

# ALGUNOS INDICES DE AGRESIVIDAD PLUVIAL APLICADOS A LA SERIE PLUVIOMÉTRICA 1901-2000 DE SAN MIGUEL DE TUCUMÁN - ARGENTINA

César Manuel Lamelas<sup>1</sup>, Jorge Forciniti<sup>2</sup> Norberto Colacelli<sup>3</sup> y Jorge Delgado<sup>3</sup>

## Introducción

La erosión hídrica afecta a gran parte de los sistemas agrícolas del mundo, provocando pérdidas crecientes en el potencial productivo por la degradación de los suelos y daños en infraestructura hidráulica, vial, ferroviaria, energética, etc.

Existen numerosos modelos para estimar las pérdidas de suelos por erosión hídrica. El más difundido es la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), donde la contribución de las lluvias es valorada a través del factor R (5). Este índice requiere de información pluviográfica, lo que limita marcadamente su utilización a escala geográfica debido a la escasez de este tipo de información. A los fines de superar esta dificultad, se han generado índices que utilizan la información pluviométrica convencional para describir el efecto erosivo de las lluvias.

Este trabajo se propone evaluar el comportamiento temporal de tres índices de agresividad de las precipitaciones, aplicados a los datos de una serie de 100 años de la localidad de San Miguel de Tucumán, como una primera etapa de un estudio a escala provincial.

## Material y Métodos

La información pluviométrica utilizada corresponde a totales mensuales y anuales, de una serie que abarca todo el siglo 20, perteneciente a la localidad de San Miguel de Tucumán (26°48'S - 65°12'W - 481 m).

Se seleccionaron tres índices de agresividad pluvial. En primer término, el Índice de Fournier (IF) (3) que utiliza la precipitación media del mes más lluvioso y la precipitación media anual, según:

$$IF = p \text{ mex}^2 / P$$

en donde:

**IF** : Índice de Fournier.

**p mex**: Precipitación media del mes más lluvioso.

**P**: Precipitación media anual

---

<sup>1</sup> Ing. Agr. Jefe de Sección Agrometeorología, EEAOC; Av. W.Cross 3150-(4101) Las Talitas – Tucumán- Argentina. e-mail: [cmlamelas@hotmail.com](mailto:cmlamelas@hotmail.com).

<sup>2</sup> Téc. Elec. Sección Agrometeorología, EEAOC. e-mail:forcinitijorge@uolsinectis.com.ar

<sup>3</sup> Ings. Agrs. FAZ - UNT.usonorb@manant.unt.edu.ar

A los fines de evaluar la variabilidad interanual del IF, se aplicó la ecuación a todos los años de la serie. Además, para valorar la variación intra-anual se calcularon los IF para todos los meses del año, reemplazando p mex por el total del mes considerado.

En segundo término se trabajó con Índice Modificado de Fournier (IMF), propuesto por Arnoldus (1), que considera a todos los meses y se calcula según:

$$IMF = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P_t}$$

**IMF:** Índice Modificado de Fournier.

**p<sub>i</sub>** : Precipitación media mensual.

**P<sub>t</sub>** : Precipitación media anual

La modificación propuesta considera aquellas situaciones donde hay más de un pico mensual de precipitación (regímenes bimodales) o bien existen varios meses lluviosos, como es el caso de la localidad en estudio.

Para evaluar la variabilidad interanual también se calcularon los IMF para todos los años de la serie, con idéntico criterio aplicado a la serie de IF.

Por último, se aplicó el Índice de Concentración de las Precipitaciones (ICP) propuesto por Oliver (4), que se calcula de acuerdo a:

$$ICP = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P^2}$$

donde:

**ICP:** Índice de Concentración de las Precipitaciones expresado como porcentaje

**p<sub>i</sub>** : Precipitación media mensual

**P:** Precipitación media anual

Este índice estima la agresividad climática teniendo en cuenta la variabilidad temporal de las precipitaciones mensuales. Los valores del ICP varían desde 8,33

%, donde el promedio mensual de precipitación es idéntico en todos los meses, hasta 100% donde el total anual de las precipitaciones se concentra en un solo mes.

## Resultados y Discusión

**Comportamiento de las precipitaciones:** La figura 1 muestra una marcada variabilidad interanual de las lluvias y una tendencia positiva de las mismas para toda la serie. El suavizado por media móvil permite visualizar el decrecimiento de las precipitaciones hasta mediados de siglo y el salto climático de mediados de la década del 50 (3) que trajo como consecuencia un incremento del 24,5% en el promedio anual de los últimos 45 años.

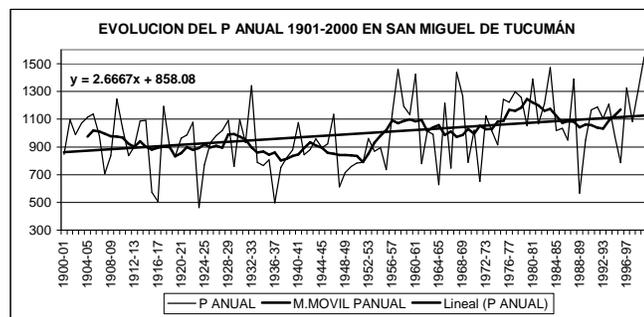


Figura 1: Evolución del total anual en San Miguel de Tucumán.

Por otra parte en el semestre cálido (octubre-marzo) se colecta el 85% del total anual. El mes más lluvioso es enero, seguido en orden de importancia por febrero, marzo, diciembre y noviembre. Octubre y abril aportan cantidades muy parecidas, en tanto que en el resto del año los aportes son escasos.

**Comportamiento del mes más lluvioso (p mex):** La Tabla 2 muestra que, para el mes más lluvioso (p mex anual), los valores son elevados y presentan marcada variabilidad interanual. La relación entre los valores extremos indica que el valor más alto de la serie (marzo 1959) superó en más de 4 veces al menor valor (noviembre 1923).

La frecuencia de ocurrencia del máximo valor en cada mes del año señala que, a enero le correspondió el 38% de los casos, seguido por 23% en diciembre; 17% en marzo; 16% en febrero; 4% en noviembre; 1% en octubre y abril y ningún caso para el resto del año. Esta distribución justifica las diferencias entre p mex anual Media Clima (promedio de enero 193,7 mm) y p mex anual Media Serie (252,3 mm).

Tabla 2: Estadísticas de los índices de agresividad pluvial y sus componente, para SMT en el período 1901-2000.

	P Anual	p mex anual	IF anual	IMF anual	ICP anual
Media Clima	992.7	193.7	37.8	136.6	13.8
Media Serie	992.7	252.3	65.9	161.3	16.3
Des est	230.9	69.7	26.3	41.4	1.9
Coef Var	23.3	27.6	39.9	25.7	11.9
MINIMO	463.2	90.1	17.5	77.4	12.2
P = 0,01	497.157	122.1	21.2	84.0	12.4
P = 0,05	609.22	151.7	32.2	103.9	13.4
P = 0,10	734.66	176.2	38.5	111.9	13.7
MEDIANA	986.8	242.9	59.7	157.5	16.3
P = 0,90	1299.2	366.0	106.0	223.6	18.5
P = 0,95	1391.32	376.7	116.0	237.5	19.5
P = 0,99	1474.05	387.4	128.9	257.0	22.3
MAXIMO	1548.3	391.7	152.6	257.8	22.3

La figura 2 muestra que el mes más lluvioso tuvo un comportamiento similar al de los totales anuales. También, se comprobó un crecimiento marcado en la pluviosidad mensual (20,4 % en promedio) en los últimos 45 años, lo que indicaría un incremento del riesgo de erosión hídrica.

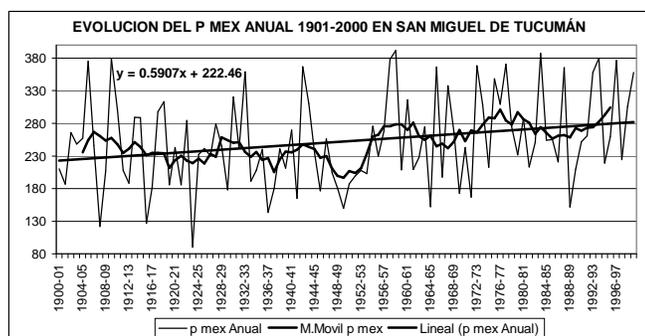


Figura 2: Evolución de p mex anual en San Miguel Tucumán.

La alta asociación entre la precipitación máxima en 24 hs con p mex anual en el período 1970-99 (Tabla 3), sugiere que, éste último, sería un buen indicador de la intensidad de las precipitaciones.

**Comportamiento de IF anual:** En la Tabla 2 puede verse que el IF anual, calculado como promedio de todos los años de la serie (65,9), es un 74% más alto que el calculado sobre la base del promedio de precipitación de enero (37,8). Además, su variabilidad es elevada, tanto por la amplitud de la serie con un mínimo de 17,5 y un

máximo de 152,6; como por el coeficiente de variabilidad (39,9 %) que es el mayor entre los índices probados.

La Tabla 3 muestra la relación entre IF anual con la P anual ( $r = 0,711$ ) y p mex anual ( $r = 0,920$ ). En ambos casos la correlación es positiva y muy altamente significativa.

**Comportamiento del IMF anual:** La figura 3 muestra la evolución interanual de IMF anual, con una tendencia positiva para la serie completa y también un crecimiento de los valores para la segunda mitad del siglo, con un consecuente incremento del riesgo de erosión hídrica.

En la Tabla 2 puede verse que el IMF anual, calculado como promedio de todos los años de la serie (161,3), es un 18 % más alto que el calculado sobre la base del promedio de precipitaciones mensuales (136.6). Su variabilidad es elevada, tanto por la amplitud de la serie, con un mínimo de 77,4 y un máximo de 257,8; como por el coeficiente de variabilidad (25,7 %).

Tabla 3: Relaciones entre índices y variables de precipitación.

	P anual	p mex anual	p max 24
p mex anual	0.798		0.553
IF anual	0.711	0.920	
IMF anual	0.896	0.923	
ICP anual	-0.102	0.377	

La asociación entre el IMF anual con P anual y p mex anual es la mas alta entre los índices probados (Tabla 3).

La contribución relativa de cada uno de los meses al IMF anual señala que los valores más elevados corresponden al período diciembre-marzo, que en conjunto contribuye en un 85% y que el semestre octubre-marzo contribuye con el 95%. El resto del año no tiene efecto sobre la agresividad pluvial.

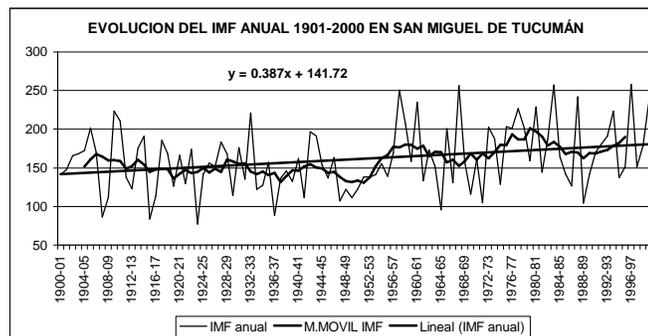


Figura 3: Evolución del IMF Anual en San Miguel de Tucumán.

**Comportamiento del ICP anual:** La asociación entre el ICP anual con P anual ( $r=-0,102$ ) y p mex anual ( $r=0,377$ ) es la mas baja entre los índices probados y por lo tanto su aplicación quedaría restringida a un aspecto comparativo zonal.

## **CONCLUSIONES**

La evolución temporal de las precipitaciones mostró un crecimiento marcado en la pluviosidad anual (24,5 %) y mensual (20,4 %) en los últimos 45 años, aumentando el riesgo de erosión hídrica.

Los valores de p mex anual son elevados y presentan marcada variabilidad interanual. La mayor frecuencia de ocurrencia le correspondió a enero seguido por diciembre, marzo y febrero. Para el resto de los meses la contribución es mínima o nula. Se constató que existe una asociación positiva y altamente significativa entre p mex anual y la precipitación máxima en 24 hs anual.

Entre los métodos aplicados, el IMF sería el más adecuado para estimar la agresividad pluvial en nuestra región.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- 1- Arnoldus H.M. 1978. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. De Boodst M. Y Gabriels D.(eds). Assessment of erosion: 127-132.
- 2- Fournier F. 1960. Climat et erosion. Ed. Presses Universitaires de France. Paris.
- 3- Minetti J.L. y A.G.Poblete. 1989. El salto climático de la década de 1950 en Tucumán. Análisis de diagnostico y consecuencias. RIAT 66. N°1: 119-136.
- 4- Oliver J.E. 1980. Monthly precipitation distribution: a comparative index. Prof. Geographer 32(3):300-309.
- 5- Wischmeier W.H. 1959. A rainfall erosion index for a Universal Soil-Loss Equation. Soil Science Society Proceedings 23: 246-249.