

Consideraciones sobre erosión hídrica y eólica en regiones semiáridas

Juan T. García Bermejo, Antonio Viguera Rodríguez, José María Carrillo Sánchez, Francisca Marco Cutillas, Pablo Espín Leal, Luis Castillo Elsitdié
(UPCT)

Álvaro Sordo-Ward, Iván Gabriel Martín (UPM)



EL MAR MENOR: PRESENTE Y FUTURO





INTRODUCCIÓN. DEFINICIONES

Región Semiárida: lluvias 200 - 400 mm/año; la evapotranspiración potencial supera la lluvia en al menos un 54% anualmente (UNEP, 1997).

Erosión: pérdida de suelo por la acción del agua y el viento. Factor que favorece la desertificación.

La **agricultura**, bien usada, constituye una de las herramientas más importantes para evitar la erosión y la desertificación así como para propiciar el desarrollo sostenible de la Región de Murcia (Castillo, 1996; López y Romero, 1998).



Figura 1. Área fuertemente erosionada, paisaje tipo badland (Romero y Alonso, 2007).



Inventario Nacional de Erosión de Suelos 2002-2012 (de Murcia, 2002).

Erosión en cuenca propuesta a partir de la metodología RUSLE a escala 1:50.000: **0 – 5 ton/ha y año**
(Incluye erosión hídrica y eólica en cuenca).



Figura 2. Plano de cuantificación de erosión (de Murcia, 2002).

Pérdidas de suelo ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)	
■	0 - 5
■	5 - 10
■	10 - 25
■	25 - 50
■	50 - 100
■	100 - 200
■	> 200
■	Láminas de agua superficiales y humedales
■	Superficies artificiales



EROSIÓN HÍDRICA EN CUENCA

Erosión laminar y en regueros.

Escala anual (Ton/ha/año): Ecuación Modificada Universal de Pérdida de Suelo, R.U.S.L.E. de paso diario (Renard *et al.*, 1997).

Factores: **erosividad de la lluvia;**
erosionabilidad del terreno; pendiente;
uso y gestión del suelo; y tipo de labor



Figura 3. Vista de erosión laminar y en regueros (Romero y Alonso, 2007).

En parcelas cultivadas y aradas se registran tasas de $A \approx 0,78-1,20$ Ton/ha/año (Romero *et al.*, 2011).

Áreas de pendiente $< 0.1\%$ en cuenca del Albujión, entre las que predominan las cultivadas ($S = 145 \text{ km}^2$), **Erosión anual ≈ 0.80 Ton/ha/año** (Conesa, 1989).



EROSIÓN HÍDRICA EN CUENCA

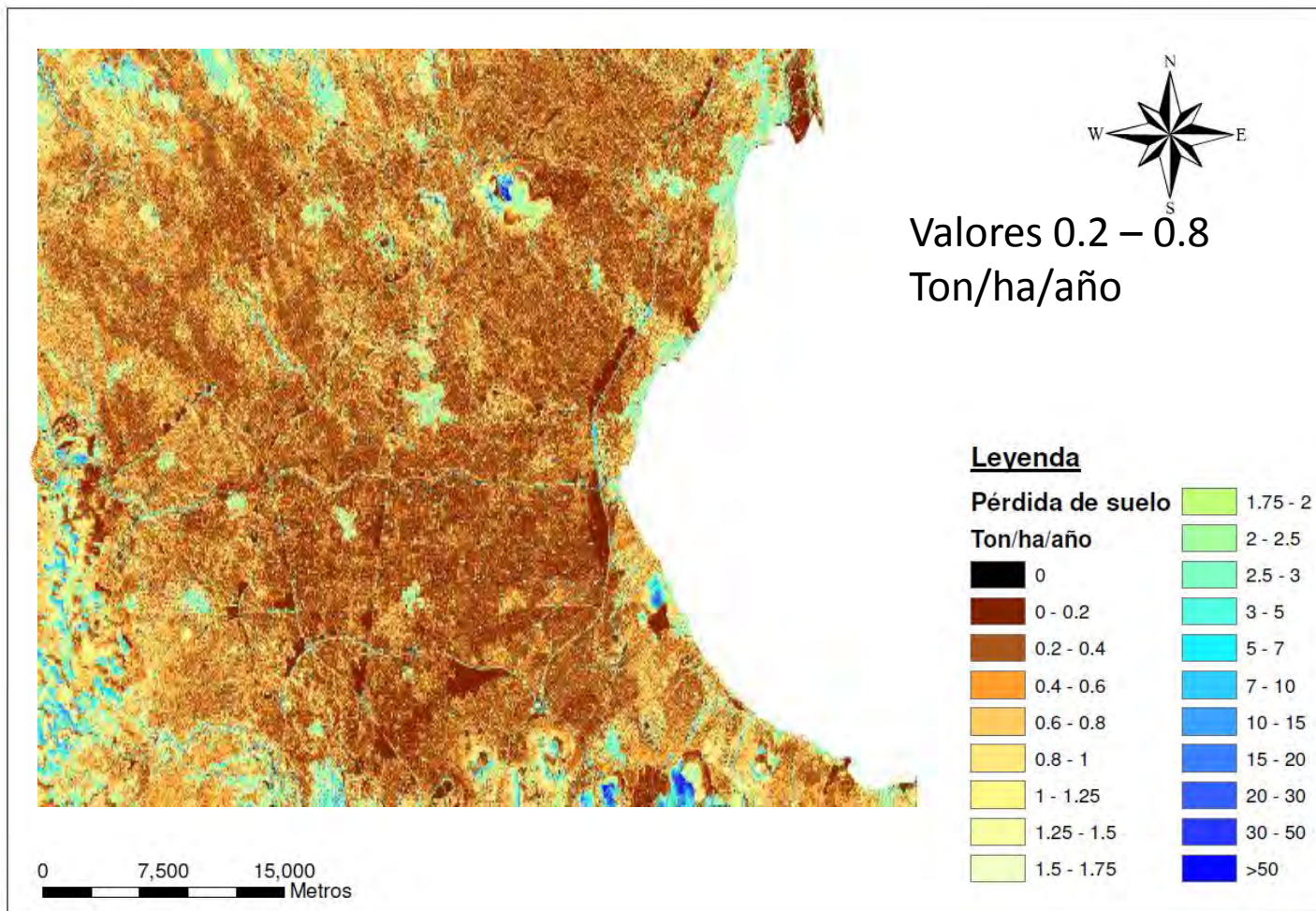


Figura 4. Cálculos realizados a partir de registro precipitaciones CHS año 2009-2010



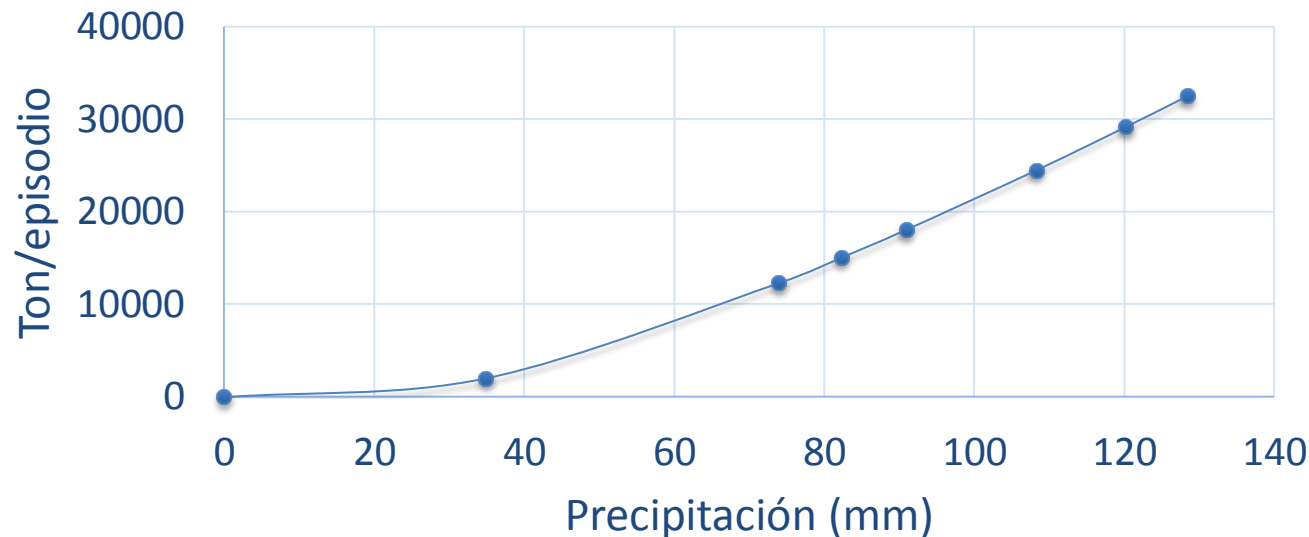
EROSIÓN HÍDRICA EN CUENCA

Erosión laminar y en regueros.

Escala por evento (Ton/episodio): Ecuación Universal, M.U.S.L.E. (Williams *et al.*, 1971; Williams, 1975) .

Resultados M.U.S.L.E. cuenca del Albuñón (Ton/episodio)

Figura 5. Material erosionado en cuenca (Ton/episodio) para la precipitación del evento, en la cuenca del Albuñón.



Granulometría materiales en cuenca: arenas y gravas (> 0.06 mm) 40.67%; arcillas y limos, material en suspensión (< 0.06 mm) 59.33%. Hasta 3% de MO (Cano et al. 2009).



EROSIÓN HÍDRICA EN CAUCE

Se parte de modelo hidrológico distribuido y semidistribuido y modelo hidráulico con ecuaciones de Meyer-Peter & Müller (1948) y Yang (1973), entre otras, basadas en exceso de la tensión de inicio de movimiento. (Marín, 2011; Castillo y Marín, 2012; Marco, 2015; Castillo *et al.*, 2015).

Resultados Ecs. Meyer-Peter Müller cauce del Albuñón (Ton/episodio)

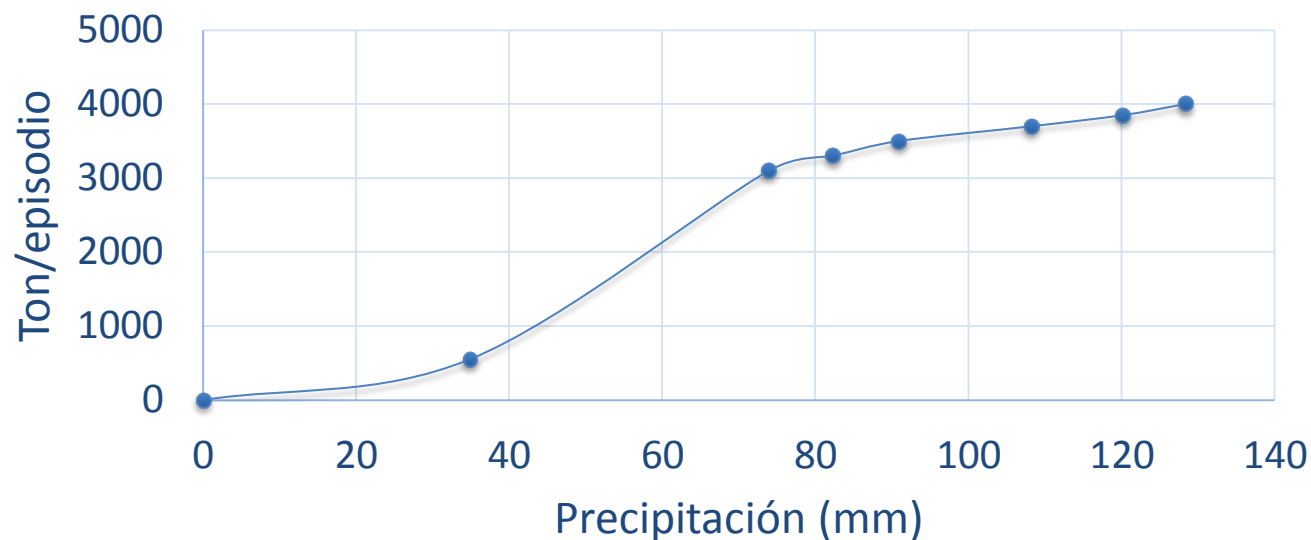


Figura 6. Material erosionado en cauce, Ton/episodio, para la precipitación del evento, en la cuenca del Albuñón (Marco, 2015).

Granulometría materiales cauce: $D_{16} \approx 1.5$ mm; $D_{50} \approx 6.3$ mm ; $D_{84} \approx 18.9$ mm (Marín, 2011)



EROSIÓN HÍDRICA EN ÁREAS URBANAS

Áreas urbanas limítrofes al Mar Menor = 20.64 km²; C= 0.55 sin considerar actuaciones en materia de Tanques anti-DSU; almacenamiento antes de desbordar equivalente a lluvia 25 mm; CMS= 350 mg/L.

Resultados ÁREAS URBANAS (Ton/episodio)

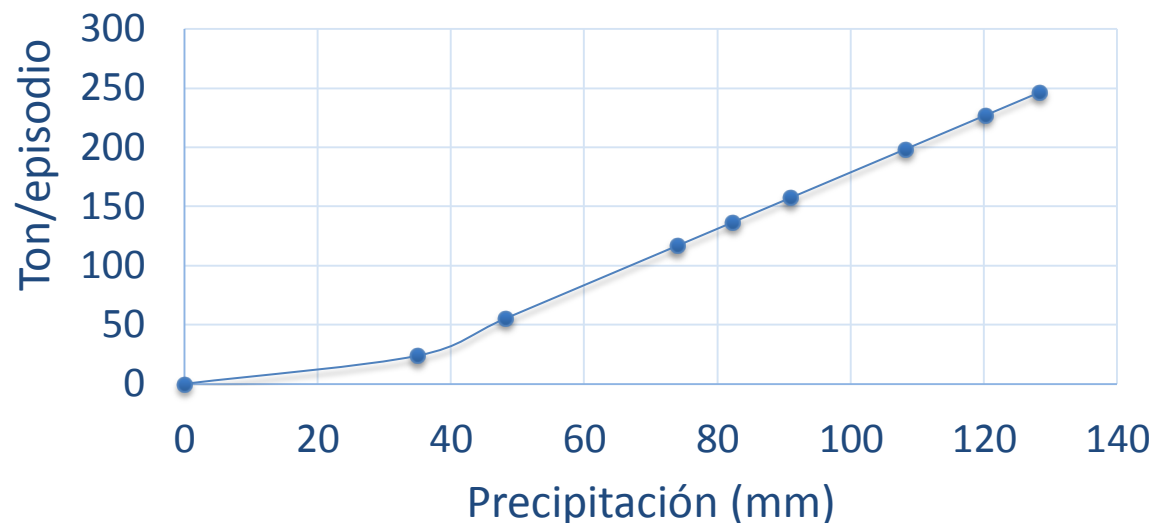


Figura 7. Material erosionado en ÁREAS URBANAS limítrofes al Mar Menor, Ton/episodio, para la precipitación del evento.



MECANISMOS DE TRANSPORTE MATERIAL EROSIONADO

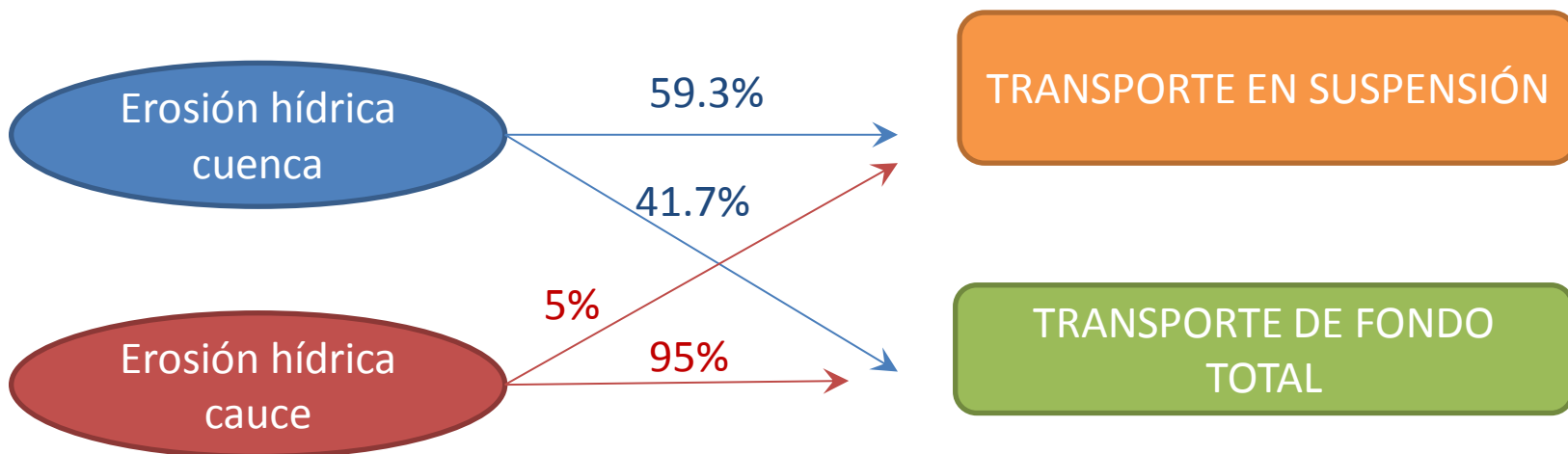
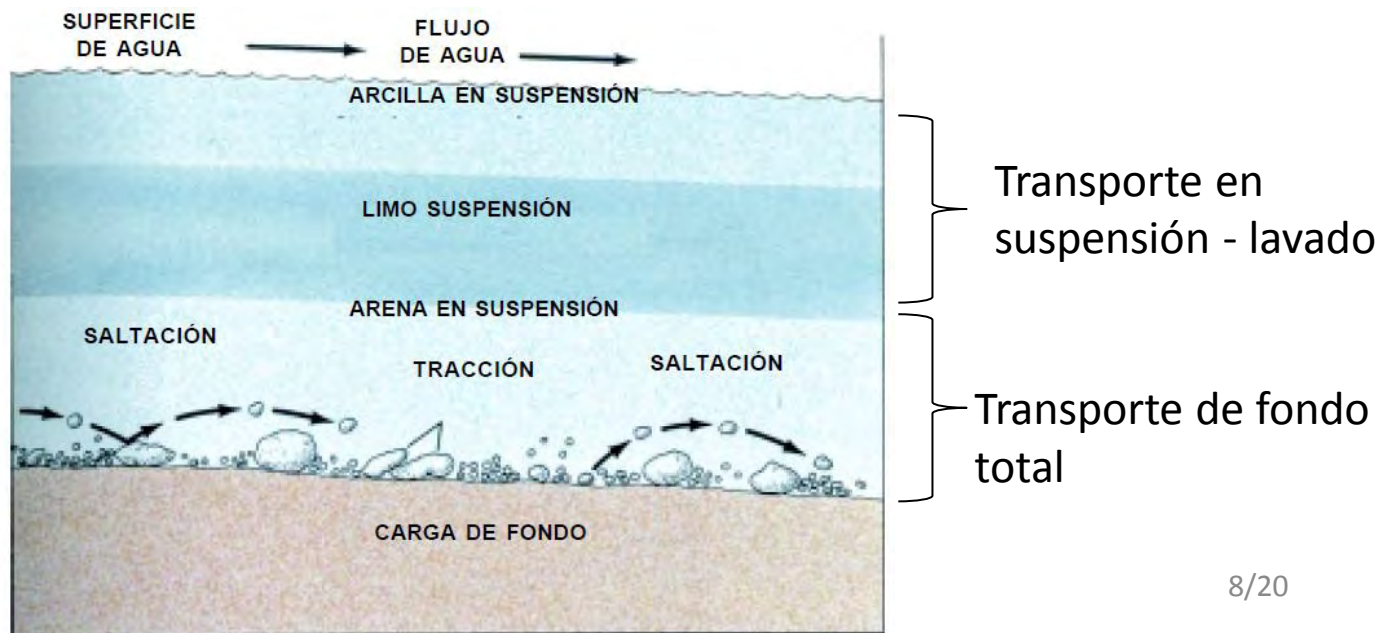


Figura 8. Detalle de mecanismos de transporte de fondo o en suspensión de los materiales erosionados.





RESULTADOS MATERIALES TRANSPORTADOS

Materiales transportados en fondo y suspensión:

Resultados transporte de fondo y suspensión (Ton/episodio)

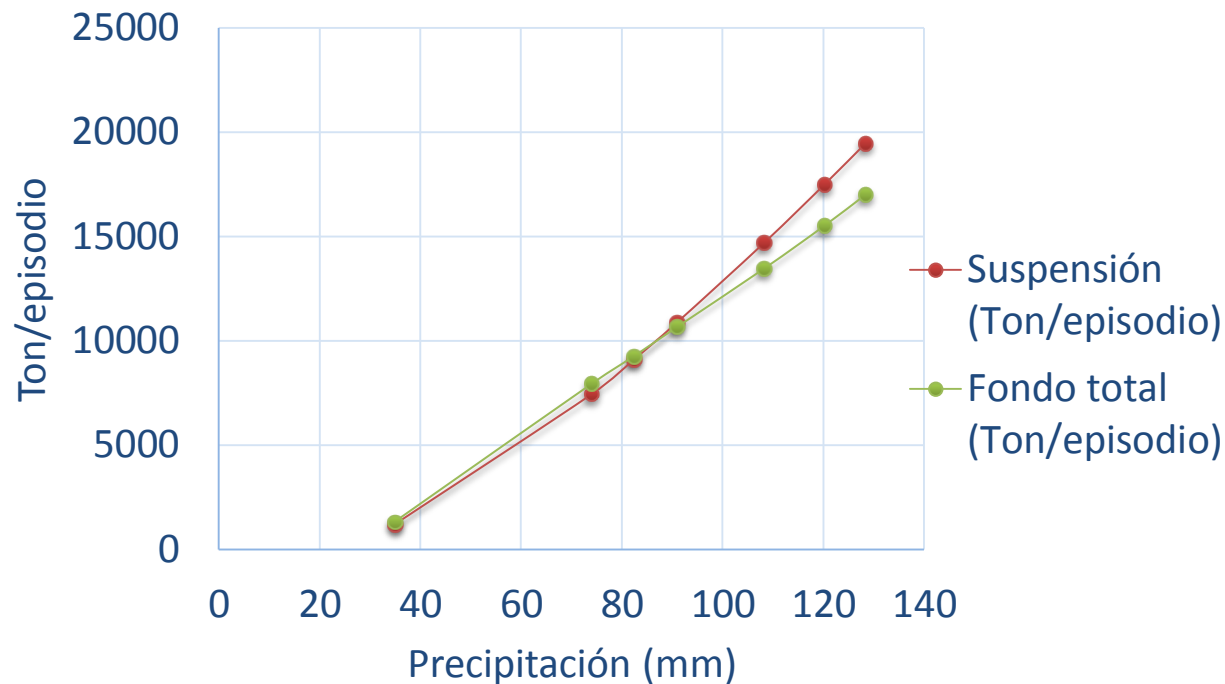


Figura 9. Material erosionado en cauce (Ton/episodio) para la precipitación del evento, en la cuenca del Albuñón.

Aportes a la Laguna procedente de flujo tiempo de lluvia a partir de una simulación de **una serie de 50 años de precipitaciones: 1.5 Hm³.**



RESULTADOS MATERIALES TRANSPORTADOS

Materiales transportados en suspensión:

TSS (mg/L) episodio

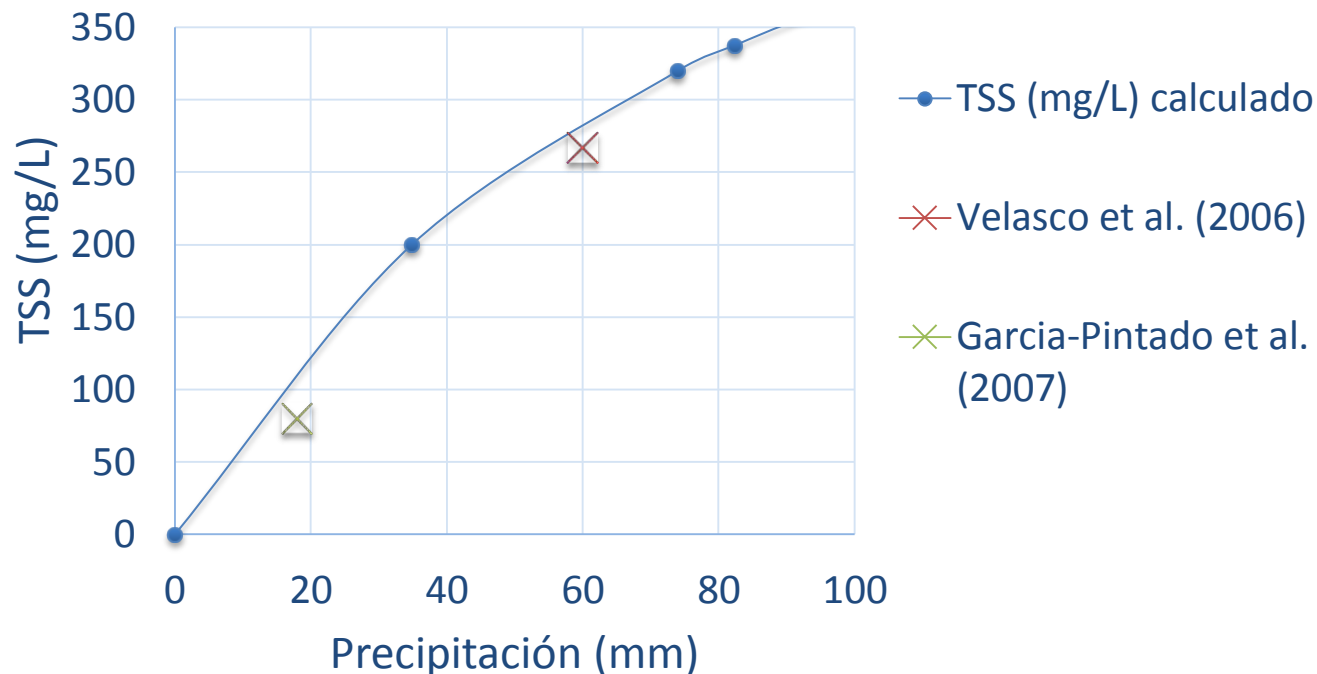


Figura 10. CMS en suspensión (mg/L) para la precipitación del evento, en la cuenca del Albuñón.

Valores puntuales procedentes de diversos trabajos con mediciones en la desembocadura de la Rambla del Albuñón: mes de enero de 2003 (Velasco *et al.*, 2006) y mes de noviembre de 2004 (García-Pintado *et al.*, 2007).



CORRELACIÓN SÓLIDOS vs DBO_5 EN FLUJOS DE ESCORRENTÍA URBANA

A partir de los sólidos en suspensión podemos calcular por correlación la Materia Orgánica biodegradable, DBO_5

Resultados ÁREAS URBANAS DBO_5 (Ton/episodio)

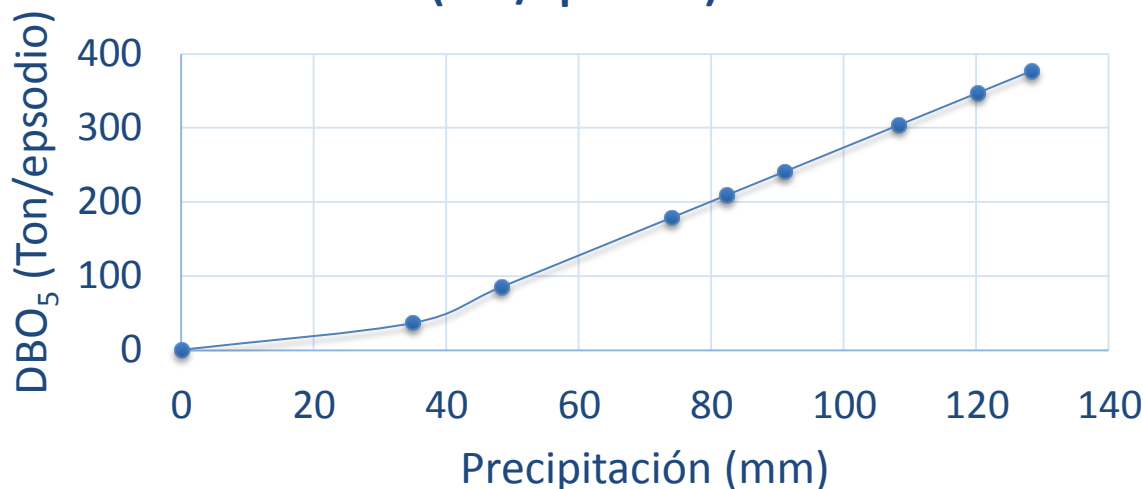
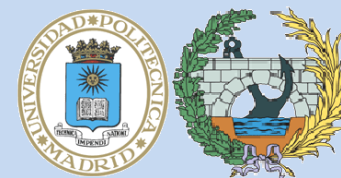


Figura 11. DBO_5 (Ton/episodio) calculada a partir de la correlación con TSS.

$$DBO_5 = 0.74TSS + 136 \quad (\text{Del Río, 2011})$$

La materia orgánica biodegradable, DBO_5 , presenta una correlación importante con TSS en escorrentía urbana en tiempo de lluvia



Íon nitrato movilizado en cuencas cultivadas. Tiempo seco y húmedo

N-NO₃⁻ aportados Flujo Sup + Subsup. (kg/ha/año)

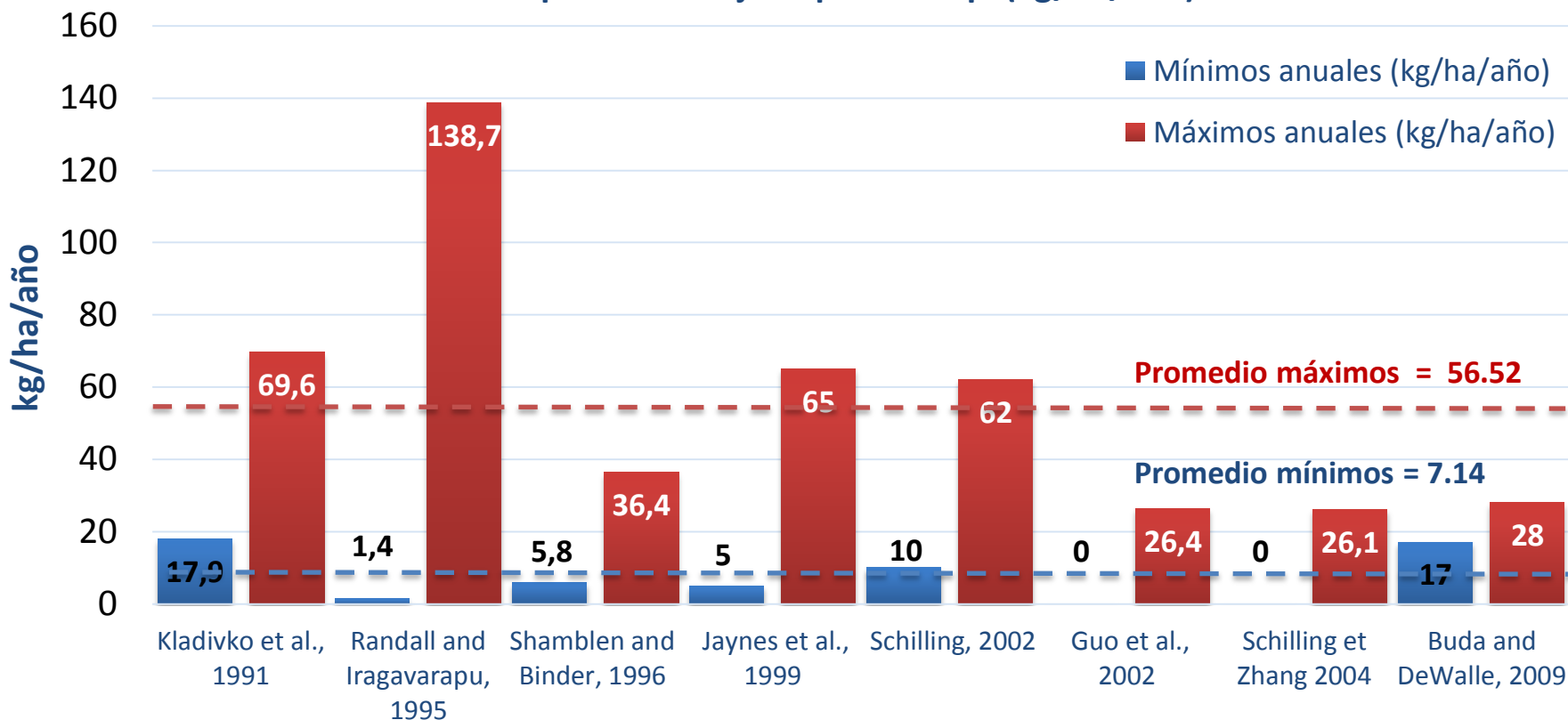
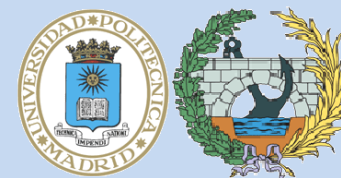


Figura 12. Cantidad de ión nitrato, N-NO₃⁻ descargados en diversas cuencas de Estados Unidos en kg/ha y año.

El flujo en tiempo seco representa entre el 37.8% y el 72.0% con un promedio del 54.2% en una serie de 30 años (Schilling y Zhang 2004, Vanni et al. 2001)



Íon nitrato movilizado en cuencas cultivadas. Tiempo seco y húmedo

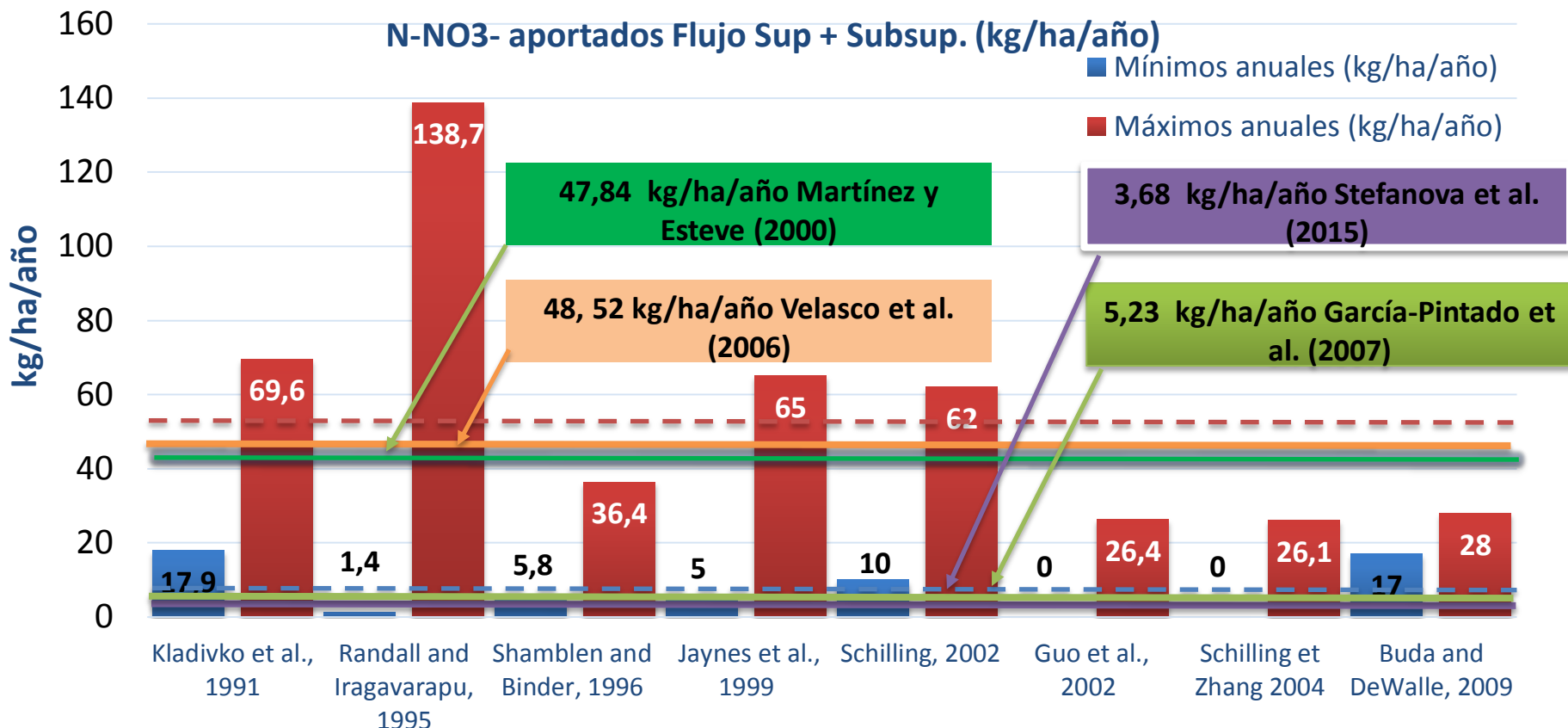


Figura 13. Cantidad de ión nitrato, N-NO₃⁻ descargados en diversas cuencas de Estados Unidos incluyendo valores de estudios en el Mar Menor.



Erosión eólica de la cuenca

Es una cuenca con un régimen de vientos moderadamente altos. Se han empleado los datos procedentes del modelo climatológico del Atlas Eólico del IDAE

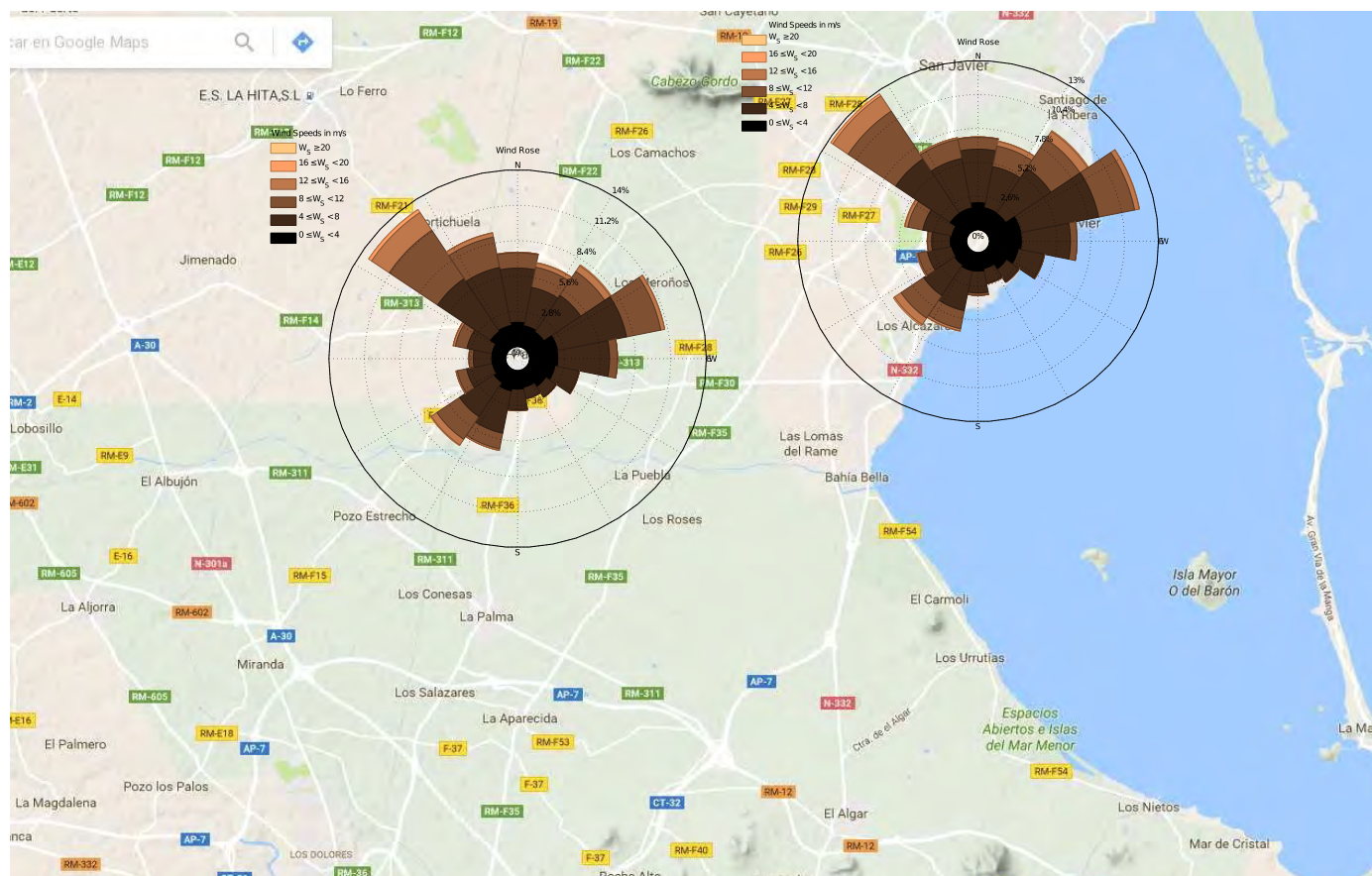


Figura 14. Vista puntos malla modelo climatológico Atlas eólico



Erosión eólica de la cuenca

Se ha empleado el modelo Wind Erosion eQuation (WEQ) a cinco puntos significativos:

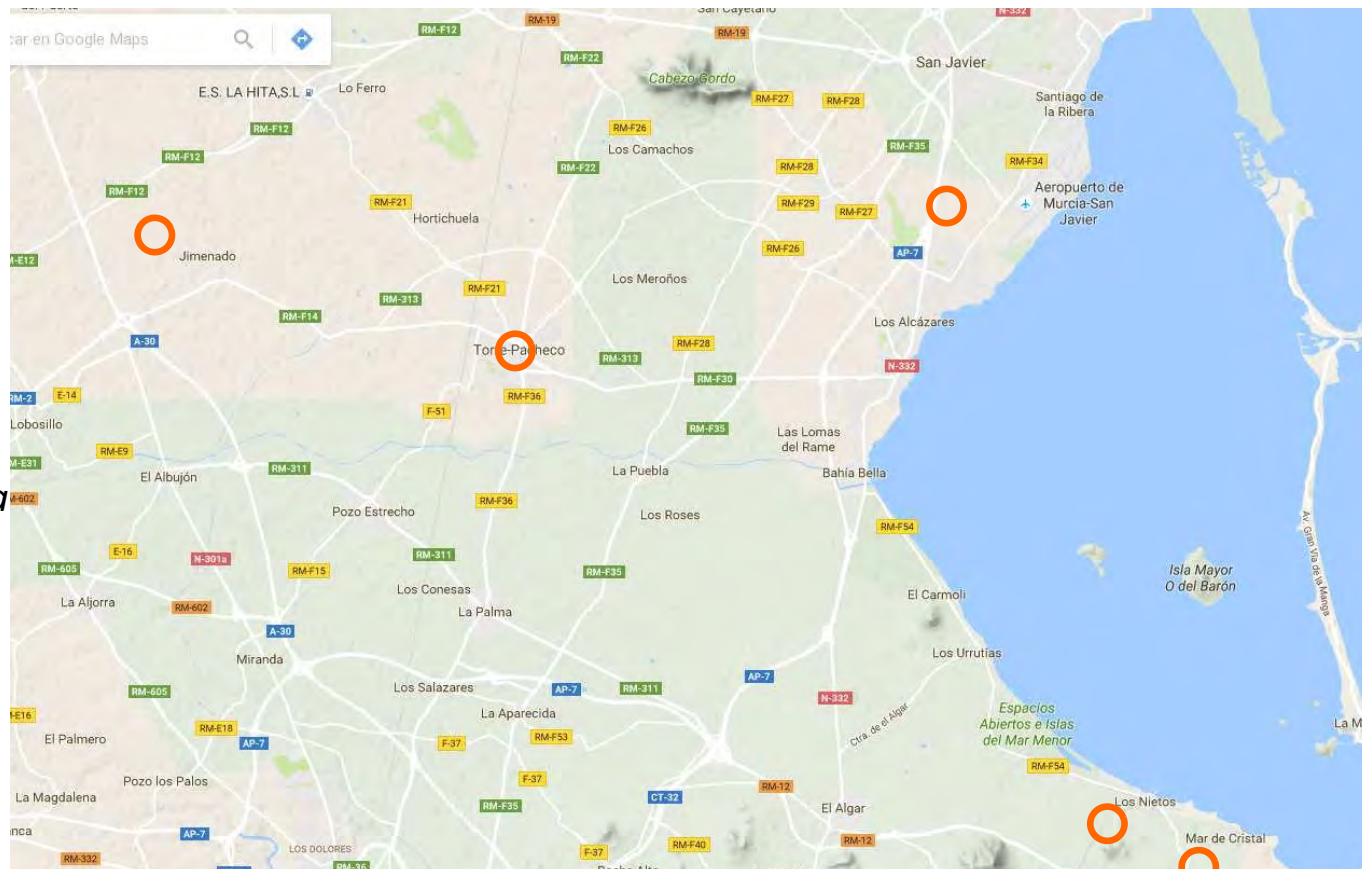


Figura 15. Vista puntos donde se calcula erosión eólica



Erosión eólica de la cuenca

- El viento medio a 9 m sobre el suelo (en realidad $(\overline{v^3})^{1/3}$) oscila entre 4.0 y 5.5 m/s.
- Resultados del modelo similares en los 5 puntos considerados.
- Aplicando el modelo llegamos a una movilización de material del suelo de:

Erosión eólica= 1.6 ton/ha/año

- Todas estas partículas movilizadas no llegan al Mar Menor. Considerando la distribución anual de la dirección del viento, el sedimento que el viento deposita en la laguna estaría en torno a:

0.20 ton/ha/año

- Considerando mediciones de ión nitrato (Sanchez y Sirvent 2009) en aire:

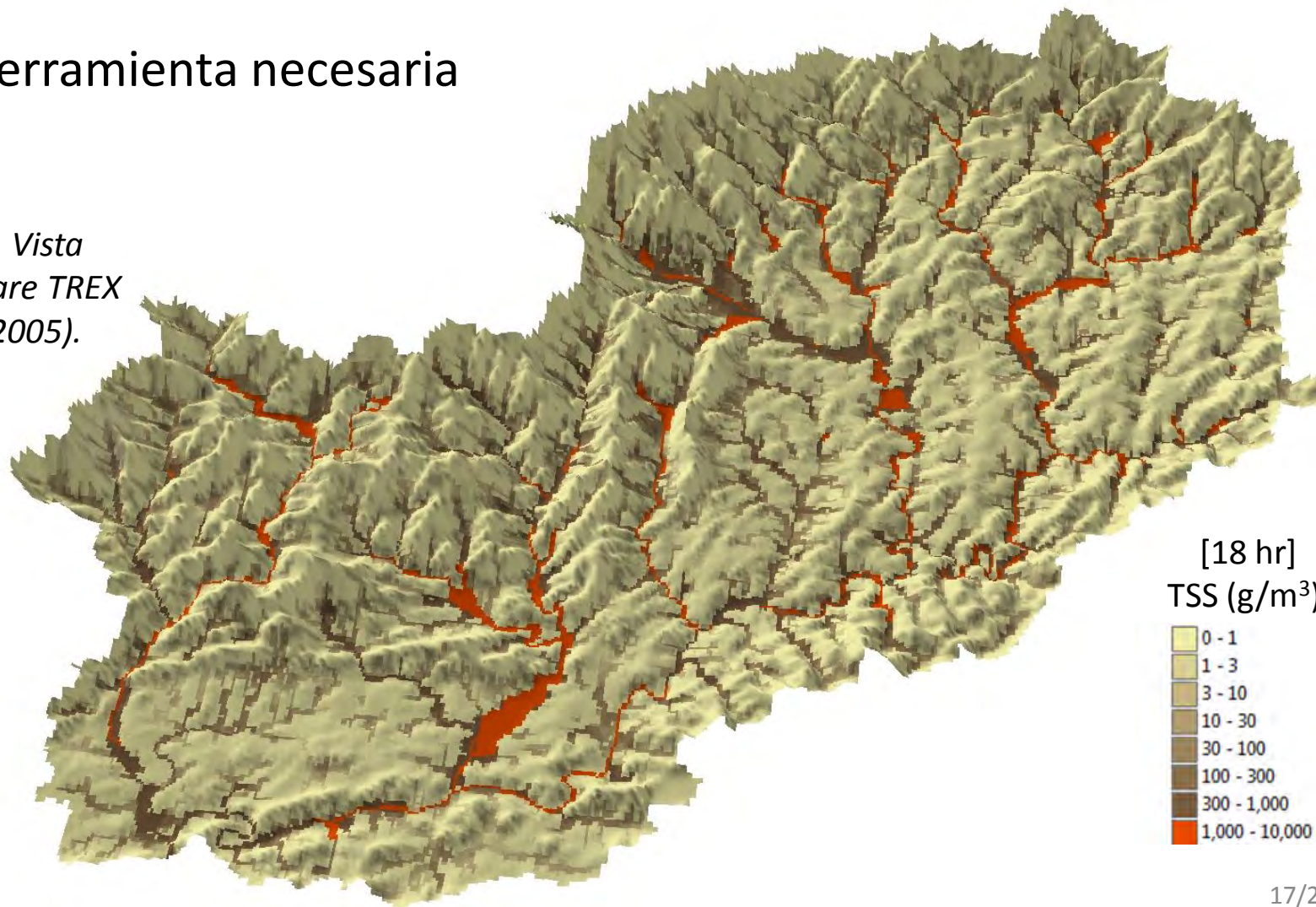
4 kg/ha/año



Modelos de erosión y transporte de nutrientes en cuenca

- Herramienta necesaria

Figura 16. Vista del software TREX (Velleux, 2005).





VERTIDO CERO EN EL MAR MENOR

Actualmente hablamos de vertido cero al Mar Menor

Normativa existente: Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991; Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero; y la Orden de 16 de junio de 2016, de la Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente.

¿HEMOS CONTEMPLADO LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL Y LA ACCIÓN DEL VIENTO?

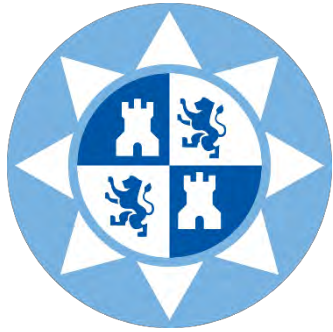


Figura 17. Vista aérea de la rambla del Albuñón tras las lluvias torrenciales en septiembre del año 2009. (LA VERDAD).



CONCLUSIONES

- Los fenómenos de precipitación y viento generan erosión y transporte de compuestos existentes en la superficie de nuestros suelos que pueden ser considerables
- Es necesario cuantificar la erosión hídrica y eólica, así como la movilización de compuestos tanto en zonas urbanas como cultivadas
- Actualmente existe una importante información disponible para la modelización de dichos procesos.
- Una vez se conozcan es necesario proponer medidas correctoras del tipo tanques anti-DSU como en el caso de zonas urbanas así como prácticas de agricultura sostenible en zonas cultivadas.



MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castillo Elsitdié, L.G. (1998). El desarrollo sostenible y la economía del cambio tecnológico en la planificación de los recursos hídricos. Congreso Latinoamericano de Hidráulica IAHR. Guayaquil, Ecuador.
- Romero Díaz, A., & Alonso Sarría, F. (2007). Atlas Global de la Región de Murcia. *La Verdad CMM SA, Murcia*.
- UNEP, 1997. World Atlas of Desertification. 2nd Edition. United Nations Environment Programme. Nairobi (Kenya).
- Bermúdez, F. L., & Díaz, A. R. (1998). Erosión y desertificación: implicaciones ambientales y estrategias de investigación. Papeles de geografía, (28).
- de Murcia, R. (2002). Inventario nacional de erosión de suelos 2002-2012. EGRAF, SA, Murcia, Spain.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* (Vol. 703). Washington, DC: US Government Printing Office.
- Williams, J. R. (1975). Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor.
- Williams, J. R., Hiler, E. A., & Baird, R. W. (1971). Prediction of sediment yields from small watersheds. *Transactions of the ASAE*, 14(6), 1157-1162.
- Cano, A. F., & Cornejo, J. M. (2009). Dinámica nutricional de agrosistemas en el Campo de Cartagena: estudio comparativo entre valorización de restos vegetales y fertilización mineral para la protección del Mar Menor. In *El Mar Menor: estado actual del conocimiento científico* (pp. 285-320). Instituto Euromediterráneo del Agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Díaz, M. A. R., Sinoga, J. D. R., & Serrato, F. B. (2011). Tasas de erosión hídrica en la región de Murcia. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (56), 129-153.
- Conesa Garcia, C. (1989). La acción erosiva de las aguas superficiales del Campo de Cartagena.
- Meyer-Peter, E., and Muller, R. (1948). "Formulas for Bedload Transport." Proceedings of the 2nd Congress, IAHR, Stockholm, 39–64.
- Yang, C. T. (1973). "Incipient motion and sediment transport." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 99(10), 1679–1704.
- Marín, M.D. (2011). Suficiencia investigadora, Programa de doctorado: Minería Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Grupo I+D+i en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente HIDR@M, páginas 49, Cartagena.
- Castillo, L.G., Marin M.D. (2012). Hydrological and hydraulic characterization in semi arid zones. Analysis of model type, basin size and sediment transport formulae. Congreso River Flow, Costa Rica.
- Marco, F. (2015) Análisis y Evaluación del Transporte de sedimentos en la Rambla del Albuji3n. TFG Grado en Ingenier3a Civil. ETSICCPM de la Universidad Polit3cnica de Cartagena.
- Castillo;L.G.; Mar3n, M.D.; Carrillo, J.M. (2015). Transporte de sedimentos en la cuenca semi3rida del Albuji3n (Murcia). Red de Laboratorios de Hidr3ulica de Espa3a. Coru3a, ETSICCP de la Universidade de Coru3a.
- DEL R3O, H. (2011). Estudio de los flujos de contaminaci3n movilizados en tiempo de lluvia y estrategias de gesti3n en un sistema de saneamiento y drenaje unitario de una cuenca urbana densa de la Espa3a H3meda. Tesis Doctoral. Universidade da Coru3a.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Velasco, J., Lloret, J., Millán, A., Marín, A., Barahona, J., Abellán, P., & Sánchez-Fernández, D. (2006). Nutrient and particulate inputs into the Mar Menor lagoon (SE Spain) from an intensive agricultural watershed. *Water, Air, and Soil Pollution*, 176(1-4), 37-56.
- García-Pintado, J., Martínez-Mena, M., Barberá, G. G., Albaladejo, J., & Castillo, V. M. (2007). Anthropogenic nutrient sources and loads from a Mediterranean catchment into a coastal lagoon: Mar Menor, Spain. *Science of the Total Environment*, 373(1), 220-239.
- Howarth, R. W., G. Billen, D. Swaney, A. Townsend, N. Jaworski, K. Lajtha, J. A. Downing, R. Elmgren, N. Caraco, T. Jordan, F. Berendse, J. Freney, V. Kudeyarov, P. Murdoch, and Zhu Zhao-liang. 1996. Regional nitrogen budgets and riverine inputs of N and P for the drainages to the North Atlantic Ocean: natural and human influences. *Biogeochemistry* 35:75–139.
- Kladivko, E.J., Van Scoyoc, G.E., Monke, E.J., Oates, K.M., Pask, W., (1991). Pesticide and nutrient movement into subsurface tile drains on a silt-loam soil in Indiana. *J. Environ. Qual.* 20, 264–270.
- Randell, G.W., Iragavarapu, T.K., 1995. Impact of long-term tillage systems for continuous corn on nitrate leaching to tile drainage. *J. Environ. Qual.* 24, 360–366.
- Shamblen, R.G., Binder, D.M., 1996. The effect of watershed reservoir volume and rainfall on nitrate levels in surface drinking water supplies. *J. Soil Water Conserv.* 51, 457–461.
- Jaynes, D.B., Hatfield, J.L., Meek, D.W., 1999. Water quality in Walnut Creek watershed: herbicides and nitrate in Surface waters. *J. Environ. Qual.* 28, 45–59.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Schilling, K.E., 2002. Chemical transport from paired agricultural and restored prairie watersheds. *J. Environ. Qual.* 31, 1846–1851.
- Guo, Y., Markus, M., Demissie, M., 2002. Uncertainty of nitrate-N load computations for agricultural watersheds. *Water Resour. Res.* 38(10), 1185 doi: 10.1029/2001WR001149.
- Schilling, K., & Zhang, Y. K. (2004). Baseflow contribution to nitrate-nitrogen export from a large, agricultural watershed, USA. *Journal of Hydrology*, 295(1), 305-316.
- Buda, A. R., & DeWalle, D. R. (2009). Dynamics of stream nitrate sources and flow pathways during stormflows on urban, forest and agricultural watersheds in central Pennsylvania, USA. *Hydrological Processes*, 23(23), 3292-3305.
- Vanni, M. J., Renwick, W. H., Headworth, J. L., Auch, J. D., & Schaus, M. H. (2001). Dissolved and particulate nutrient flux from three adjacent agricultural watersheds: A five-year study. *Biogeochemistry*, 54(1), 85-114.
- Martínez Fernández, J., & Esteve Selma, M. Á. (2000). Estimación de la entrada de nutrientes de origen agrícola en el Mar Menor mediante un modelo dinámico. *Mediterránea. Serie de Estudios Biológicos*, Época II, n. 17 (2000); pp. 19-25.
- Stefanova, A., Hesse, C., & Krysanova, V. (2015). Combined Impacts of Medium Term Socio-Economic Changes and Climate Change on Water Resources in a Managed Mediterranean Catchment. *Water*, 7(4), 1538-1567.
- Velleux, M. L. (2005). Spatially distributed model to assess watershed contaminant transport and fate (Doctoral dissertation, Colorado State University).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., ... & Kannan, N. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491-1508.
- Woodruff, N. P., & Siddoway, F. H. (1965). A wind erosion equation. *Soil Science Society of America Journal*, 29(5), 602-608.
- Turner, R., Panciera, R., Tanase, M. A., Lowell, K., Hacker, J. M., & Walker, J. P. (2014). Estimation of soil surface roughness of agricultural soils using airborne LiDAR. *Remote Sensing of Environment*, 140, 107-117.
- Skidmore, E. L. (1986). Wind erosion climatic erosivity. *Climatic change*, 9(1-2), 195-208.
- Panebianco, J. E., & Buschiazzo, D. E. (2008). Erosion predictions with the Wind Erosion Equation (WEQ) using different climatic factors. *Land Degradation & Development*, 19(1), 36-44.
- Fryrear, D. W., Sutherland, P. L., Davis, G., Hardee, G., & Dollar, M. (1999, May). Wind erosion estimates with RWEQ and WEQ. In *Proceedings of Conference Sustaining the Global Farm, 10th International Soil Conservation Organization Meeting*, Purdue University (pp. 760-765).
- López, M. V., Gracia, R., & Arrúe, J. L. (2001). An evaluation of wind erosion hazard in fallow lands of semiarid Aragon (NE Spain). *Journal of soil and water conservation*, 56(3), 212-219.
- Buschiazzo, D. E., & Zobeck, T. M. (2008). Validation of WEQ, RWEQ and WEPS wind erosion for different arable land management systems in the Argentinean Pampas. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(12), 1839-1850.
- Sánchez, M. J. M., & Sirvent, M. D. C. P. (2009). Análisis del estado de la contaminación del suelo en el Sistema Campo de Cartagena-Mar Menor. In *El Mar Menor: estado actual del conocimiento científico* (pp. 207-244). Instituto Euromediterráneo del Agua.
- Wagner, L. E., & Throckmorton Hall, K. S. U. (1996, February). An overview of the wind erosion prediction system. In *Proc. Intl. Conf. on Air Pollution from Agricultural Operations* (pp. 73-75).