

Simulación CFD del comportamiento del viento en viñedos

CFD simulation of wind behavior in vineyards

Presentación: 4 y 5 de Octubre de 2022

Doctorando:

Rodolfo Abel Dematte

Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional - Argentina
rdematte@gmail.com

Director:

Ernesto Gandolfo Raso

Resumen

En los experimentos realizados se simuló en openFOAM® el comportamiento del viento en un modelo digital en 3D de un campo de cultivo a través del algoritmo SIMPLE. Se estudiaron las variaciones de la velocidad del flujo de una masa de aire en función de la orientación. Con estas pruebas se inicia el estudio del comportamiento del viento en viñedos, para cuantificar y desarrollar modelos experimentales y numéricos, aplicados específicamente a la erosión eólica sobre cultivos de vid (*Vitis vinífera* L.) en la Provincia de Mendoza.

Palabras clave: viento, CFD, openFOAM, Mendoza, *Vitis vinífera* L.

Abstract

In the experiments carried out, the behavior of the wind in a 3D digital model of a crop field was simulated in openFOAM® using the SIMPLE algorithm. Variations in the flow velocity of an air mass as a function of orientation were studied. With these tests, the study of the behavior of the wind in vineyards begins, to quantify and develop experimental and numerical models, specifically applied to wind erosion on vine crops (*Vitis vinífera* L.) in the Province of Mendoza.

Keywords: wind, CFD, openFOAM, Mendoza, *Vitis vinífera* L.

Introducción

La erosión eólica (EE) puede definirse como el proceso por el cual el material superficial del suelo es removido, transportado por el viento en forma selectiva y depositada en otro sitio. En esa remoción la erosión eólica desgasta los cultivos, elimina la materia orgánica, los nutrientes, los fertilizantes, y cambia la textura del suelo (Lancaster, 2014). Si bien la EE es un proceso morfológico normal en la evolución de un paisaje, no se restringe a determinados tipos de suelos o climas, conlleva un proceso de pérdida de material y calidad de los suelos de ambientes áridos y semiáridos del mundo (Aimar, 2016, Lancaster, 2014), y tiene efecto sobre procesos como la desertificación y el cambio climático (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2015). Muchos de los autores consultados coinciden en que la erosión del suelo inducida por el viento es uno de los principales problemas ambientales en las regiones áridas, semiáridas (Miri, Dragovich y Dong, 2017, Kheirabadi, Mahmoodabadi, Jalali y Naghavi, 2018), e incluso subhúmedas (Yang *et al*, 2017).

Además, se considera que la EE es uno de los factores que influye en el deterioro del suelo e incrementa la desertificación, afecta la calidad del aire, y altera la visibilidad (Sherman, 2020, Kheirabadi *et al*, 2018), tiene impacto en la salud, en el ambiente y en la biodiversidad (FAO, 2015). El estudio de la erosión eólica es cada vez más importante

a causa del cambio climático (Miri et al, 2017; FAO, 2015). Si bien la erosión es un proceso natural, la tasa es incrementada por actividades antrópicas (FAO, 2015).

En el último cuarto de siglo, los procesos de erosión hídrica y eólica en Argentina avanzaron hasta ocupar un 36% del territorio nacional, lo que representan 100 millones de hectáreas, distribuidas en áreas agrícolas de la región húmeda y subhúmeda y, también, en la zona semiárida y árida con bosques nativos y pastizales (Casas, 2019). Existen 100 millones de hectáreas con algún grado de erosión (Instituto Nacional de Tecnología Agroindustrial INTA, 2019), solamente el 3 % de la superficie (2.062.939 hectáreas) está bajo control (Casas, 2020).

Entonces, entender la interacción entre el viento y la superficie del suelo es importante (Miri et al, 2017), los factores que influyen en la EE se pueden mencionar las propiedades climáticas (lluvias, evaporación, humedad y velocidad el viento), propiedades del suelo (tamaño de partículas, densidad y fuerzas de cohesión) y las características de las superficies (uso del suelo, cobertura vegetal y altura de la vegetación).

En provincias como Mendoza, donde la cobertura de la vegetación suele ser escasa y el suelo es poco estructurado, el impacto de éste fenómeno es considerable y si bien es común el empleo de las llamadas cortinas rompevientos para disminuir su efecto en los cultivos, se ha demostrado que si no se realizan análisis exhaustivos sobre su orientación y ubicación, las brechas que el viento origina en las mismas terminan canalizando el flujo del aire y el material transportado por éste (Oteng'i., Stigter, Ng'anga y Mungai., 2000).

En la actualidad, Mendoza es la provincia que registra la mayor superficie cultivada de vid del país (70,6%). Especialmente se cultivan variedades aptas para elaboración de vinos y mostos. El 75% de la producción se destina para la producción de vino, produce el 71.91 % del vino del país y en el año 2021 exportó 3.07 millones de litros de vino en diferentes variedades y calidades además de exportar 60.8 toneladas de mosto (Instituto Nacional de Vitivinicultura INV, 2021). En cuanto a la forma de cultivo, el sistema de conducción predominante en la provincia de Mendoza es la espaldera, la cual representa el 58,1% del total implantado.

Por lo antes expuesto, se busca identificar el comportamiento del viento a distintas velocidades y orientaciones cuando se encuentra con plantaciones de vid a baja altura para estudiar los efectos que se producen. El presente trabajo forma parte de la tesis de doctorado Erosión del suelo por efecto del viento en áreas de cultivo de vid, en la provincia de Mendoza, aplicación de modelos teóricos y experimentales sobre flujos turbulentos, cuyo objetivo es conocer la incidencia actual que el proceso de EE tiene sobre la degradación del suelo y la emisión de partículas finas a la atmósfera e investigar los flujos turbulentos que se generan cuando un flujo de aire atraviesa un obstáculo a baja altura.

Desarrollo

1- Etapa de preprocesamiento. Características de la superficie. Modelización.

Para el diseño del modelo en 3D se realizó un relevamiento de los marcos de plantación y configuraciones más usuales la *Vitis vinífera* L en sistemas de conducción espaldera alta tradicional en la Provincia de Mendoza, para el presente estudio se optó por marco de plantación de 2 m x 1,5 m, 6,00 m entre postes, 1,75 m de altura (Novello, 2021).

El modelado de los campos de cultivos se realizó en SketchUp® que es un software de diseño 3D, los archivos se exportaron como estereolitografía (.stl) que define la geometría de objetos, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas (Garrell y Gillera, 2019). En el diseño del modelo, se simplificó por formas rectas hexaédricas para evitar el gasto computacional (Figura 1).

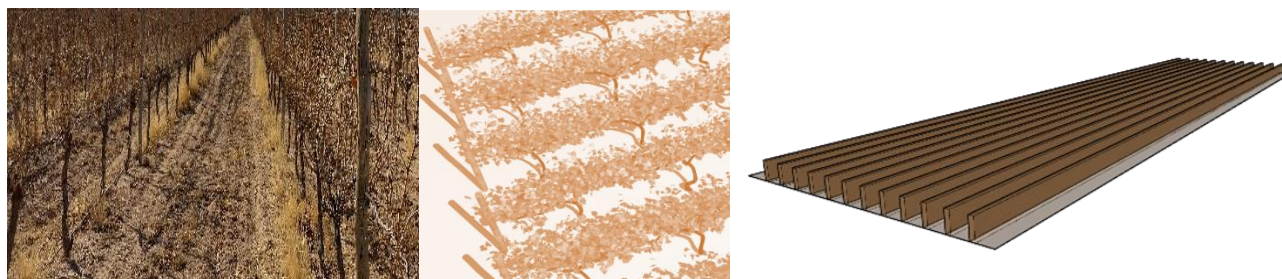


Figura 1: conversión de campo real a modelo 3D en stl de campos de cultivo de vid en espaldera.

Previo a la ejecución del algoritmo SIMPLE, se definieron las condiciones de contorno en las que se realizarán el ensayo, para ello se utilizaron las herramientas provistas por openFOAM: la generación de malla con la aplicación del blockMesh, el refinado de superficies con snappyHexMesh, y la comprobación de errores con checkMesh (Figura 2).

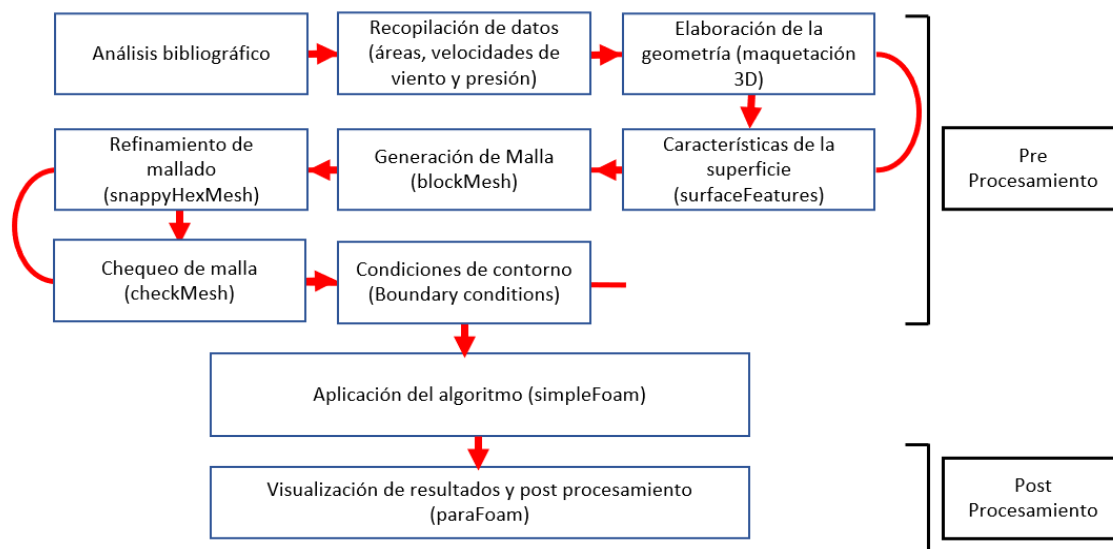


Figura 2: ilustra el flujo de trabajo para el preprocesamiento efectuado para el modelado de campos de cultivos de vid en espaldera, su correspondiente maquetado digital en 3D en base a las características de las superficies, malla en bloques y refinado de la superficie original (OpenFOAM, 2022).

2- Simulaciones en OpenFOAM®

Para las simulaciones computarizadas se utilizó OpenFOAM®, que es un software libre para la simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD). El solver elegido es el método semi implícito para algoritmos de ecuaciones ligadas a la presión (SIMPLE) que se basa en la discretización por volúmenes finitos de las ecuaciones de Navier Stokes. El método fue introducido por S.V Patankar y D.B Spalding (1972).

En los problemas de la mecánica de fluidos computacional se emplea la discretización de las ecuaciones gobernantes para obtener valores de aquellas variables de interés en todo el dominio deseado. El modelo computacional resuelve el sistema de ecuaciones de Navier-Stokes para el flujo de fluidos incompresibles ($\partial\rho/\partial t = 0$), se basa en evaluar algunas soluciones iniciales y luego corregirlas. Estos algoritmos son procedimientos iterativos para resolver ecuaciones de velocidad y presión para estado estacionario ($dV/\partial t = 0$).

El algoritmo SIMPLE de OpenFOAM® se usa para conectar las ecuaciones discretizadas de continuidad [1] y [2] y cantidad de movimiento [3] y [4]

$$\partial\rho/\partial t + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad [1]$$

donde: ρ es la densidad del aire, V es el vector velocidad en x

Se asume que la densidad no varía a lo largo del flujo es constante ($\partial\rho/\partial\phi=0$) entonces [1] se simplifica a:

$$\nabla \cdot V = 0 \quad [2]$$

La conservación de momento lineal:

$$\rho [DV/Dt + (V \cdot \nabla) V] = -\nabla p + \mu \nabla^2 V + \rho f \quad [3]$$

dividida por la densidad (ρ) la ecuación de Navier Stokes queda:

$$(DV/Dt + (V \cdot \nabla) V) = -1/\rho \nabla p + \mu \nabla^2 V + \rho f \quad [4]$$

donde:

μ es la constante de viscosidad cinemática, p es la presión, f la fuerza por unidad de masa.

El funcionamiento del algoritmo SIMPLE se grafica en la figura 3. En todos los casos, los resultados de cada iteración cumplen con las ecuaciones de cantidad de energía, movimiento y cantidad de momento.

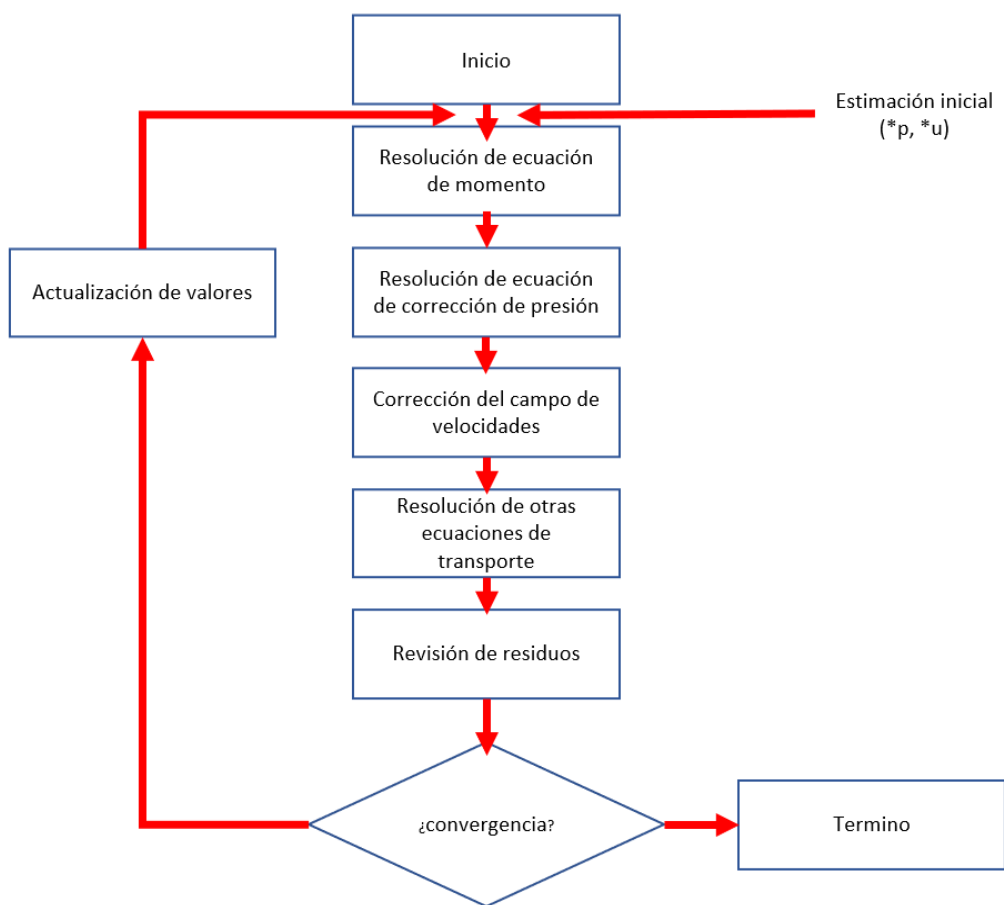


Figura 3: esquema de funcionamiento del algoritmo SIMPLE (OpenFOAM, 2022).

Estación meteorológica Servicio Meteorológico Nacional	Valor medio de velocidad del viento (m/s)												Promedio	Mínimo anual	Máximo anual
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre			
San Martín	2,0	1,7	1,7	1,4	1,3	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3	2,1	1,7	1,3	2,3
Mendoza Aeropuerto	2,3	1,9	1,7	1,4	1,3	1,2	1,4	1,7	1,9	2,3	2,5	2,4	1,8	1,2	2,5
Mendoza Observatorio	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,4	1,6	1,4	1,2	1,0	1,6
Malargüe Aeropuerto	2,4	2,2	1,8	1,9	1,9	2,3	2,7	2,6	2,6	3,0	3,0	2,8	2,4	1,8	3,0
Promedio mensual	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	1,4	1,6	1,8	1,9	2,2	2,3	2,2	1,8	1,0	3,0

Tabla 1: Valor medio de velocidad del viento (m/s) para las estaciones San Martín, Aeropuerto de Mendoza, Observatorio de Mendoza y Aeropuerto de Malargüe.

3- Etapa de post procesamiento

Para graficar los resultados se utilizó ParaView 5.7® que es un programa multiplataforma de análisis y visualización de datos (Pogorelow Morales, 2021).

4- Ensayos realizados

Se realizaron dos ensayos donde se fijaron como condiciones de contorno velocidades de vientos en una sola dirección (se asume que las componentes de las velocidades en z e y son igual a cero) $V1 = 1\text{ m/s}$ y $V2 = 3\text{ m/s}$ (3 y 10.8 km/h respectivamente). Se evaluó el comportamiento del flujo de aire en función del cambio de la orientación del campo de cultivo en el sentido paralelo y perpendicular de éste.

Los valores de la velocidad de viento utilizados provienen de la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional, promediados anualmente, para el presente trabajo se tomaron como referencia el valor máximo y el mínimo (tabla 1).

Resultados

Se observó en las pruebas realizadas a distintas velocidades ($v1 = 1\text{ m/s}$ y $v2 = 3\text{ m/s}$) en el sentido paralelo a la orientación del viñedo que el flujo de aire circula entre las plantas y no aumenta de velocidad. Hacia el final de las filas de viñedos se genera un incremento de velocidad del viento (figura 4a y 5a).

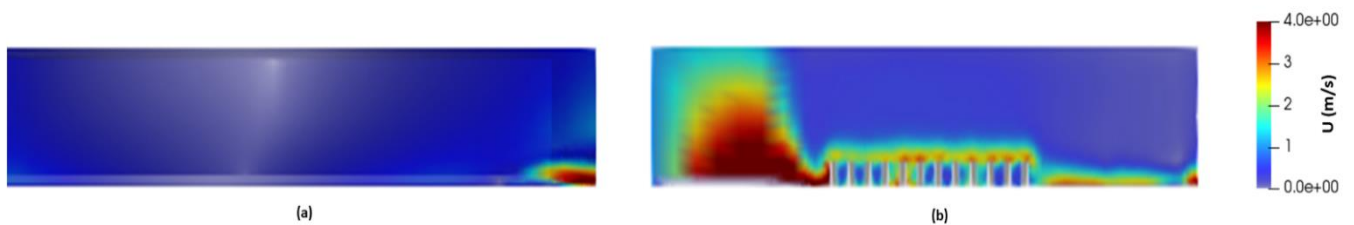


Figura 4: post procesamiento en ParaView 5.7 ® de los resultados obtenidos en openfoam con el algoritmo SIMPLE. Para velocidad $U = 1\text{ m/s}$ en sentido paralelo (a) y perpendicular al viñedo (b).

En cambio, en la plantación perpendicular a la orientación del viento existe un incremento de la velocidad debido a la oposición que hace el cultivo, generando turbulencias (figura 4b y 5b).

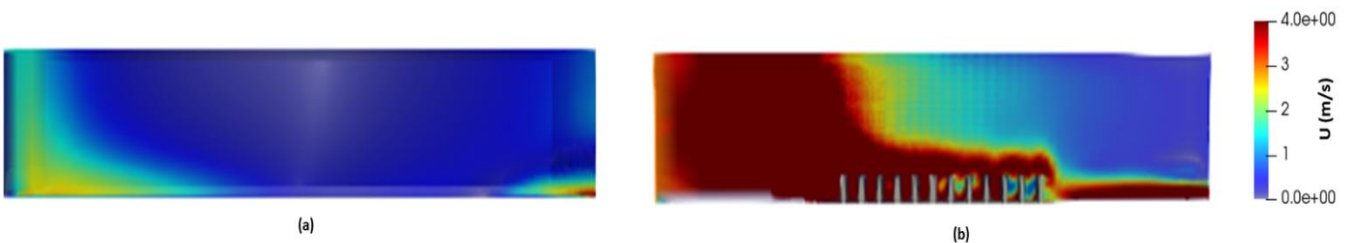


Figura 5: post procesamiento en ParaView 5.7 ® de los resultados obtenidos en openfoam con el algoritmo SIMPLE. Para velocidad $U = 3\text{ m/s}$ en sentido paralelo (a) y perpendicular al viñedo (b).

Conclusiones

La plantación funciona como un obstáculo que hace que se formen vorticidades, donde se generan zonas de velocidades más altas, este fenómeno depende de la porosidad de la plantación. El grado de porosidad influye en la reducción de la velocidad del viento y varía en función de las diferentes estaciones del año. El efecto de frenado del viento que un obstáculo produce aumenta con la altura y la longitud de este. Como consecuencia, el efecto observado será más pronunciado cerca del obstáculo y cerca del suelo.

Referencias

- Aimar, B. (2016) Calidad del material erosionado por el viento en suelos de Argentina (tesis doctoral). Recuperado de <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/4170>.
- Casas R. R., Damiano, F. (2020). Buenas prácticas de manejo y conservación del suelo y del agua en la Argentina. FECIC. Buenos Aires.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (2015). Estado Mundial del Recurso Suelo. Resumen Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia.
- Garrell Guiu, A. & Guilera Agüera, L. (2019) La Industria 4.0 en la sociedad digital 1.ª edición. España. ISBN 978-84-17313-86-9.
- Instituto Nacional de Vitivinicultura (2022). Informe anual de superficie 2021. Mendoza, Argentina – Marzo 2022 Informe elaborado por Dirección de Estadísticas Públicas y Relaciones Internacionales.
- Instituto Nacional de Tecnología Agroindustrial INTA (2019) El 36 % del suelo argentino sufre procesos de Erosión. Noticias. Recursos naturales. 02 de octubre de 2019 Recuperado de <https://intainforma.inta.gob.ar/el-36-del-suelo-argentino-sufreprocesos-de-erosion/>
- Kheirabadi, H.; Mahmoodabadi, M.; Jalali, V.; Naghavi, H. (2018) Sediment flux, wind erosion and net erosion influenced by soil bed length, wind velocity and aggregate size distribution, *Geoderma*, Volume 323, 2018, Pages 22-30, ISSN 0016-7061, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.042>.
- Lancaster, N. (2014) Aeolian Processes Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier, DOI 10.1016/B978-0-12-409548-9.09126-0
- Miri, A., Dragovich, D. y Dong, Z. Vegetation morphologic and aerodynamic characteristics reduce aeolian erosion. *Scientific Reports* 7,(12831) pp1-9 DOI: 10.1038/s41598-017-13084-x.
- Novello, José Raúl (2021) Estimación de costos de producción de vid para vinificar para el Oasis Este de Mendoza. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Junín; Argentina Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12123/9024>.
- OpenFOAM (2022) The Open Source CFD Toolbox. Tutorial Guide Version v2206. 24th June 2022.
- OpenFOAM (2022) The Open Source CFD Toolbox. User Guide. Version v2206. 24th June 2022.
- Oteng'i, S.B.B., C.J. Stigter; J.K. Ng'anga & D.N. Mungai (2000). Wind protection in a hedged agroforestry system in semiarid kenya. *Agrofor. syst.* 50:137-156.
- Patankar, S. , & Spalding, D. (1972). A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 15(10), 1787–1806. doi:10.1016/0017-9310(72)90054-3.
- Pogorelow Morales, P.A. (2021) Análisis comparativo entre herramientas de simulación fluidodinámica (CFD). Tesis de grado. Universidad de Chile, Santiago de Chile. Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181821>.
- Sherman, D. (2020) Understanding wind-blown sand: Six vexations, *Geomorphology*, Volume 366, 2020, 107193, ISSN 0169-555X, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107193>.
- Yang, F., Yang, X., Huo, W., Ali, M., Zheng, X., Zhou, C., & He, Q. (2017). A continuously weighing, high frequency sand trap: Wind tunnel and field evaluations. *Geomorphology*, 293, 84–92. doi:10.1016/j.geomorph.2017.04.008