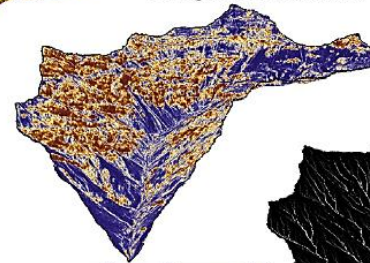
Karoline Messenzehl*, Thomas Hoffmann, Richard Dikau

Department of Geography, University of Bonn, Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn, Germany

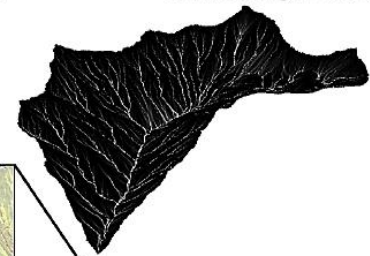
Slope gradient (S)



Roughness index (RI)



Contributing area (A)



Upslope component

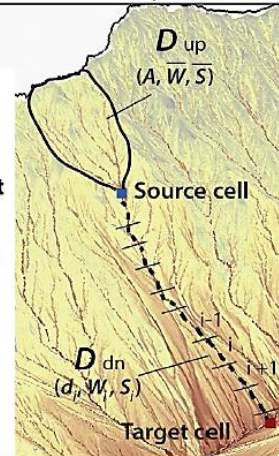
$$D_{up} = \overline{W} \overline{S} \sqrt{A}$$

Downslope component

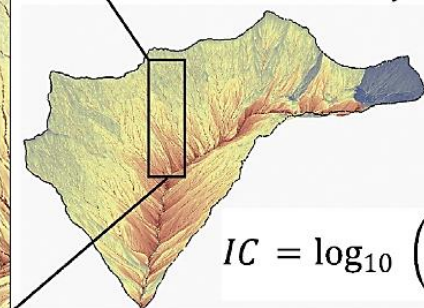
$$D_{dn} = \sum_i \frac{d_i}{W_i S_i}$$

Weighting factor W

$$W = 1 - \left(\frac{RI}{RI_{max}} \right)$$



Index of connectivity (IC)



$$IC = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right)$$

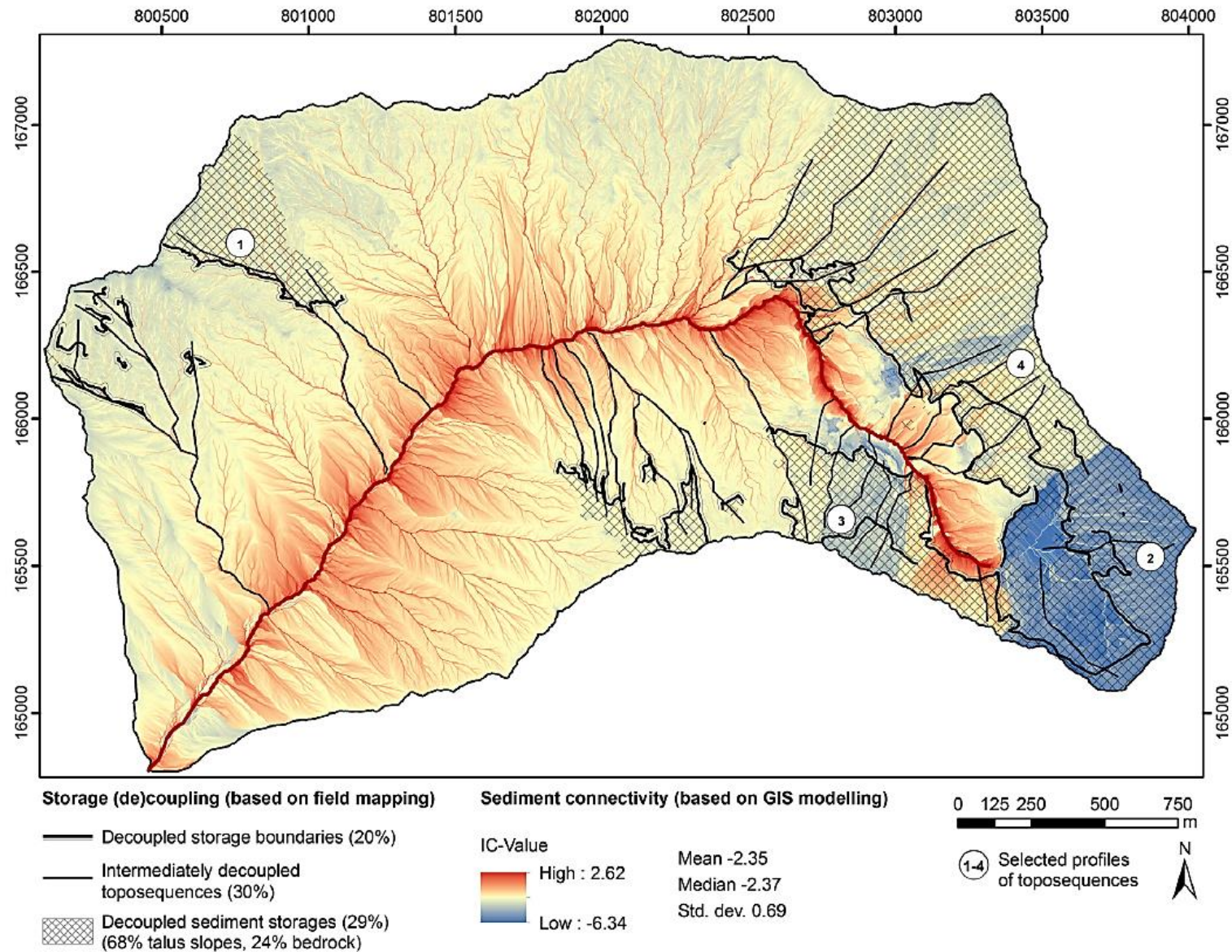


Fig. 9. Storage (de)coupling, according to the field-based analysis of toposequences, and index of connectivity (IC), calculated by the GIS modelling approach (2-m DTM, © SwissTopo, in 2013). Thick double lines show storage boundaries qualitatively defined as decoupled due to lacking sediment transfer between adjacent landforms caused by inactivity of geomorphic processes or the occurrence of buffers. As a consequence, around 29% of the basin surface has no connectivity to the fluvial system (crosshatched area). Among them, 68% of the talus slopes and 24% of the bedrock-coverage are affected by this disconnection.

IC related to different geomorphological units and processes depending on sediment storage types

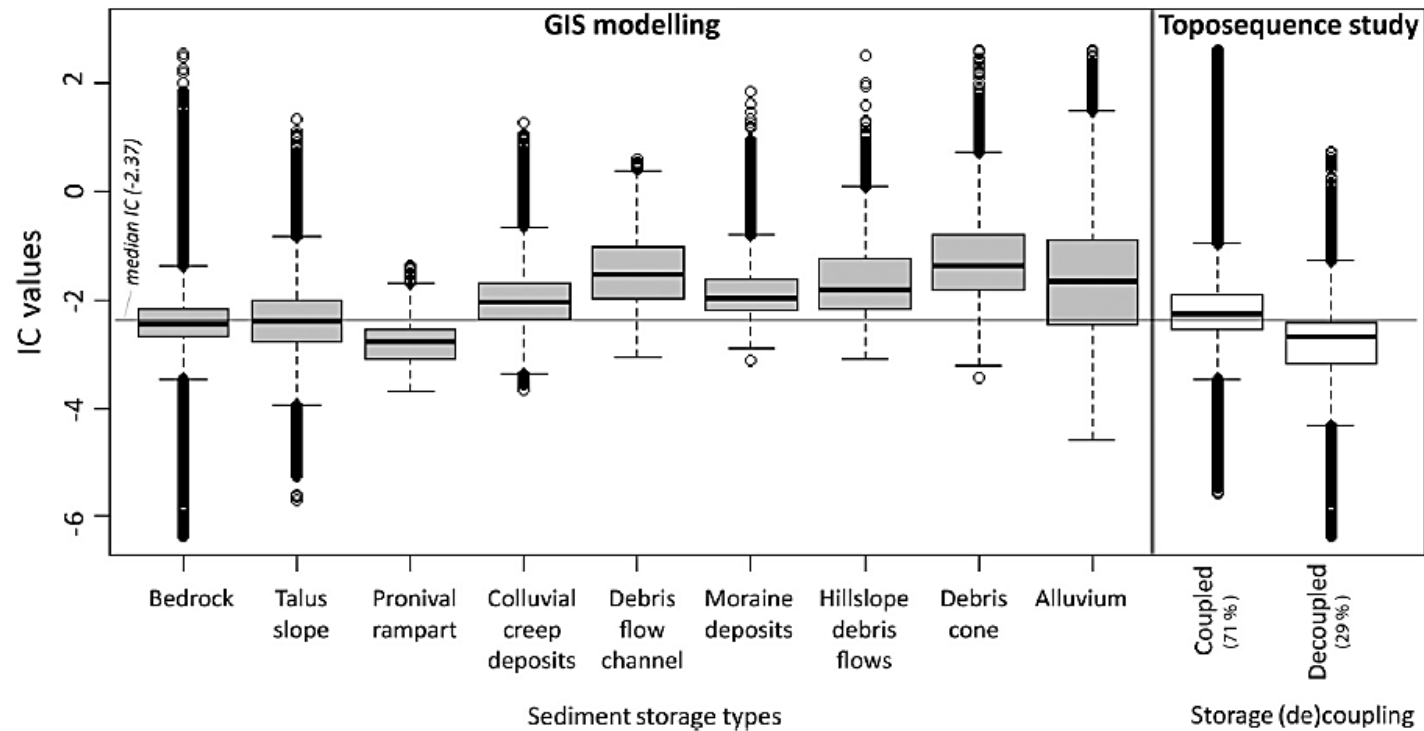


Fig. 10. IC values of sediment storage types in Val Mütschans and comparison between the modelling results (grey boxplots, left-hand side) and the field-based mapping results of the toposequence study (white boxplots right-hand side). Around 35% of the basin surface, which has been qualitatively classified as being decoupled, is related to IC values higher than the basin's median IC.

Site: Kangaroo River
State forest, northern
NSW, Australia
21.7 km².

DTM:10x10 m

aims: to apply a
**distributed hillslope
erosion-SDR
approach** in raster
data layers to assess
the impacts of
vegetation removal
(single tree selection
logging) on the
**spatial distribution
of
estimated sediment
yields**

Distributed empirical algorithms to estimate catchment scale sediment connectivity and yield in a subtropical region

Reza Jamshidi,^{1*} Deirdre Dragovich¹ and Ashley A. Webb^{2,3}

¹ School of Geosciences F09, The University of Sydney, NSW, 2006, Australia

² Forestry Corporation of NSW, PO Box 4019, Coffs Harbour Jetty, NSW, 2450, Australia

³ Australian Centre for Agriculture and Law, University of New England, NSW, 2351, Australia

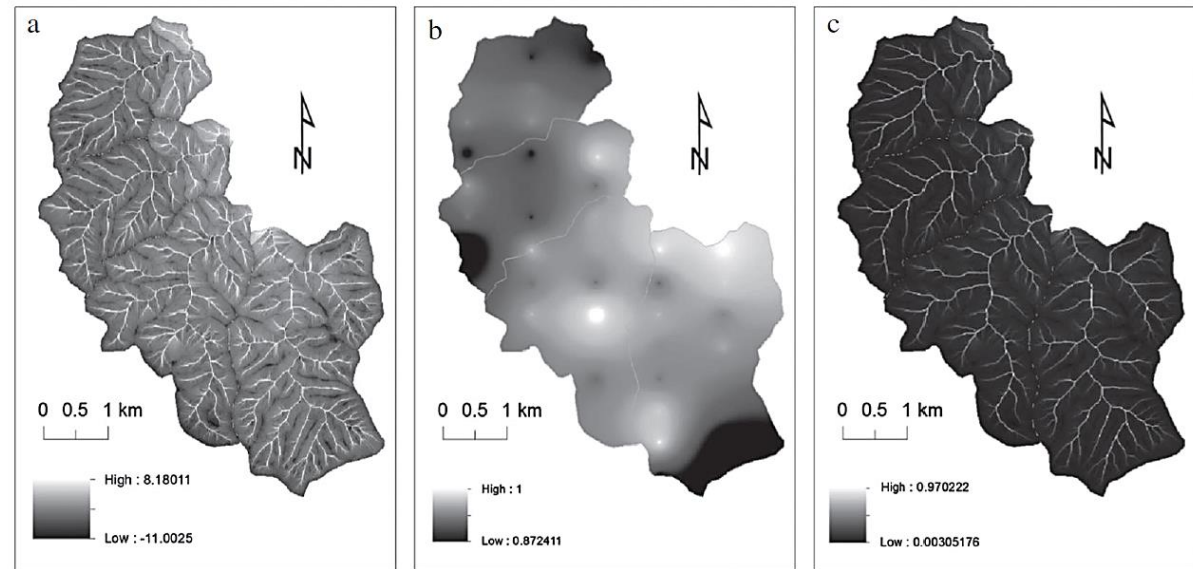


Figure 2. The predicted maps of (a) index of connectivity IC, (b) the maximum theoretical SDR coefficient SDR_{max} and (c) SDR variability within the study area. The IC and SDR maps in this figure were selected for spatial variability in 2007. Catchment boundaries are depicted in Figure 1

$$SDR = \frac{SDR_{Max}}{1 + \exp\left(\frac{Ic_0 - Ic}{k}\right)}$$

Use of SDR by IC, and optimized IC_0
and k , by Vigiak et al. 2012
 $IC_0=0.5$ and $k=2.0$

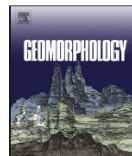


ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Geomorphology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/geomorph



Connectivity structure of the Kosi megafan and role of rail-road transport network

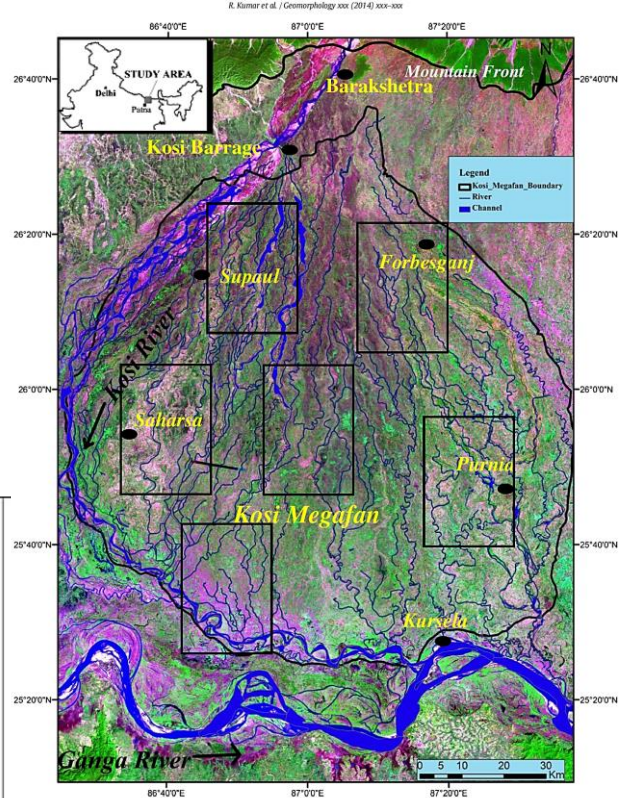
Rakesh Kumar ^a, Vikrant Jain ^{a,b,*}, G. Prasad Babu ^c, Rajiv Sinha ^d

^a Department of Geology, Centre of Advanced Studies, University of Delhi, Delhi 110007, India

^b Discipline of Earth Sciences, Indian Institute of Technology Gandhinagar, Ahmedabad, Gujarat 382424, India

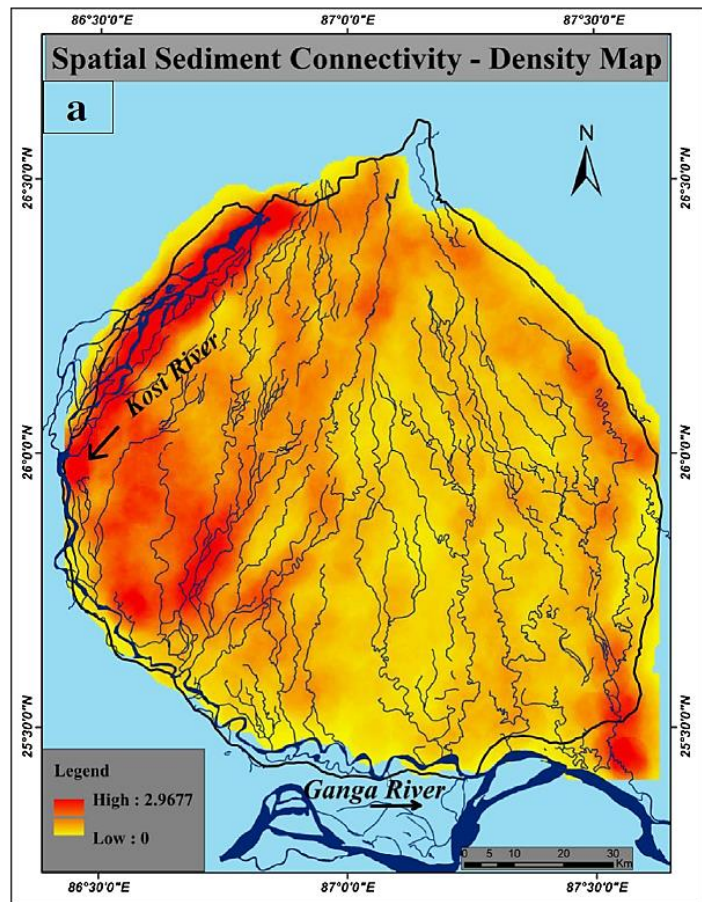
^c UNDP, Disaster Management Unit, 55 Lodi Estate, New Delhi 110003, India

^d Department of Earth Sciences, Indian Institute of Technology Kanpur, Kanpur 208 011



1. Study area showing the Kosi River in the North Bihar, India. The megafan surface has numerous small paleochannels most of which are activated during the monsoon period. The river debouches into the plains at Barakshetra and joins the Ganga River system at Kursela. Windows for field-based classification of the intersection points have been marked.

(continued ...) of geomorphic connectivity. The quantitatively defined and the 'anthropogenic' impacts on the connectivity structure due to railroad transport network were also estimated.



Site: Kosi megafan, India

Himalayan region.

approx. 7000 km²

DTM: SRTM DEM data of February 2002.

<http://www.cgiar-csi.org> (resolution not provided)

Aims: The paper presents the **two-dimensional dis(connectivity) structure** of the Kosi megafan, India, including the lateral and longitudinal dimensions (continued ...)

Assessment of sediment connectivity from vegetation cover and topography using remotely sensed data in a dryland catchment in the Spanish Pyrenees

Saskia Foerster · Charlotte Wilczok · Arlena Brosinsky · Karl Segl

Site: Isabena River. Spanish Pyrenees approx. 70km²
DTM: Lidar 4x4 m
Aims: approach to exploit high resolution airborne data for overland flow sediment connectivity estimation. investigate the potential of hyperspectral and LiDAR data for assessing sediment connectivity at the hillslope, subcatchment, catchment scale, using the index of connectivity. The change of IC Values in wet and dry season Depends from vegetation cover...

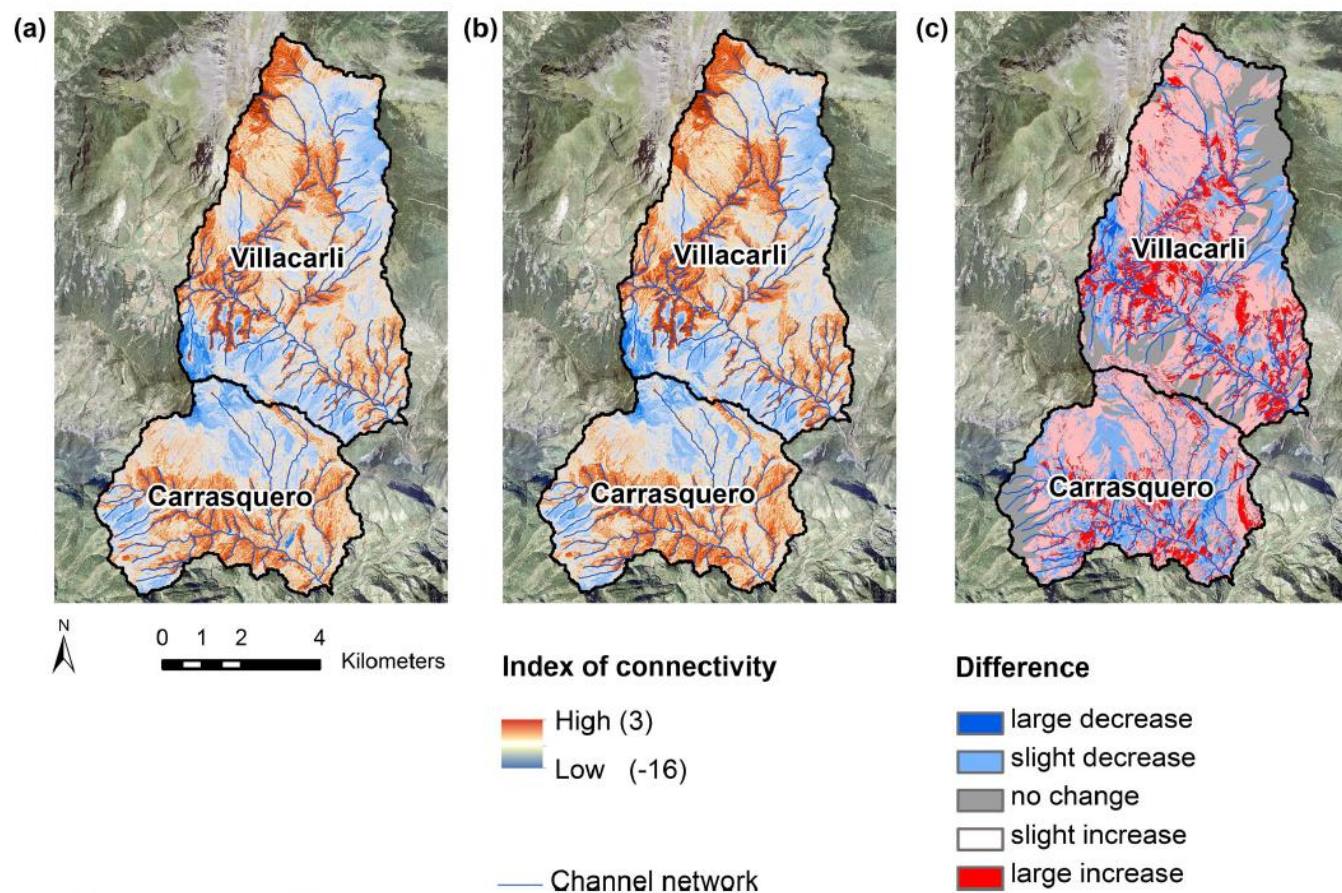
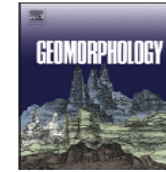


Fig. 10 Connectivity map for the entire study area for April (a) and August (b) and the change from April to August (c)



Process type identification in torrential catchments in the eastern Alps

M. Heiser ^a, C. Scheidl ^{a,*}, J. Eisl ^a, B. Spangl ^b, J. Hübl ^a

^a Institute of Mountain Risk Engineering, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna A-1190, Austria

^b Institute of Applied Statistics and Computing, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna A-1190, Austria

Site: Austrian watersheds
in alpine areas

DTM: 5x5 m

Aims: A database of
torrential events in Austria
(Hübl et al., 2008c) is used
to sample prototypical
catchments for all defined
process types (WFL,
FST, and DBF). morfometric
parameters and
classification process
Bayesian type..

Identification of debris flow
prone dominated by debris
flow processes DBF.

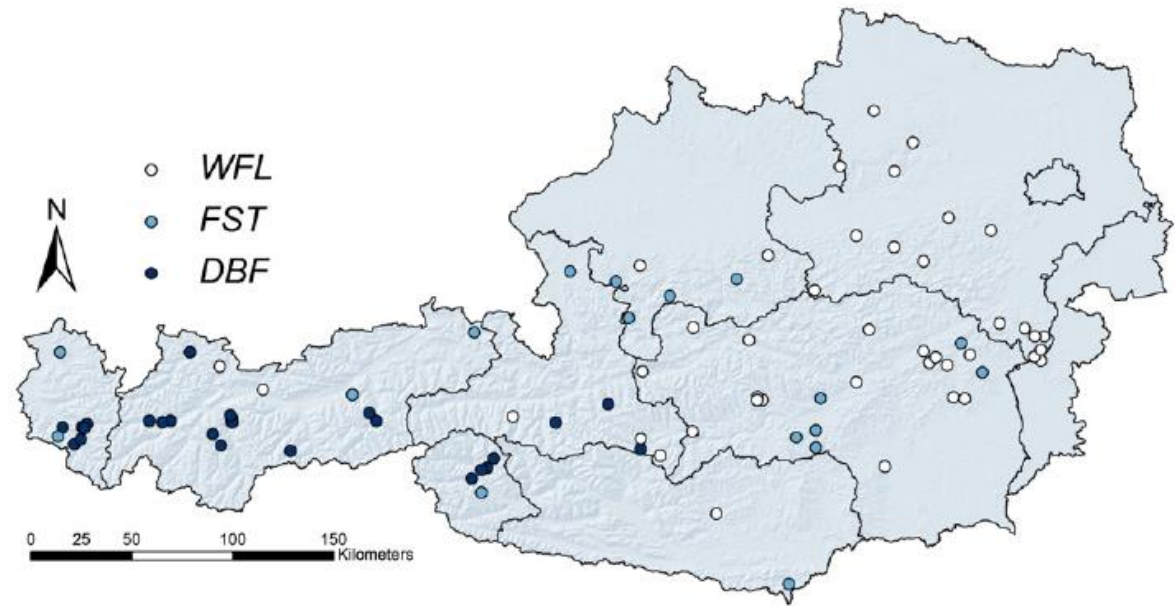
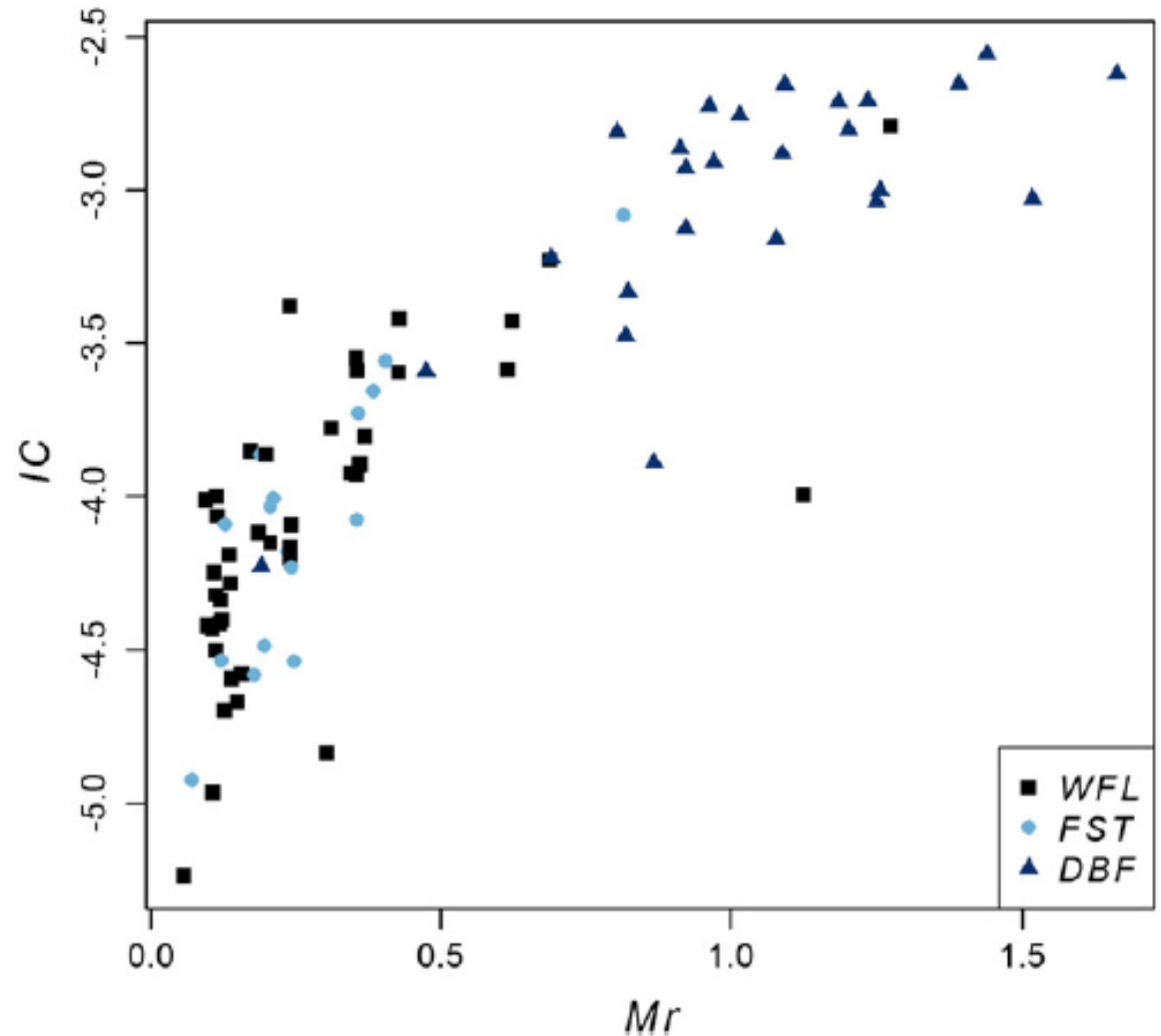


Fig. 2. Spatial overview of the assigned torrential catchments to a defined process type.

Strong relationships between IC index (based on Cavalli 2013 iC calculation variant) and the Melton ratio (Mr) (Melton, 1957) also used to Classify dominant flow process In a watershed. Sediment connectivity was considered by analysing the IC value, which shows a strong correlation to the Melton number (Mr) with a power law relationship between IC and Mr values.



Melton' Number



$$MR = (ZMax - ZMin) / \text{Sqrt}(\text{Area})$$

Application of an index of sediment connectivity in a lowland area

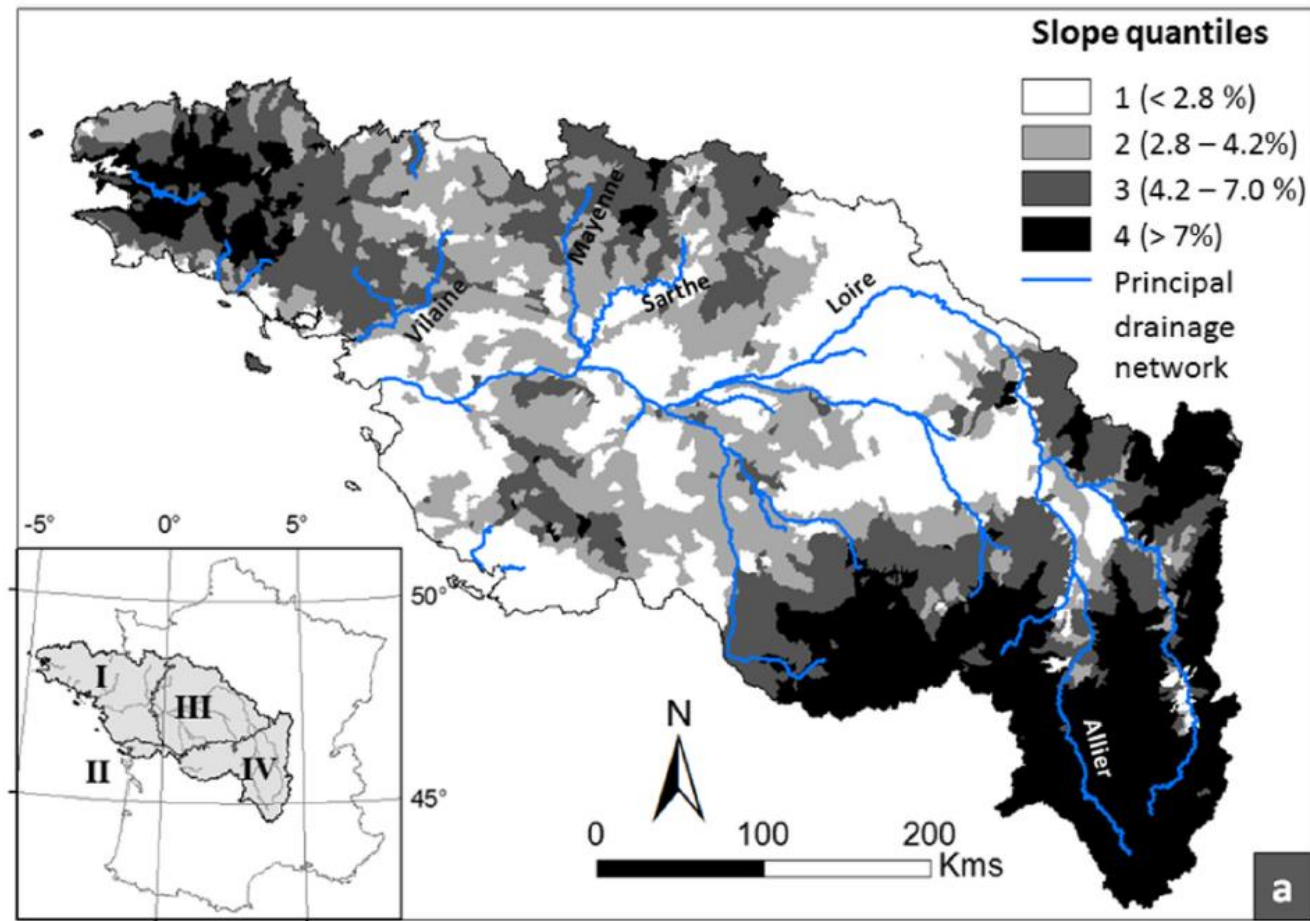
Aurore Gay^{1,2} • Olivier Cerdan¹ • Vincent Mardhel¹ • Marc Desmet²

Site: The Loire–Brittany River Basin (~155,000 km²).

DTM: Lidar 50x50m

Aims: provide an evaluation of sediment connectivity for a lowland territory. with process and scale constraints:

(i) landscape infiltration and saturation properties of lowland areas are integrated in the index and (ii) the assessment is performed over a large river basin (~105 km²) containing both mountainous and lowland areas.



In this study, was introduced a pixel-based parameter (IDPR) related to the drainage density and which accounts for hydrological connectivity in the lowland areas. The Authors propose a IC variants better for Lowlands and for low resolution DTM in big watershed

$$IC_{revised} = \log_{10} \left(\frac{\overline{W \cdot IDPR \cdot S} \cdot \sqrt{A}}{\sum_i \left(\frac{d_i}{W_i \cdot S_i \cdot IDPR_i} \right)} \right)$$

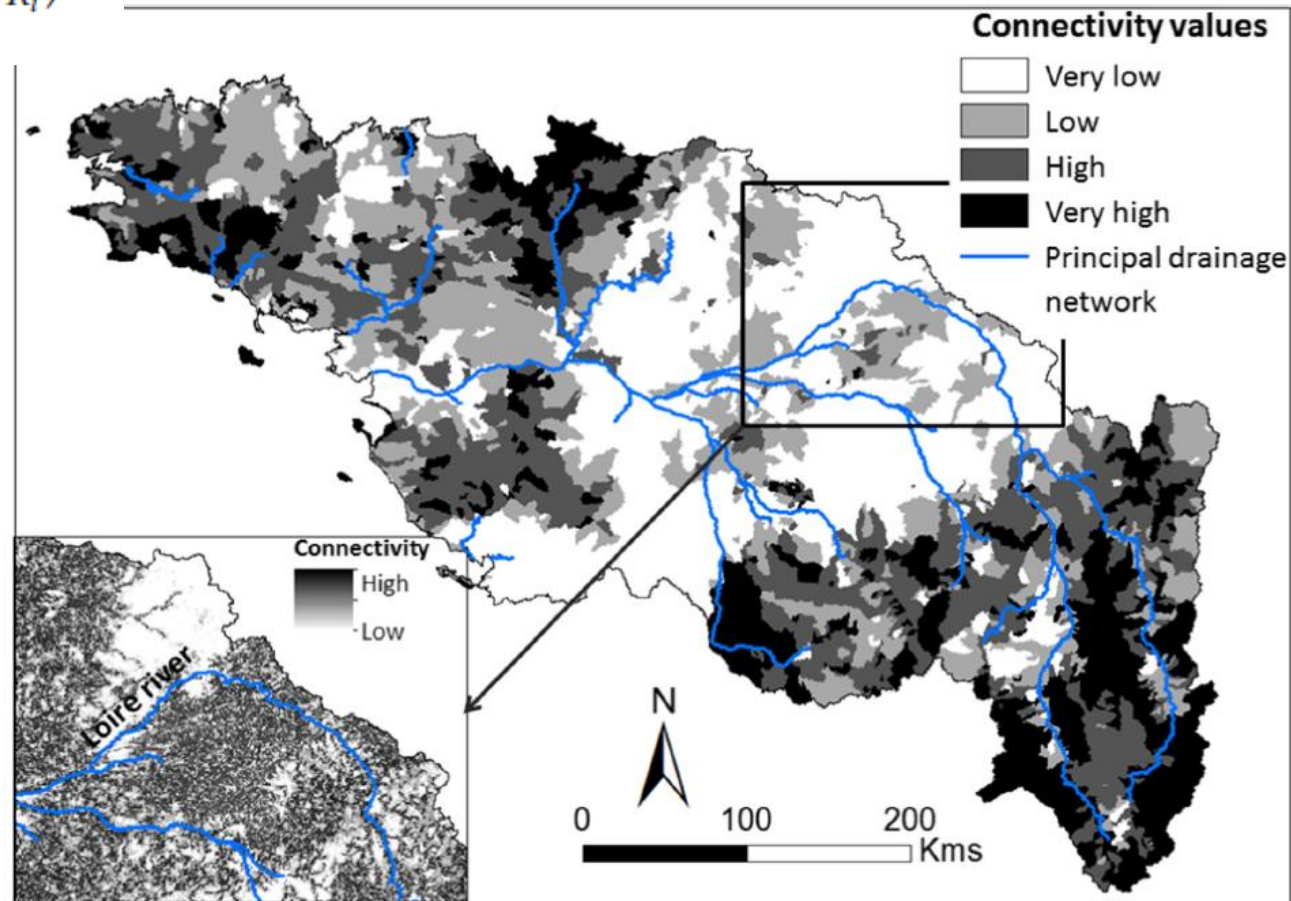


Fig. 5 Map of mean connectivity for each watershed (classification of mean values in quartiles)

Aspectos destacados... y especulaciones

Aspectos destacados y especulaciones - 1

El índice de conectividad IC y FCA proporcionan una estimación del índice de conexión potencial entre el sedimento erosionado de las laderas y el sistema de arroyos u otros sumideros locales;

FCA puede poner en relación el índice IC y SDR. SDR se puede utilizar entonces para corregir los modelos USLE-TYPE (capacidad de transporte ilimitada) generalmente utilizados para la modelización de grandes cuencas y obtener una evaluación mas corectadel perdidade sedimentos.

El uso de valores limitados de SDRmax (Borselli et al. 2009 and Vigiak el a. 2012) puede corregir las inconsistencias indicadas por algunos investigadores (Kinnell 2004, Parson et al. 2006) en la evaluación previa de SDR.

Aspectos destacados y especulaciones - 2

El modelo IC tiene un gran conjunto de aplicaciones potenciales, tales como: hot spot Identificación de fuentes primarias de sedimentos en dirección de líneas de drenaje permanentes y verificación de los impactos de las medidas de mitigación ecocompatibles para reducir o aumentar la conectividad. (sin más complejo Modelos de erosión del suelo) (p. ej. indicaciones de Boardman, 2006)

IC se puede transformar fácilmente en un índice más basado en la física (por ejemplo, variantes de Cavalli 2013 y Cassi 2010)

La posible aplicación de IC para definir SDRL puede ayudar a la evaluación de la contribución del perdida de sedimentos debido a deslizamientos de tierra y flujo de escombros (modelo PESERA-L).

Aspectos destacados y especulaciones - 3

El modelo IC tiene una aplicación potencial a varias escalas temporales y espaciales: desde pequeñas cuencas hidrográficas (<1km²) hasta grandes cuencas hidrográficas (escala subcontinental)
El cambio de escala temporal de IC se puede obtener fácilmente mediante teledetección. (ver. Foerster et al.2014)

IC Puede no limitarse solo a la erosión del suelo. Por ejemplo, Pesera-
L ejemplo para deslizamientos de tierra poco profundos, o clasificación de cuencas hidrográficas que pueden producir flujo de escombros (Heiser et al. 2015)

La conectividad como un índice métrico local (IC, y sus variantes) puede ser una oportunidad para un conjunto de nuevas herramientas orientadas a la planificación y toma de decisiones para la conservación de suelos y aguas y la evaluación de riesgos hidrogeológicos.

Esta presentación se puede descargar en
www.lorenzo-borselli.eu



Muchas gracias por su atención!!!