

Primera aproximación del factor de erosividad R en Misiones mediante la aplicación del Índice Modificado de Fournier

First approximation of the erosivity factor R in Misiones through the application of Modified Fournier Index

Fátima Schoninger⁽¹⁾, José Javier Fernandez⁽²⁾, Alberto Ismael Juan Vich⁽³⁾,
Darío Tomás Rodríguez⁽⁴⁾ y Ariana Giselle Seufert⁽⁵⁾

- ⁽¹⁾ Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil/Física. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Oberá, Misiones, Argentina. e-mail: fatima.schoninger@fio.unam.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1998-0418>
- ⁽²⁾ Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil/Matemática. Oberá, Misiones, Argentina. e-mail: jose.fernandez@fio.unam.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7648-8151>
- ⁽³⁾ Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía, Departamento de Geografía y Letras. Centro Científico Tecnológico, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Mendoza, Argentina. e-mail: aijvich@mendoza-conicet.gob.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0477-2476>
- ⁽⁴⁾ Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil. Oberá, Misiones, Argentina. e-mail: dario.rodriguez@fio.unam.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0553-8946>
- ⁽⁵⁾ Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil/Física. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Oberá, Misiones, Argentina. e-mail: ariana.seufert@fio.unam.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5696-1293>

RESUMEN

Para la toma de decisiones con respecto a los usos de suelo en la provincia de Misiones, es imprescindible conocer la erosión de los mismos, lo cual se dificulta por la falta de información sobre la erosividad de la lluvia. Este artículo tiene como objetivo determinar el factor de erosividad R y la variabilidad temporal de las precipitaciones a partir de diferentes índices como de Fournier (IF), Modificado de Fournier (IMF), de Concentración de Precipitaciones (ICP) y de Erosividad Total (IET). Se utilizaron los registros de 14 estaciones del Sistema Nacional de Información Hídrica de la Red hidrológica Nacional y los datos de la estación meteorológica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Cerro Azul, una serie de 28 años comprendida desde el año 1991 hasta el 2018. Como resultado del estudio se obtuvo una erosividad moderada a fuerte y el índice de IET presenta alta potencialidad erosiva. El alto factor de correlación $R^2 = 0.84$ nos permite usar como dato confiable el factor de erosividad R al correlacionar con IMF, para definir la erosividad de la lluvia y así generar recomendaciones en el manejo y uso de los suelos con la finalidad de la conservación de los mismos.

Palabras clave: Erosión, Factor de Erosividad R, Precipitaciones, Índices, Misiones.

ABSTRACT

To make decisions regarding land use in the province of Misiones, it is essential to know their erosion, which is made difficult by the lack of information on the erosivity of rain. The objective of this article is to determine the erosivity factor R and the temporal variability of precipitation from different indices such as Fournier (IF), Modified Fournier (IMF), Precipitation Concentration (ICP) and Total Erosivity (EIT). Records from 14 stations of the National Water Information System of the National Hydrological Network and data from the meteorological station of the National Institute of Agricultural Technology (INTA) Cerro Azul were used, a series of 28 years from 1991 to 2018. As a result of the study, moderate to strong erosivity was obtained and the ETI index presents high erosive potential. The high correlation factor $R^2 = 0.84$ allows us to use the erosivity factor R as reliable data when correlating with IET, to define the erosivity of rain and thus generate recommendations for the management and use of soils for the purpose of conservation thereof.

Keywords: Erosion, Erosivity Factor R, Rainfall, Indices, Misiones.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Misiones se ubica en la región noreste de la República Argentina, limita al oeste con la República del Paraguay, siendo su límite el río Paraná; al sur con la provincia de Corrientes; al este y norte con la República Federativa de Brasil, limitada por los ríos Iguazú, San Antonio, Pepirí Guazú y el Uruguay. Misiones posee una extensión de alrededor de 29801 km², lo que la convierte en una de las provincias más pequeñas de Argentina.

Gran parte de Misiones está cubierta por selva subtropical conocida como "Selva Misionera" o "Selva Paranaense", que forma parte del ecosistema de la Selva o Mata Atlántica (Instituto Provincial de Estadística y Censos [IPEyC], 2015). La Mata Atlántica se encuentra en Brasil, Paraguay y Argentina, sin embargo, de su extensión original queda tan solo el 16.8% debido a que la misma se fue transformando a consecuencia de las actividades humanas como la deforestación y el crecimiento de la frontera agrícola. En Misiones se encuentra la mayor superficie de selva original existente, correspondiente al 46% de la superficie de nuestra provincia, según el Gobierno de la Provincia de Misiones (2020). El régimen de precipitaciones en la provincia de Misiones se caracteriza por ser húmedo y lluvioso durante gran parte del año. Su ubicación geográfica, influenciada por la cercanía de la selva amazónica y el clima subtropical, contribuye a su alto nivel de precipitaciones, que como promedio es 1950 mm anuales y la convierte en una de las regiones más lluviosas del país (Silva et al., 2014; Prytz Nilson et al., 28 de agosto de 2019; y Fernandez, 24-28 de octubre de 2022).

Históricamente en la región serrana de Misiones, la selva Paranaense autóctona contribuía a minimizar las afectaciones negativas originadas por las intensas precipitaciones, reduciendo los volúmenes de escurrimiento directo y las velocidades de flujo, a la vez que el sistema radicular de la vegetación aporta al sustento del suelo, mitigando así los procesos erosivos.

Particularmente los procesos de la erosión de los suelos han tomado mayor relevancia en los últimos tiempos ya que, sumado a los agentes naturales que lo accionan como lluvias intensas, las acciones antrópicas por prácticas agrícolas en las altas pendientes potencian este fenómeno (Suárez Díaz, 2001). Los efectos de este proceso comprometen la

sustentabilidad de los sistemas agrarios y rurales en diferentes áreas productivas.

La erosividad de la lluvia es el principal factor para causar la erosión del suelo por el impacto de las gotas de lluvia y el lavado de la superficie cuando se excede la capacidad de infiltración. Se representa por el factor R en los modelos de predicción de la erosión del suelo, como en la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) y su versión revisada (RUSLE). Dado que la lluvia es la fuerza impulsora de la erosión hídrica, la erosividad de la misma es un factor determinante en la USLE y sus versiones revisadas (Cassol et al., 2007).

En este sentido la ecuación desarrollada por Wischmeier (1959) propone el cálculo del factor de erosividad R como el producto de la energía cinética "E" liberada por la lluvia y el producto de la intensidad máxima de precipitación en 30 minutos I_{30} , conocido como EI_{30} . Sin embargo, este método requiere contar con el uso de fajas 1850 pluviográficas de una larga serie de años, lo cual es un trabajo dificultoso y que requiere un considerable tiempo para la realización de la tarea.

Varios autores como Ramírez Ortiz (2005), Gaspari et al. (2008), Crettaz et al. (2016), Condori Tintaya et al. (2022), Beron de la Puente y Gil (2023) relacionan el factor de erosividad R con parámetros más sencillos de obtener (Precipitaciones Media Mensuales e Índice Modificado de Fournier). Además, se determinó el Índice de Erosividad Total y el Índice de Concentración de las Precipitaciones.

OBJETIVOS

La presente publicación tiene como objetivo determinar el factor de erosividad R y la variabilidad temporal de las precipitaciones a partir del Índice Modificado de Fournier (IMF), y caracterizar las precipitaciones con el Índice de Concentración de Precipitaciones (ICP) y el Índice de Erosividad Total (IET), utilizando datos disponibles de registros de 14 estaciones del Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH) (s.f.) de la Red Hidrológica Nacional comprendida desde el año 1991 hasta el 2018, es decir una serie de 28 años, además de los datos de la Estación del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Cerro Azul del Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica (s.f.), en la región de la

provincia de Misiones, con vistas a la calibración de modelos de erosión hídrica en zonas productivas.

METODOLOGÍA

Se realizó el análisis de los datos de precipitaciones de 14 estaciones proporcionadas por el Sistema Nacional de Información Hídrica (s.f.) de la Red Hidrológica Nacional para el periodo comprendido entre los años 1991 al 2018, se consideró este periodo por contar con la mayor cantidad de información. Los datos mensuales faltantes se completaron con el método directo, siguiendo a Orsolini et al. (2017). Además de contar con los datos de la estación del INTA de Cerro Azul. Las estaciones analizadas se

presentan en la Tabla 1 y se visualizan geográficamente la distribución espacial de cada una de ellas en la Figura 1.

Luego para estimar el factor de erosividad R y la variabilidad temporal de las precipitaciones se utilizaron diferentes índices como ser el Índice de Fournier (IF), Modificado de Fournier (IMF), de Concentración de Precipitaciones (ICP) y de Erosividad Total (IET). Así mismo, para el cálculo del factor de erosividad, se emplearon las ecuaciones de Rufino et al. (1993) desarrollada para el sur de Brasil citado por da Silva (2004) y Schoninger (30 de octubre de 2023), y la metodología propuesta por Arnoldus (1978) citado por Basile et al. (2008), donde se propone evaluar el índice de erosividad R mediante el IMF.

Tabla 1. Estaciones analizadas.

Estación	Nombre	Ubicación	
		Latitud Sur	Longitud Oeste
E1	Puerto Concepción	28° 07' 07,6"	55° 34' 51,6"
E2	San Javier	27° 52' 8,4"	55° 07' 48"
E3	Colonia Mártires	27° 24' 3,6"	55° 20' 06"
E4	Campo Grande	27° 13' 26,4"	54° 58' 8,4"
E5	Aristóbulo del Valle	27° 05' 38,4"	54° 52' 8,4"
E6	El Soberbio	27° 17' 56,4"	54° 11' 38,4"
E7	Pepirí Miní	27° 9' 14,4"	53° 55' 58,8"
E8	San Vicente	27°	54° 30' 25,2"
E9	El Alcázar	26° 45' 3,6"	54° 45' 21,6"
E10	San Pedro	26° 38' 6"	54° 5' 24"
E11	Pinar Ciba	26° 30' 43,2"	54° 27' 14,4"
E12	Valle Hermoso	26° 21' 18"	54° 29' 52,8"
E13	Puerto Andresito	25° 35' 27,6"	53° 59' 42"
E14	Itá Cajón	25° 36' 14,4"	54° 35' 34,8"
E15	INTA Cerro Azul	27° 39' 24,7"	55° 26' 13,4"

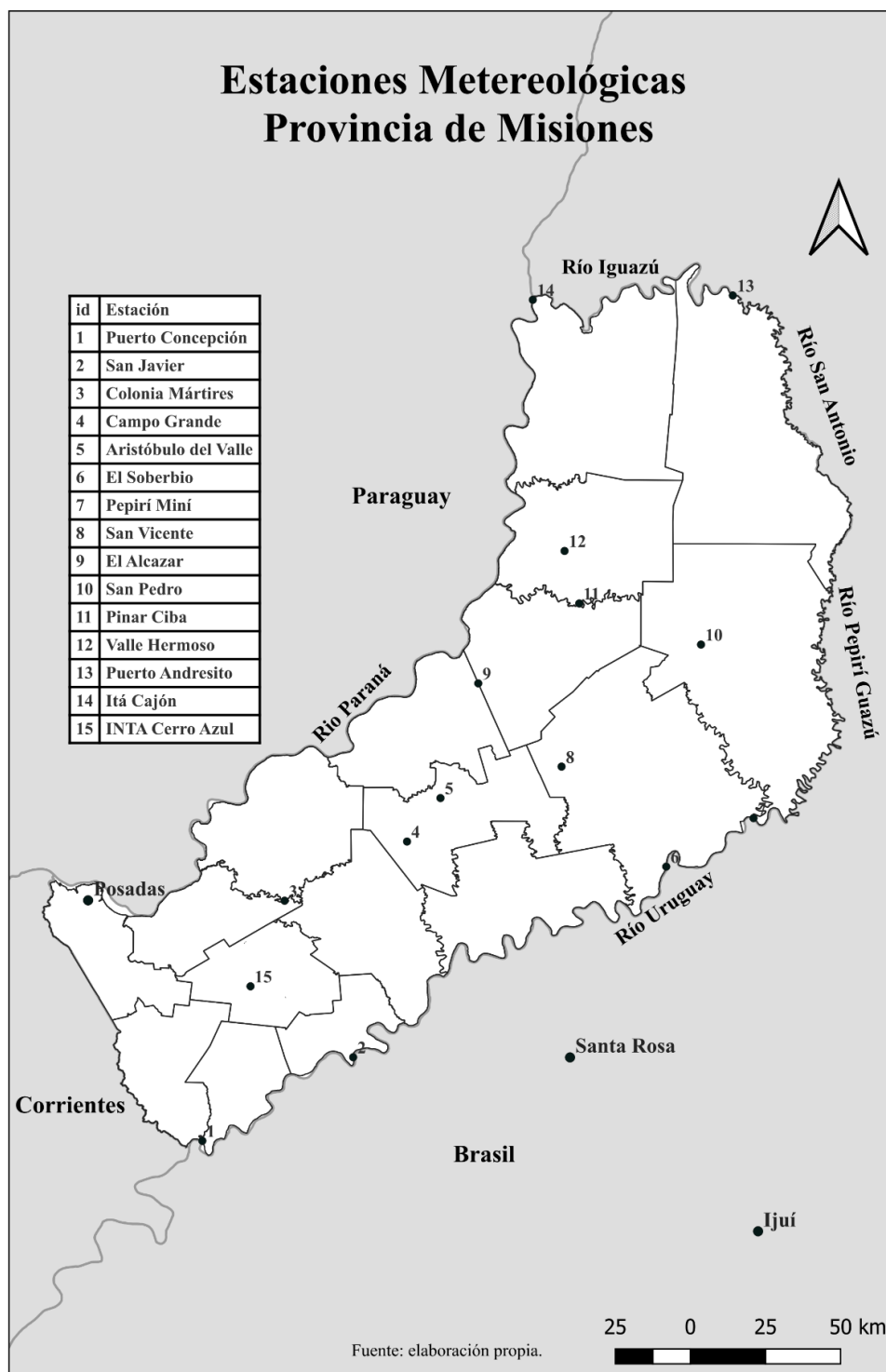


Figura 1. Estaciones analizadas.

Índice de Fournier

Fournier (1960) estableció un modelo de estimación de la producción de sedimentos que considera

partículas en suspensión y arrastre. Como parámetro representativo del factor climático se calculó el índice de agresividad climática o Índice de Fournier (IF), ecuación (1).

$$IF = \frac{p_{Máx}^2}{p} \text{ [mm]} \quad (1)$$

En dicha expresión:

$p_{Máx}$: precipitación mensual máxima,

p : precipitación anual.

Índice de Fournier Modificado

El Índice de Fournier Modificado (IMF) por Arnoldus (1978) considera las precipitaciones de todos los meses y se presenta como una aproximación rápida del factor de agresividad de la lluvia en mm, ecuación (2).

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{p} \text{ [mm]} \quad (2)$$

Siendo:

p_i : precipitación mensual correspondiente al i-ésimo mes,

p : la precipitación anual.

Índice de Concentración de las Precipitaciones

Con el Índice de Concentración de Precipitaciones se determina la variación temporal de la distribución de las lluvias, ecuación (3).

$$ICP(\%) = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{p^2} \times 100 \quad (3)$$

Siendo:

p_i : precipitación mensual correspondiente al i-ésimo mes,

p : la precipitación anual.

La clasificación de los índices nombrados se hace mediante la Tabla 2, según Oliver (1980), citado por Beron de la Puente y Gil (2023).

Índice de Erosividad Total

El Índice de Erosividad Total (IET) combina el índice de agresividad de las precipitaciones IMF y el de estacionalidad ICP, ecuación (4). Clasificándolo según la Tabla 3 (Vega y Flebes, 2008, citado por Beron de la Puente y Gil, 2023).

$$IET = IMF \times ICP \quad (4)$$

Tabla 2. Clasificación de IF, IMF e ICP.

Índice	Valor	Clasificación
Índice de Fournier (IF) [mm]	<15	Muy bajo
	16-30	Bajo
	30-50	Moderado
	50-65	Alto
	>65	Muy alto
Índice Modificado de Fournier (IMF) [mm]	0-60	Muy bajo
	60-90	Bajo
	90-120	Moderado
	120-160	Alto
	>160	Muy alto
Índice de Concentración de Precipitaciones (ICP)	8.3-10%	Uniforme
	10-15%	Moderadamente estacional
	15-20%	Estacional
	20-50%	Altamente Estacional
	50-100%	Irregular

Tabla 3. Clasificación del Índice de Erosividad Total.

IET	Clasificación
Menor a 1500	Baja
1500-2500	Moderada
2500-5000	Alta
Mayor a 5000	Muy alta

En este trabajo se calculó el factor de erosividad a partir de la actualización de la ecuación (5) desarrollada por Rufino et al. (1993) citada en da Silva (2004) y Schoninger et al. (30 de octubre de 2023) para la región 8 según la Figura 2.

$$R_x = 19.55 + 4.20 M_x \text{ [MJ mm/ha h mes]} \quad (5)$$

Siendo:

M_x : la precipitación mensual,

R_x : factor de erosividad mensual.

		
Number	Equation	Author(s)
1	$R_x = 3.76 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right) + 42.77$	Oliveira Jr. and Medina (1990)
2	$R_x = 36.849 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right)^{1.0852}$	Morais et al. (1991)
3	$R_x = (0.66 * M_x) + 8.88$	Oliveira Jr. (1988)
4	$R_x = 42.307 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right) + 69.763$	Silva (2001)
5	$R_x = 0.13 * (M_x^{1.24})$	Leprun (1981)
6	$R_x = 12.592 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right)^{0.6030}$	Val et al. (1986)
7	$R_x = 68.73 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right)^{0.841}$	Lombardi Neto and Moldenhauer (1992)
8	$R_x = 19.55 + (4.20 * M_x)$	Rufino et al. (1993)

Figura 2. Ecuaciones de erosividad para regiones de Brasil (da Silva, 2004).

Se determinó para las 15 estaciones el factor de erosividad mensual y luego el anual (como suma de los mensuales), donde R_x es el factor de erosividad mensual y M_x la precipitación mensual.

La determinación de R, de Rufino et al. (1993), resulta del análisis pluviográfico de eventos erosivos. Cuantificada por el índice EI_{30} (energía cinética por la intensidad máxima en 30 minutos) que compone el factor de erosividad R de los modelos basados en la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) y su versión modificada (RUSLE) (Wischmeier y Smith, 1978). Finalmente, el factor de erosividad anual R resulta de la suma de las EI de todos los eventos del año. Este procedimiento es el empleado para determinar las ecuaciones de la Figura 2.

Luego, según Carvalho (1994) citado por da Silva (2004), se clasifica el factor de erosividad R según la escala en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación del Factor de Erosividad.

Factor de Erosividad R (MJ mm/ ha h año)	Clasificación
$R \leq 2452$	Baja erosividad
$2452 < R < 4905$	Erosividad media
$4905 < R < 7357$	Erosividad media-fuerte
$7357 < R \leq 9810$	Erosividad fuerte
$R > 9810$	Erosividad muy fuerte

Estos índices (IMF, IET, ICP y R) se estimaron para cada año y posteriormente se obtuvo un valor medio para cada una de las 15 estaciones meteorológicas estudiadas en la provincia de Misiones.

Otro cálculo del factor de erosividad R se realizó con metodología propuesta por Arnoldus (1978) citado por Basile et al. (2008), donde se propone evaluar el índice de erosividad R mediante el IMF con la ecuación (6). Se evaluó R en función del Índice de Fournier Modificado y para verificar la correlación existente entre el valor de $R=f(EI_{30})$ y el valor de $R=f(IMF)$, se procesó 1031 tormentas en Rosario durante el período 1986-1998.

$$\log R = 1.93 \times \log IMF - 1.52 \quad (6)$$

Como R resulta en [(ton pie pulgada)/(acre h)], debe ser multiplicado por un factor de 17.02 según Rodríguez (2018), para obtener R en unidades de [(MJ mm)/(ha h)].

RESULTADOS

En la Tabla 5 se presenta un resumen de los distintos índices calculados por estación, para ello se determinó el índice para cada año de la serie analizada y luego un

valor medio para cada estación meteorológica de las estudiadas en la provincia de Misiones.

Como se puede observar en la Tabla 5, el Índice de Fournier se caracteriza como bajo a moderado, mientras que el Índice Modificado de Fournier, el cual tiene en cuenta las precipitaciones de todos los meses, resultó ser muy alto. El Índice de Concentración de Precipitaciones es uniforme. El Índice de Erosividad Total es moderado, mientras que en el factor de erosividad R resultó ser alto (strong erosivity) según la clasificación realizada en este estudio.

La Figura 3 muestra que el coeficiente de correlación al cuadrado es alto entre el factor de erosividad R (resultado de la metodología propuesta por Rufino et al., 1993) y el Índice Modificado de Fournier IMF ($R^2 = 0.84$). La ecuación de regresión obtenida es la ecuación (7) y permite estimar el factor de erosividad R de forma satisfactoria a través del Índice Modificado de Fournier:

$$R = 6.3718 \times IMF^{1.3302} \quad (7)$$

Esta ecuación hallada es posible aplicar en diferentes regiones que posean regímenes pluviométricos similares al de la provincia de Misiones.

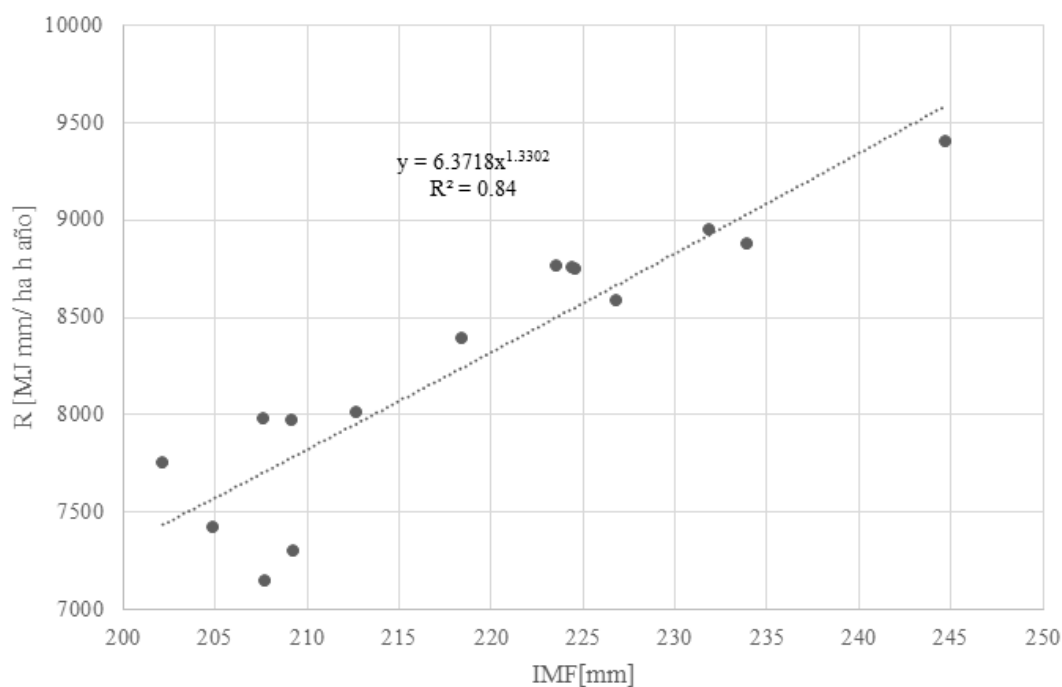


Figura 3. Relación entre el Índice Modificado de Fournier (IMF) y el Factor de Erosividad R.

Tabla 5. Resumen de Índices y Factores de Erosividad.

Índices	IF [mm]	IMF [mm]	ICP [%]	IET	R (Rufino et al., 1993) [MJ mm/ ha h año]	R (Arnoldus, 1978) [MJ mm/ ha h año]
E1	32.7	209.3	9.1	1900.2	7303.3	15489.7
E2	30	204.9	9.0	1835.6	7419.7	14867.4
E3	25.2	218.4	8.8	1921.2	8389.4	16815.8
E4	32.6	233.9	8.8	2060.7	8875.3	19195.0
E5	27.5	231.9	8.6	1999.0	8948.2	18879.5
E6	32.2	207.6	8.7	1810.9	7977.6	15247.8
E7	29.5	209.2	8.7	1821.3	7972.5	15475.5
E8	32.6	224.6	8.8	1973.2	8744.2	17749.3
E9	31.1	224.4	8.7	1950.5	8757.4	17718.8
E10	33.5	244.7	8.7	2129.7	9402.9	20942.2
E11	24.4	223.6	8.7	1942.4	8762.2	17597.1
E12	30.5	202.2	8.8	1775.6	7753.9	14491.6
E13	27.1	212.7	8.8	1878.6	8012.7	15979.0
E14	25.7	207.7	8.9	1855.8	7151.6	15262.0
E15	33.9	226.8	8.9	2027.3	8585.1	18086.3
Clasificación	Bajo/Moderado	Muy alto	Uniforme	Moderado	Alto	

Los valores hallados por la metodología de Rufino et al. (1993) se pueden contrastar con Gvozdenovich et al. (2015) citado por Rodríguez (2018), donde los valores del factor de erosividad R, determinados por el método antes mencionado utilizando fajas pluviográficas, para algunos puntos de la provincia de Misiones son los de la Tabla 6.

Tabla 6. Valores del índice de erosividad R para la provincia de Misiones.

Estación Meteorológica	R [(MJ mm)/(ha h año)]
Cerro Azul	12010
Posadas	10810
Puerto Iguazú	10130

Los valores del factor de erosividad R calculados por la ecuación de Rufino et al. (1993) resultan verosímiles al compararlos con otros estudios similares realizados para regiones cercanas, tanto de la provincia de Misiones como en el estado de Rio Grande do Sul en Brasil, siendo para Ijuí (8825 MJ mm/ ha h año) y Santa Rosa (11217 MJ mm/ ha h año), ciudades que se encuentran a 125 km y 40 km respectivamente de la región en estudio (Muzarana et

al., 2009; y Cassol et al., 2007). Por lo antes presentado se puede afirmar que son valores cercanos a pesar de que se utilizaron diferentes periodos temporales en el cálculo de las precipitaciones promedio. Sin embargo, los resultados hallados a través del método Arnoldus (1978) presentan una mayor discrepancia en la zona analizada. Debido a esto es que se utilizan los valores hallados por el método de Rufino et al. (1993) para hallar una ecuación que sea representativa para la provincia de Misiones.

En la Figura 4 se observa el IMF para la E14, la que cuenta con el factor de erosividad R mínimo calculado en la Tabla 5, indicando en la misma el IMF medio anual que resulta del IMF promedio para la serie de años analizada. La Figura 5 presenta el IMF para la E10, la cual resultó poseer el factor de erosividad R máximo calculado en la Tabla 5, en el periodo estudiado, presentando el IMF medio anual como el promedio de los IMF para ese lapso de tiempo.

En la Figura 6 se observa el factor de erosividad R para la E14 la que cuenta con el factor de erosividad

R mínimo, indicando en la misma el R medio anual que resulta del factor de erosividad R promedio para la serie de años analizada.

La Figura 7 presenta el factor de erosividad R para la E10, la cual resultó poseer el factor de erosividad R máximo en el periodo estudiado, presentando también el R medio anual. Los valores calculados con el método de Rufino et al. (1993) y los obtenidos de la ecuación (7) presentan una diferencia máxima del 6%.

En la Figura 8 se observa el factor de erosividad R mensual para la E14 la que cuenta con el factor de erosividad R mínimo, correspondiente al año 1995,

donde se corresponden los meses con menor R coincidentes con los de menor precipitación, en este caso, junio y julio.

La Figura 9 presenta el factor de erosividad R mensual en el año 2014 para la E10 la cual resultó poseer el factor de erosividad máximo, en el periodo analizado, donde en el mes de julio claramente poseen las mayores precipitaciones y con ello un mayor factor de erosividad R, coincidente con la crecida del río Uruguay debido a lluvias extraordinarias en la región (MET Uruguay, 8 de julio de 2014), que en dicho año registró un módulo pluviométrico de 3096.5 mm según Fernandez (24-28 de octubre de 2022).

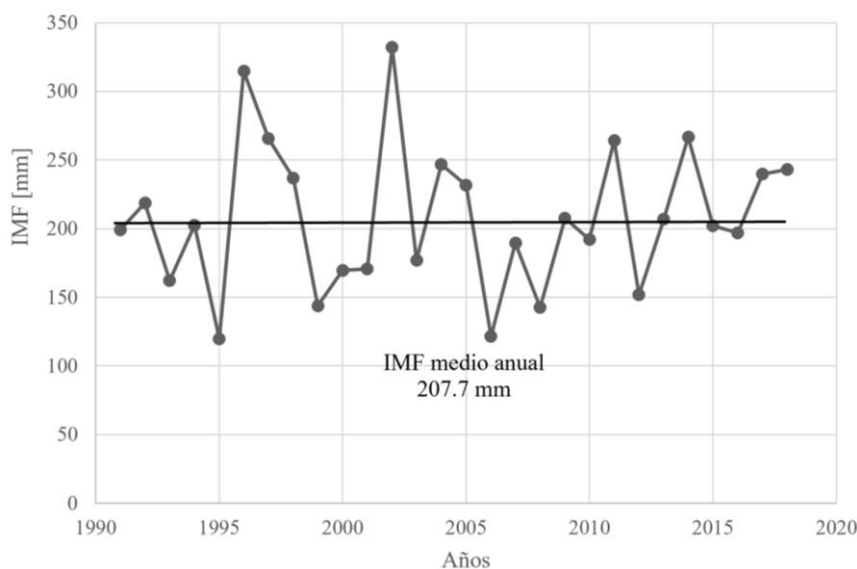


Figura 4. Índice Modificado de Fournier (IMF) - E14.

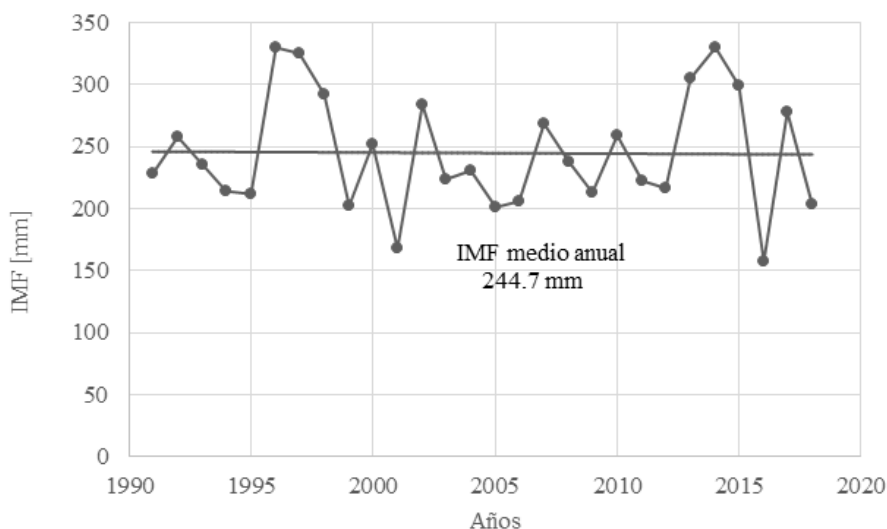


Figura 5. Índice Modificado de Fournier (IMF) - E10.

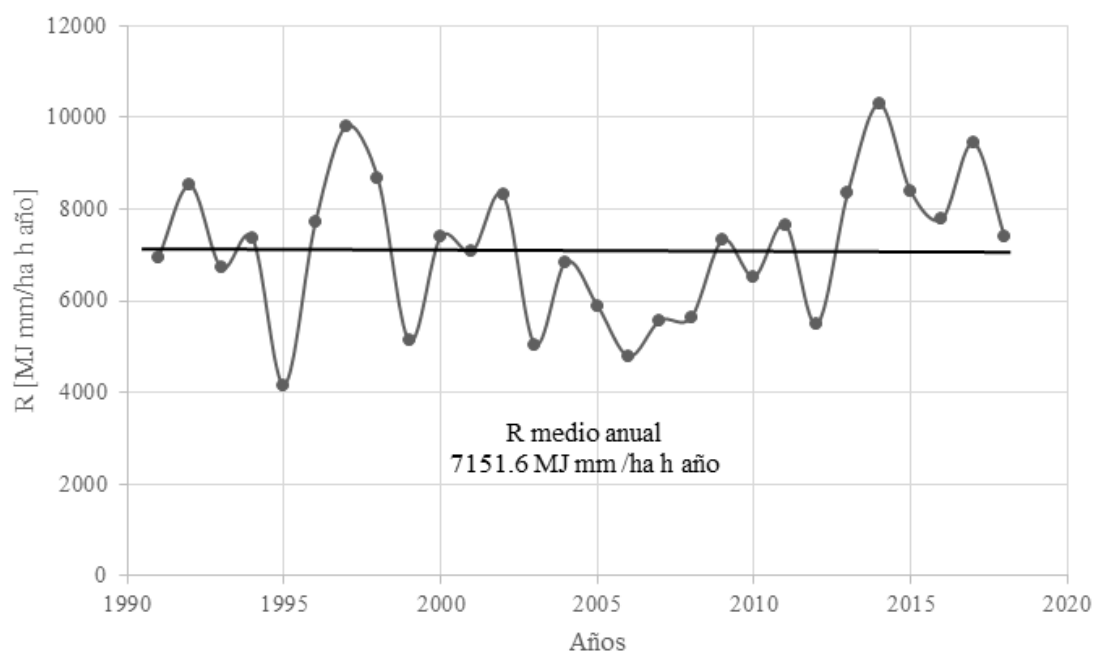


Figura 6. Factor de Erosividad R - E14.

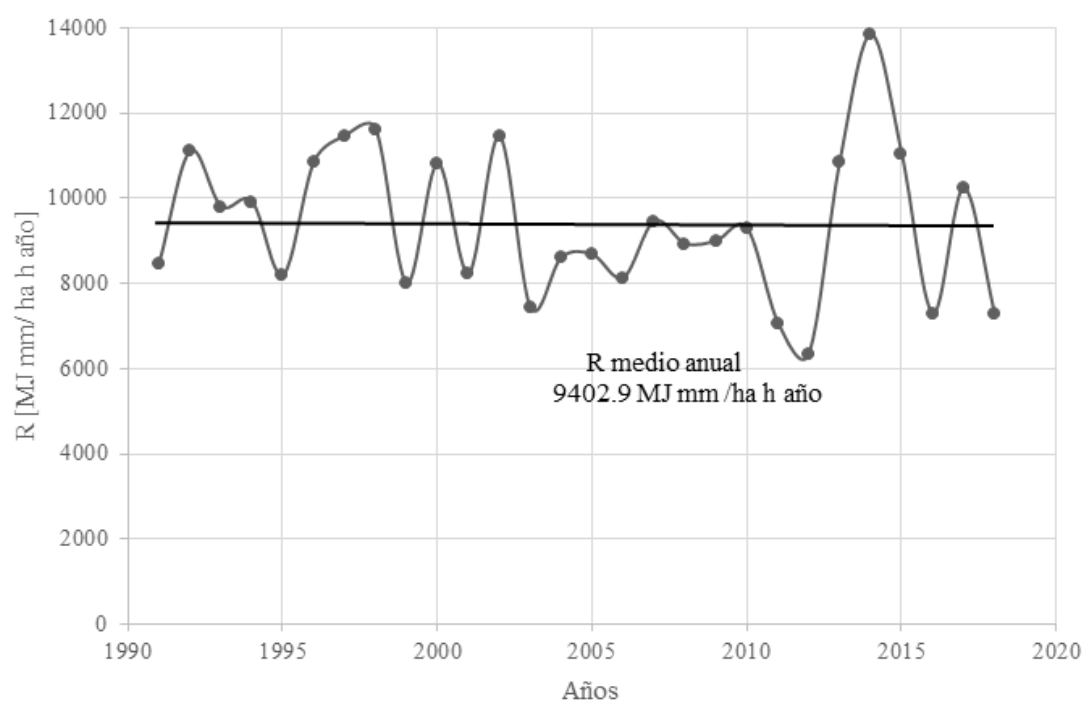


Figura 7. Factor de Erosividad R - E10.

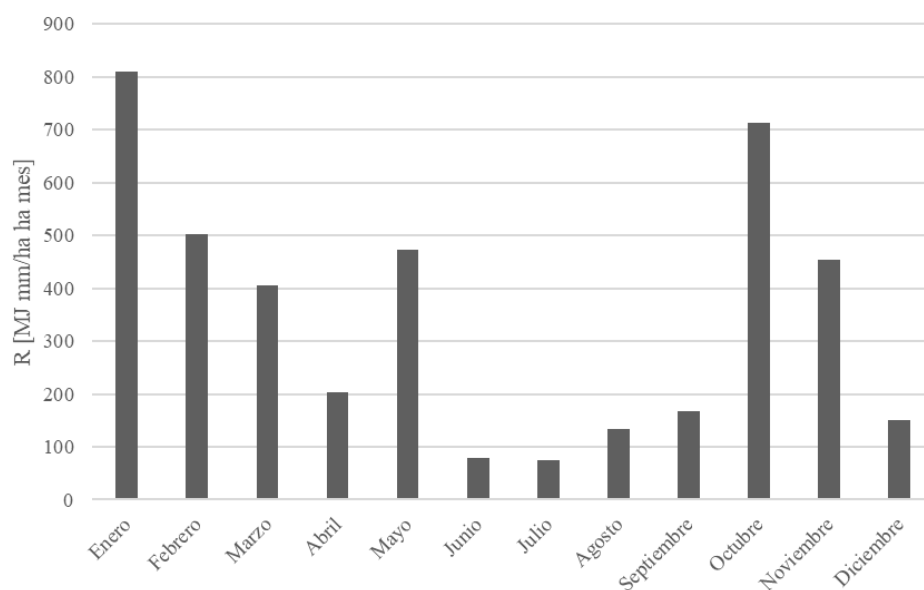


Figura 8. Factor de Erosividad R Mensual, año 1995 - E14.

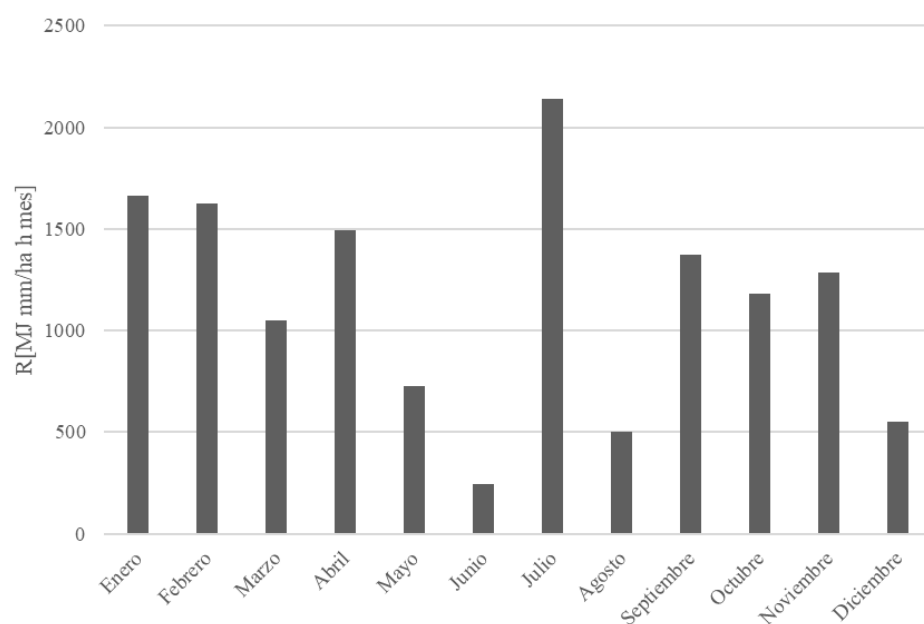


Figura 9. Factor de Erosividad R Mensual, año 2014 - E10.

CONCLUSIONES

El Índice de Concentración de Precipitaciones mantiene un valor cercano a 9 como promedio de todas las estaciones, con una variabilidad menor al 5% sobre las precipitaciones de cada estación, lo que hace suponer una zona homogénea.

El Índice Modificado de Fournier presenta un elevado ajuste con el factor de Erosividad R ($R^2 = 0.84$)

indicando la posibilidad de aplicar estos índices para estudiar la erosión y poder generar propuestas tendientes al control de la erosión hídrica en áreas productivas en la provincia de Misiones.

El factor de erosividad R de la lluvia anual calculado con el método de Rufino et al. (1993) en la provincia de Misiones varió de 7151.6 a 9402.9 MJ mm/ha h año, con un valor medio del factor de erosividad R de 8270.4 MJ mm/ha h año, los cuales son resultados

aceptables y verosímiles comparados con valores de otros trabajos realizados por ejemplo para diferentes puntos de la provincia (Posadas, Iguazú y Cerro Azul) por el INTA y de las ciudades de Santa Rosa e Ijuí, ambas en el país vecino de Brasil. Siendo este método el que mejor se ajusta a la provincia, ya que por diferentes métodos se obtuvieron resultados similares en puntos cercanos a los estudiados.

Sin embargo, la discrepancia observada con el valor promedio propuesto por Arnoldus (1978), donde el factor de erosividad R en promedio es de 16920 MJ mm/ ha h, se puede deber a que, en el desarrollo de su ecuación, el IMF varió entre 20 mm y 160 mm aproximadamente, y en este caso se tienen valores mayores de IMF, no comprendidos en el rango de su análisis. Además, en la ecuación (6), Arnoldus (1978) define IMF medio anual calculado con los valores promedios mensuales y el promedio anual de lluvia y con la ecuación (2) se determina un IMF anual y luego, para una serie de años, se obtiene el promedio. Esto produce valores mayores que los calculados a partir de los valores promedios.

Continuar con el ajuste de la ecuación (7) es un paso crucial para perfeccionar las predicciones sobre la erosión hídrica y mejorar las estrategias de manejo de suelos en la región, el ordenamiento territorial y la implementación de estrategias de conservación; lo que abre nuevas líneas de investigación para abordar de manera más precisa los desafíos de la erosión en la provincia, siendo un insumo valioso para futuras investigaciones y acciones de gestión ambiental.

REFERENCIAS

- Arnoldus, H. M. J. (1978). An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. En M. De Boodst y D. Gabriels (Eds.) *Assessment of erosion*, John Wiley y Sons, Inc. Chichester, Gran Bretaña.
- Basile P. A., Riccardi G. A., Stenta H. R. y Zimmermann E. D. (2008). Desarrollo y aplicación del modelo EROSUP-U para evaluación de la producción de sedimentos a escala de cuenca. En G. A. Riccardi, P. A. Basile, E.D. Zimmermann, H. R. Stenta, C. M. Scuderi, J. P. Rentería y M. L. García (Eds.) *Modelación de procesos hidrológicos asociados al escurrimiento superficial en áreas de llanura*. UNR Editora. (1ra ed., pp. 199-215). UNR Editora. ISBN 978-950-673-691-0. Rosario, Argentina.
- Beron de la Puente, F. J. y Gil, V. (2023). Precipitaciones erosivas en el Sistema de Ventania (Buenos Aires, Argentina). *Párrafos Geográficos*, 22 (1), 51-65. <https://www.revistas.unp.edu.ar/index.php/parrafos-geograficos/article/view/956/803>
- Cassol, E. A., Martins, D., Foletto Eltz, F. L., Silva de Lima, V. y Camara Bueno, A. (2007). Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período 1963 a 1993. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 15(3), 220-231. https://www.researchgate.net/publication/292283840_Erosividade_e_padroes_hidrologicos_das_chuvas_de_Ijuí_RS_no_período_de_1963_a_1993
- Condori Tintaya, F., Pino Vargas, E. y Tacora Villegas, P. (2022). Pérdida de suelos por erosión hídrica en laderas semiáridas de la subcuenca Cairani-Camilaca, Perú. *Idesia*, 40(2), 7-15. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292022000200007>
- Crettaz, E., Gvozdenovich, J. y Saluzzio, M. (2016) Calculo del Factor R de la USLE a través del Índice Modificado de Fournier. Informe del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Paraná. <https://www.researchgate.net/publication/321058206>
- da Silva, A. M. (2004). Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, 57(3), 251-259. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.006>
- Fernandez, J. J. (24-28 de octubre de 2022). *Código Python para el análisis de datos históricos de Precipitación de la Provincia de Misiones*. XXVII Jornada de Pesquisa, Salao do Conhecimento, Unijui, Ijuí, Brasil. <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/22348/20842>
- Fournier, F. (1960). *Climat et érosion: La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques*. Editorial Presses Universitaires de France. Paris.
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E. y Delgado, M. I. (2008). Determinación espacio-temporal del índice de agresividad de precipitaciones en el sistema serrano de Ventania. Provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 49(1), 57-66. <https://www.redalyc.org/pdf/3477/347730375004.pdf>
- Gobierno de la Provincia de Misiones. [Gobierno de Misiones] (2020). Selva Misionera - Misiones concretó el corredor biológico entre los parques Foster y Uruguai [Video]. Youtube. https://youtu.be/NyLYT4I9mLg?si=y_FCaPElnlzhPi0F

- Gvozdenovich, J. J., Barbagelata, P. y López, G. (2015). *INTA-USLE/RUSLE. Manual del Usuario. Software de Erosión Hídrica, Versión 2.0*. INTA, Paraná.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21870.72009>
- Instituto Provincial de Estadística y Censos (2015). *Gran Atlas de Misiones*. Gobierno de la Provincia de Misiones. Posadas, Misiones. 430p.
https://mega.nz/file/oNl3SCxS#ilShTQXtTePcZ8e_sM_Z_Kb-OtoQla9spwjuibbMO4yE
- Mazurana, J., Cassol, E. A., dos Santos, L. C., Eltz, F. L. y Bueno, A. C. (2009). Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa (RS). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13, (Suplemento), 975–983.
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000700021>
- MET Uruguay (8 de julio de 2014). *Crecida del río Uruguay. Más de 1700 evacuados*. Información Meteorológica Nacional.
<https://meturuguay.blogspot.com/2014/07/crecida-del-rio-uruguay-mas-de-1700.html>
- Oliver, J. (1980). Monthly precipitation distribution: a comparative index. *The professional geographer*, 32(3), 300-309. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1980.00300.x>
- Orsolini, H. E., Zimmermann, E. D. y Basile, P. A. (2017). *Hidrología Procesos y Métodos*. UNR Editora, Cuarta Edición, 278 p., ISBN 978-987-702-214-8.
<https://es.scribd.com/document/744547318/Hidrologia-Procesos-y-Metodos-H-orsolini-P-basile>
- Prytz Nilson, G. G., Seufert, A. G., Ulrich, S. M., Payeska, G. E. y Schoninger, F. (28 de agosto de 2019). *Gestión de cuencas hidrográficas: Aplicaciones de SIG para mediciones pluviométricas*. 9º Jornadas de Investigación, Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción. Facultad de Ingeniería, UNaM, Oberá, Misiones.
<https://rid.unam.edu.ar/handle/20.500.12219/4933>
- Ramírez Ortiz, A. (2005). *Evaluación del riesgo por erosión potencial de la zona cafetalera central del departamento de Caldas* [Tesis de grado no publicada]. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima, Colombia.
- Rodríguez, D. T. (2018). Estudio de dinámica de los excedentes hídricos superficiales en cuencas urbanas de alta pendiente y sus implicancias en los procesos erosivos. Caso de estudio región urbana de la ciudad de Oberá, Misiones. [Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario].
<http://hdl.handle.net/2133/22326>
- Rufino, R. L., Biscaia R. C. M., y Merten, G. H. (1993). Determinação do potencial erosivo da chuva no estado de Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 17, 439-444.
- Schoninger, F., Alemeira, G. J., Rodriguez, D. T. y Vich, A. I. J. (30 de octubre de 2023). *Determinación del factor de erosividad R mediante registros diarios de precipitaciones en la provincia de Misiones*. 13º Jornadas de Investigación, Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción. Facultad de Ingeniería, UNaM, Oberá, Misiones.
https://autoresjidetev.fio.unam.edu.ar/index.php/jid_etev/article/view/259/81
- Silva, F., Eibl, B. I. y Bobadilla, E. A. (2014). Características de la precipitación durante 1981-2012 en Eldorado Misiones. *Revista Forestal Yvyrareta*, 21, 35-42.
<http://www.yvyrareta.com.ar/images/descargas/yvyrareta-completo.pdf>
- Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica (s.f.). *Estación meteorológica automática Cerro Azul*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://siga.inta.gob.ar/#/>
- Sistema Nacional de Información Hídrica (s.f.). *Base de Datos*. <https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/hidricas/base-de-datos-hidrologica-integrada>
- Suárez Díaz, J. (2001). *Control de Erosión en Zonas Tropicales*. División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander. ISBN 978-958-3327-34-6.
<https://ediciones.uis.edu.co/index.php/publicaciones/suis/catalog/book/124>
- Vega, M. B. y Flebes, J. M. (2008). La agresividad de la lluvia en áreas rurales de la provincia de La Habana como factor de presión en la sostenibilidad agroambiental. *II Seminario Internacional de Cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos, Sostenibilidad e Indicadores*, Almería, España.
- Wischmeier, W. H. (1959). A rainfall erosion index for a Universal Soil-Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal*, 23(3).
<https://doi.org/10.2136/sssaj1959.03615995002300030027x>
- Wischmeier, W. H. y Smith, D. D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide for conservation planning*. United States Department of Agriculture USDA, Agriculture Handbook Number, 537. Washington, Estados Unidos.
https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/60600505/RUSLE/AH_537%20Predicting%20Rainfall%20Soil%20Losses.pdf

Tipo de Publicación: NOTA TÉCNICA

COMO CITAR

Trabajo recibido el 14/08/2024, aprobado para su publicación el 08/08/2025 y publicado el 18/08/2025.

Schoninger, F., Fernandez, J. J., Vich, A. I. J., Rodriguez, D. T. y Seufert, A. G. (2025). Primera aproximación del factor de erosividad R en Misiones mediante la aplicación del Índice Modificado de Fournier. *Cuadernos del CURIHAM*, 31. e09. <https://doi.org/10.35305/curiham.v31.e09>

ROLES DE AUTORÍA

Nombre y Apellido de los autores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fátima Schoninger	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
José Javier Fernandez												X		X
Alberto Ismael Juan Vich					X							X		
Darío Tomás Rodriguez												X		X
Ariana Giselle Seufert												X		

LICENCIA

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia: Creative Commons Atribución -No Comercial -Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>)

