

II Jornadas Internacionales de Estadística Aplicada 5 y 6 de diciembre de 2019

Evaluación de valores de SPI (Índice Normalizado de Precipitaciones) estimados para diferentes tamaños de series de precipitaciones por medio de simulación bootstrap respecto de series ajustadas a una distribución gamma, en seis estaciones climáticas de Jujuy y Salta

Autores: Juan Manuel Solís, Rafael H. Hurtado, Lauro Nicolás Cazón, Jorge A. Quiquinto

Institución: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy

Datos de contacto: cel. 3884389632, E-mail: juanmasolis@fca.unju.edu.ar

RESUMEN

El SPI es un indicador recomendado por la Organización Meteorológica Mundial, empleado para analizar períodos secos y húmedos, pudiendo estimarse para diferentes escalas temporales, con frecuencia las mensuales. Su estimación requiere previamente ajustar la distribución empírica de las precipitaciones (para una serie de al menos 30 años) a una distribución teórica, citándose la gamma como la más conveniente. Algunos autores consideran que el ajuste de las series de precipitaciones a una distribución teórica determinada no es conveniente en todos los casos. El objetivo del presente trabajo fue analizar una alternativa de estimación del spi, realizando una comparación de los valores de spi mensuales de seis estaciones climáticas de Jujuy y Salta calculados por ajuste a una distribución gamma (método convencional) respecto de la estimación por simulación bootstrap con series de precipitaciones de 10, 15, 20, 25 y 30 años, computando los desvíos medios para los valores obtenidos y el porcentaje de coincidencias de las categorías de situación de sequía en ambos casos (desde extremadamente húmedo a extremadamente seco).

No hay evidencias para afirmar que la estimación de valores de SPI por medio de re – muestreo (“bootstrap”) en las condiciones analizadas, logra valores estadísticamente iguales a las estimaciones por ajuste a la distribución teórica gamma.

Palabras Claves: SPI, ajuste gamma, bootstrap, distribución empírica, Jujuy y Salta

INTRODUCCION

La sequía es un peligro natural resultante de unos niveles de precipitaciones por debajo de lo que se considera normal. Cuando este fenómeno se prolonga durante una estación o por un período de tiempo mayor, la precipitación es insuficiente para responder a las demandas de la sociedad y del medio ambiente (OMM, 2012).

El SPI es un indicador potente y sencillo de calcular, indicado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), efectivo para analizar períodos y ciclos secos y húmedos, pudiendo estimarse para diferentes escalas temporales, siendo muy empleado el cálculo mensual.

Su estimación requiere previamente ajustar la distribución de las precipitaciones periódicas (por ejemplo, mensuales), para una serie de por lo menos 30 años, a una distribución de probabilidades teóricas siendo la distribución gamma considerada como la más conveniente para el ajuste. Posteriormente, tomando el valor de precipitaciones acumuladas (en mm) para cada período (por ejemplo, un mes) de un año determinado, se calcula el percentil correspondiente a dicho valor de precipitación para la curva de densidad acumulada ajustada de la serie. Dicho valor es expresado en términos de valores Z de una distribución normal estándar, lo que constituye el SPI (McKee et al, 1993). Los valores de SPI son posteriormente categorizados a partir de una escala propuesta por McKee (Tabla 1):

Tabla 1. Escala McKee de valores de SPI

2,0 y más	extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	muy húmedo
1,0 a 1,49	moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	normal o aproximadamente normal
-1,0 a -1,49	moderadamente seco
-1,5 a -1,99	severamente seco
-2 y menos	extremadamente seco

Uno de los pasos fundamentales del cálculo de SPI es estimar la probabilidad acumulada de una determinada cantidad de lluvia sumada en una escala de tiempo particular.

El primer paso es ajustar la función de distribución $f(x)$ que mejor describa a la serie histórica de precipitaciones:

$$X \sim f(x, \theta)$$

La función de distribución acumulada para un evento de precipitación $X = x$ puede expresarse como:

$$F(x) = \int_0^x f(x, \theta) dx$$

El valor de SPI es estimado luego por medio de una transformación de la distribución acumulada $F(x)$ a una variable normal estándar Z, con $\mu = 0$ y $\sigma = 1$.

$$SPI = \theta^{-1} F(x)$$

donde $\theta^{-1} F(x)$ es la inversa de una función de distribución acumulada normal estándar (Yi-Ming Hu et al., 2015).

La confianza en los resultados del SPI puede verse afectada por el uso de una distribución que no proporcione una bondad de ajuste adecuada para los datos de lluvia (Blain, 2015).

Se ha podido demostrar que la distribución de las series de precipitaciones mensuales de los meses estivales durante el período 1978 - 2017 puede ajustarse a una distribución gamma a partir de los registros de seis estaciones climáticas de las provincias de Jujuy y Salta: Jujuy - Aero, La Quiaca, Salta – Aero, Orán - Aero, Rivadavia y Tartagal – Aero (Solís et al., 2019). De esta forma, la estimación del SPI para los meses estivales en estos sitios puede realizarse empleando la metodología indicada por la OMM.

Aun así, aunque McKee et al. (1993) han declarado que la longitud de registro requerida para la lluvia utilizada en el cálculo de SPI es "idealmente un período continuo de al menos 30 años", Guttman (1994) declararon que se requieren 70 a 80 años de registros para lograr una estabilidad de la estimación de parámetros en las colas de distribuciones asimétricas (Blain, 2015). Entonces, la confianza en la estimación del SPI es altamente dependiente del tamaño de la serie histórica de precipitaciones. Adicionalmente, no siempre es posible contar con series temporales de precipitaciones de, al menos, 30 años.

Se han sugerido alternativas para estimar el SPI (Stagge, J. et al, 2015), incluyendo emplear para su cálculo la *función de distribución acumulada empírica* (ECDF por sus siglas en inglés) (Sienze, F. et al, 2011).

Por su parte, Yi-Ming Hu et al (2015) proponen el método bootstrap para evaluar la incertidumbre de las estimaciones de SPI basada en una muestra de un tamaño determinado.

El método bootstrap es en esencia un método de re-muestreo (Yi-Ming Hu et al., 2015) con reposición, cuyo principio sugiere usar la distribución definida por los datos para aproximar la distribución muestral del estimador (Caffo, B., 2016).

Entre las ventajas de emplear el método bootstrap en la estimación de un parámetro, se encuentra que el mismo, al ser un algoritmo no paramétrico, no asume que los datos se distribuyen según una distribución teórica determinada. Además, es muy sencillo de calcular y puede ser empleado en situaciones donde los procedimientos formales pueden ser inviables (Miranda Moles, A., 2003).

Por otra parte, cuando se cumplen los supuestos que rigen la inferencia frecuentista, el re-muestreo puede ser menos eficiente. Además, las probabilidades calculadas son siempre aproximadas, y no son repetibles (por realizar estimaciones a partir de simulaciones).

En el presente trabajo, se evalúa la estimación de los valores de SPI para los meses estivales durante período 2008 – 2017 por medio de simulación bootstrap en seis estaciones climáticas de las provincias de Jujuy y Salta, contrastando dichas estimaciones con los valores obtenidos por medio del método tradicional.

METODOLOGIA

Se analizaron registros de precipitaciones mensuales del período 1978 – 2017, de seis estaciones climáticas de las provincias de Jujuy y Salta: Jujuy - Aero, La Quiaca, Salta – Aero, Orán - Aero, Rivadavia y Tartagal – Aero (los sets de datos fueron provistos por el Servicio Meteorológico Nacional).

La estimación del valor de SPI correspondiente a las precipitaciones mensuales acumuladas para los meses estivales durante los años 2008 a 2017, se realizó empleando las siguientes metodologías:

- *Ajuste a distribución teórica (gamma)*

Según este método, se realizó previamente el ajuste de las series de precipitaciones mensuales históricas (de cada estación climática) a una distribución gamma. Para ello se efectuó, en cada caso, la estimación por máxima verosimilitud de los parámetros de forma y escala con mejor ajuste a cada serie, para luego testear la bondad de ajuste por medio de la prueba Kolmogorov – Smirnov ($\alpha = 0,05$), en ambos casos, recurriendo a las funciones *fitdistr()* y *ks.test()* del lenguaje de programación estadística R, respectivamente (Solís et al., 2019).

En la Figura 1, se presenta un ejemplo de ajuste a una distribución gamma para la serie histórica de precipitaciones mensuales correspondiente al mes de marzo para la estación Jujuy – Aero. En la misma se puede observar la curva de densidad empírica o real generada a partir del histograma de precipitaciones de la serie histórica (negro), y la curva gamma ajustada (rojo).

Posteriormente se estimó, para cada mes, estación climática y año (de 2008 a 2017), el valor de SPI a partir de la precipitación mensual correspondiente. Para ello, se calculó la probabilidad acumulada de cada valor de precipitación mensual en la serie histórica ajustada a la distribución gamma correspondiente. Este valor de probabilidad acumulada, expresado en términos de Z de una distribución normal estándar, constituye el SPI.

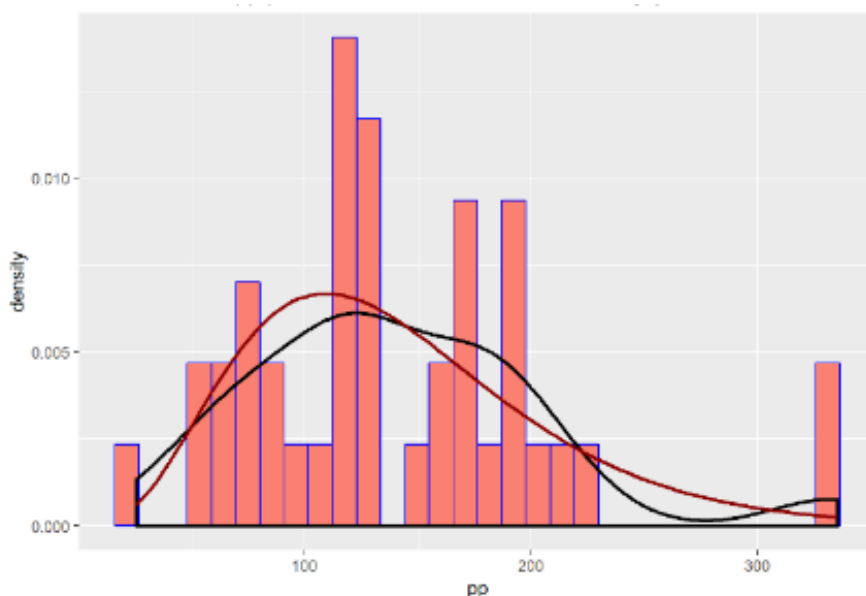


Figura 1. Ejemplo de ajuste a una distribución gamma de la serie de precipitaciones para el mes de marzo en estación Jujuy – Aero. La curva de densidad negra es la real o empírica. La curva de densidad roja es la gamma ajustada. La estimación del SPI para un mes, año y sitio dado, se computa como la probabilidad acumulada de las precipitaciones ocurridas en dicho mes según la distribución ajustada, expresada en términos de Z estándar

- *Simulación Bootstrap*

Para cada mes, estación climática y año (de 2008 a 2017), se generaron ciclos de 5.000 re-muestreos con reposición sobre las series de precipitaciones **previas** a cada mes, de tamaño 10, 15, 20, 25 y 30 años, estimándose en cada ciclo el SPI como el valor Z correspondiente a la probabilidad acumulada empírica de ocurrencia de la precipitación de cada mes con respecto a la serie muestreada.

El SPI resultante fue computado como la mediana de los valores de SPI calculados en cada ciclo.

A continuación, se muestra el código utilizado para la secuencia de ciclos bootstrap y estimación de valores de SPI correspondientes:

```
+ mult<-0
+ spiB<-numeric()
+ spiBAct<-numeric()
+ e<-numeric()
+ for (m in (1:5)){
+   serieActB<-tail(serieAct$pp,n=10+(5*mult))
+   n<-length(serieActB)
+   for (res in (1:5000)) {
+     muestra<-sample(serieActB,n,replace = T)
+     emp<-ecdf(muestra)
+     e[res]<-emp(ppAct)
+     spiBAct[res]<-round(qnorm(e[res]),2)
+   }
+   spiB[m]<-median(spiBAct)
+   mult<-mult+1
+ }
```

Donde,

- mult: definición del multiplicador para longitud de período
- spiBAct: definición de vector de valores de spi calculado como el cuantil Z de una distribución normal estándar, correspondiente a la función de distribución acumulada empírica.
- spiB: mediana de los valores de spiBAct simulados para cada longitud de serie de precipitaciones previas.
- e: definición de vector numérico de valores empíricos de probabilidad acumulada.
- Ciclo *for* (m in 1:5): definición de un ciclo “*for*” para cada longitud de serie de precipitaciones previas (10, 15, 20, 25 y 30 años)
- serieAct\$pp es la serie de precipitaciones correspondiente a un mes, año y estación seleccionada. Con “tail()” se define el número de posiciones finales de la serie previa, es decir, los años anteriores a cada mes.
- Ciclo *for* (res in 1:5000): definición de un ciclo “*for*” con 5000 iteraciones de re – muestreos (“resampling”).
- muestra: cada una de las muestras con reposición en cada iteración de la serie de precipitaciones previas actual.
- emp: función de distribución acumulada empírica.

- ppAct: precipitación mensual correspondiente a un mes, año y estación climática determinada.

A cada valor de SPI estimado por el método bootstrap para diferentes tamaños de series de precipitaciones previas a cada mes, se le computó la diferencia en valor absoluto respecto al SPI estimado por el método de ajuste a distribución teórica. Luego, se obtuvo el promedio de dichas diferencias para cada estación como una medida de la aproximación lograda entre los métodos.

Adicionalmente, se planteó una prueba “t” de Student de inferencia de la media poblacional para los desvíos observados, y una prueba de comparaciones de medias mediante la prueba “t” para datos apareados, testeando las diferencias en valores absolutos obtenidas por los métodos de re – muestreo con 10 años y 30 años de tamaño de series de precipitaciones previas.

Finalmente, se computó el porcentaje de coincidencia entre las categorías de clasificación obtenidas entre los métodos bootstrap y el ajuste gamma.

DESARROLLO

Resultados

Se muestran los resultados del cálculo de los valores de SPI estimados por ambos métodos, para cada estación. A fin de simplificar su lectura, los mismos se presentan como promedios de los valores obtenidos para la serie 2008 – 2017.

Tabla 2: Promedio de valores de SPI mensuales estimados por estación climatológica, según metodología empleada, para el período 2008 – 2017, provincia de Jujuy

Estación	Mes	Gamma	B10	B15	B20	B25	B30
Jujuy-aero	Ene	-0,0610	-0,1320	-0,1850	-0,1130	-0,0040	-0,2190
	Feb	0,2180	0,1930	0,1870	0,2940	0,1390	0,3810
	Mar	-0,0750	0,0100	0,0520	0,0180	0,0560	-0,0090
	Abr	-0,2140	0,0067	-0,1322	-0,0467	0,0522	-0,0233
	Oct	-0,6220	-0,5189	-0,5456	-0,3378	-0,5522	-0,4344
	Nov	-0,7250	-0,3763	-0,4911	-0,4189	-0,4911	-0,4878
	Dic	0,0660	-0,1567	0,0970	-0,0550	-0,3133	-0,0680
Jujuy-La-Quiaca	Ene	0,0030	0,0775	0,0762	0,0788	-0,1175	-0,0875
	Feb	0,2650	-0,0356	0,1133	-0,1513	0,0789	-0,0156
	Mar	-0,4810	0,0044	-0,1533	-0,1167	0,0300	-0,0122
	Abr	0,0311	-0,1000	0,0889	-0,0889	0,0889	0,0222
	Oct	-0,6890	-0,1700	-0,3411	-0,4600	-0,2956	-0,2438
	Nov	-0,4520	-0,2411	-0,0289	0,0975	-0,2311	0,0238
	Dic	-0,1890	-0,2720	-0,2680	-0,2820	-0,2230	-0,1790

Tabla 3: Promedio de valores de SPI mensuales estimados por estación climatológica, según metodología empleada, para el período 2008 – 2017, provincia de Salta

Estación	Mes	Gamma	B10	B15	B20	B25	B30
Salta-Aero	Ene	0,0230	0,2513	0,1811	0,4233	0,1667	0,0200
	Feb	0,5570	0,6650	0,7360	0,6433	0,9222	0,9320
	Mar	0,2620	0,4160	0,4420	0,4050	0,3800	0,3550
	Abr	0,3940	0,2822	0,1888	0,3322	0,0175	0,3078
	Oct	-0,4120	-0,4580	-0,2644	-0,5230	-0,2680	-0,3544
	Nov	-0,3230	-0,5467	-0,8863	-0,6850	-0,5600	-0,3371
	Dic	0,1740	-0,1078	-0,1800	-0,1722	-0,0700	-0,1178
Salta-Oran-aero	Ene	-0,1950	0,0144	-0,1056	-0,1613	-0,0788	-0,2025
	Feb	-0,0960	0,2411	0,1578	0,2400	-0,0300	0,0144
	Mar	-0,4930	-0,5020	-0,6690	-0,3433	-0,3767	-0,1325
	Abr	-0,6100	-0,3411	-0,3233	-0,4578	-0,3967	-0,2067
	Oct	-0,6090	-0,6180	-0,5560	-0,5733	-0,5830	-0,5830
	Nov	-0,0680	-0,2989	-0,4922	-0,8325	-0,4113	-0,1575
	Dic	0,0300	-0,3178	-0,1756	-0,3256	-0,3278	0,0100
Salta-Rivadavia	Ene	-0,6010	-0,3144	-0,5675	-0,8157	-0,2589	-0,4875
	Feb	-0,2175	-0,3550	-0,1363	-0,1838	-0,3700	-0,0950
	Mar	-0,4970	-0,4056	-0,3667	-0,5913	-0,7413	-0,3625
	Abr	0,3250	0,1688	0,2443	0,0900	0,0667	0,1900
	Oct	-0,4611	-0,4833	-0,4022	-0,4400	-0,3475	-0,4367
	Nov	-0,7780	-0,6289	-0,5511	-0,6822	-0,2925	-0,5967
	Dic	-0,1911	-0,2800	-0,0557	-0,4663	-0,3513	-0,2225
Salta-Tartagal	Ene	-0,6300	-0,1775	0,1200	0,2157	0,0138	0,0475
	Feb	0,2550	0,0778	0,3310	0,0680	0,3267	0,3480
	Mar	-0,6420	-0,4338	-0,1863	-0,1900	-0,2700	-0,3200
	Abr	0,0260	-0,0110	-0,2022	-0,1678	0,0256	0,0012
	Oct	-0,1260	-0,1540	0,0422	-0,1989	-0,4330	-0,1278
	Nov	-0,2440	-0,3113	-0,1150	-0,0763	-0,0475	-0,0650
	Dic	0,0710	-0,0300	-0,0050	0,0460	0,1178	0,1563

A continuación, se muestran los promedios de los desvíos, en valor absoluto, de las estimaciones de SPI por el método bootstrap respecto del método por ajuste a distribución gamma:

Tabla 4. Diferencia media, en valor absoluto, de los valores de SPI estimados por el método bootstrap para diferentes tamaños de series de pp, respecto de los valores estimados por ajuste a distribución gamma, por estación climatológica

Estación	B10	B15	B20	B25	B30
Jujuy-aero	0,2323	0,2576	0,209	0,2271	0,239
Jujuy-La-Quíaca	0,2549	0,2602	0,2362	0,2242	0,2103
Salta-Oran-aero	0,2412	0,2732	0,2323	0,2516	0,2221
Salta-Aero	0,2371	0,2671	0,3016	0,3109	0,3253
Salta-Rivadavia	0,2303	0,2661	0,1988	0,2636	0,2956
Salta-Tartagal	0,2787	0,2311	0,2533	0,2885	0,2312
Total	0,2457	0,2593	0,2388	0,2608	0,2537

Los desvíos oscilan en torno a 0,25 unidades Z. Siendo que el mínimo valor de intervalo entre categorías sucesivas para la escala McKee de valores de SPI es 0,5 unidades Z, los desvíos representan en término medio un 50 % de dicho intervalo.

Pruebas de hipótesis

Se planteó una prueba de hipótesis “t” de Student, contrastando la hipótesis nula de que las diferencias observadas en el método B30 (bootstrap aplicado a una serie de 30 años) son iguales a cero. Con un valor de t calculado = 16,1, y un **p-valor = $3,7 \cdot 10^{-6}$** , se rechazó la hipótesis planteada.

Por otra parte, planteó una prueba de comparaciones de medias “t” de Student para datos apareados, entre los desvíos medios obtenidos para los métodos B10 y B30, obteniéndose un estadístico t = -0,4133, con un **p-valor = 0,6937** para seis grados de libertad, con lo que se concluye que no hay evidencia para rechazar la hipótesis de igualdad entre los métodos de re – muestreo para diferentes tamaños de series.

Clasificación

Se han identificado desvíos, en valor absoluto, de hasta aproximadamente 1,4 unidades Z, casi 3 veces el valor del mínimo intervalo entre clases, aunque éstos han constituido casos aislados.

Aun así, aquellas estimaciones de SPI cuyos valores se encuentran próximos a los límites de cada clase, pueden ser clasificadas de forma diferente según la metodología empleada si los desvíos absolutos son lo suficientemente amplios.

A continuación, se presentan los porcentajes de coincidencia entre categorías de SPI, según la escala Mackee, para cada estación, según la metodología bootstrap empleada respecto de la metodología por ajuste a gamma.

Tabla 5. Porcentaje de coincidencias entre categorías de SPI por estación climatológica, según la metodología bootstrap empleada respecto de la metodología por ajuste a gamma

Estación	B10	B15	B20	B25	B30
Jujuy-aero	74,29	65,71	72,86	72,86	68,57
Jujuy-La-Quiaca	68,12	71,01	66,67	73,91	75,36
Salta-Oran-aero	65,71	64,29	61,43	61,43	64,29
Salta-Aero	70	64,29	67,14	55,71	58,57
Salta-Rivadavia	65,15	65,15	71,21	51,52	57,58
Salta-Tartagal	67,14	75,71	70	74,29	64,29

En líneas generales, el porcentaje de coincidencias oscila en un rango de 55% - 75%, concentrándose la mayoría de las observaciones en torno a un rango de 60% - 75%, por estación climatológica (Figura 2), lo que representa un intervalo relativamente amplio.

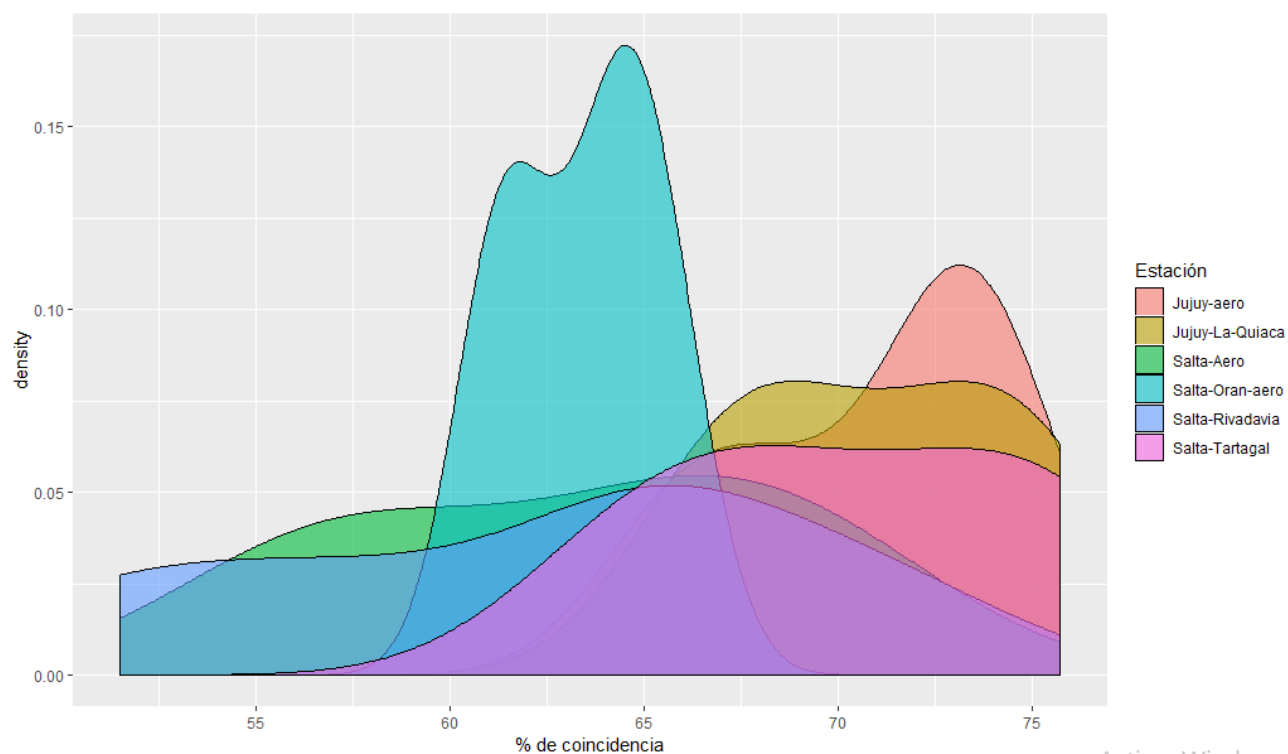


Figura 2. Porcentaje de coincidencias entre categorías de SPI estimadas según la metodología bootstrap respecto de la metodología por ajuste a gamma por estación climatológica,

CONCLUSIONES

No hay evidencia para afirmar que la estimación de valores de SPI por medio de re – muestreo (“bootstrap”) para una escala temporal mensual, a partir de series de precipitaciones previas de 10, 15, 20, 25 y 30 años, logra valores estadísticamente iguales a las estimaciones por ajuste a la distribución teórica gamma.

Por otra parte, no hay evidencia para afirmar que hay diferencias entre las estimaciones de SPI por medio de re – muestreo de series de 10 y 30 años de precipitaciones previas, lo cual constituye un aspecto favorable.

El porcentaje de coincidencias para la **clasificación en categorías** de sequedad-humedad no es ostensiblemente alta, variando en torno al 55% y el 75%.

Por lo anterior, del presente trabajo surge que, de no mediar nuevas pruebas que lo justifiquen, se sugiere estimar el SPI por el método convencional (ajuste a distribución gamma) siempre que se cuente con series de precipitaciones mensuales de por lo menos 30 años, en las estaciones climáticas analizadas.

De no contar con series lo suficientemente largas, la estimación por bootstrap demostró comportarse de forma similar para series cortas (10 años) y largas (30 años), por lo que puede resultar una alternativa en dichas situaciones.

BIBLIOGRAFIA

- “Atlas de sequías de América Latina y el Caribe”. 2018. UNESCO y CAZALAC. La Serena (Chile). ISBN: 978-92-3-300097-1.
- “Índice Normalizado de Precipitación”. 2012. OMM-Nº 1090. Ginebra (Suiza). ISBN: 978-92-63-31090-3
- Blain, G. y Meschiatti, M. 2015. “Inadequacy of the gamma distribution to calculate the Standardized Precipitation Index”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.19, n.12, p.1129–1135, 2015. AGRIAMBI. Campina Grande (Brasil). ISSN 1807-1929. <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n12/1415-4366-rbeaa-19-12-1129.pdf>
- McKee, N. et al. 1993. “The relationship of drought frequency and duration to time scales”. Octava Conferencia en Climatología Aplicada. Anehim, California. http://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf
- Guttman, N. B. 1994. “On the sensitivity of sample L moments to sample size”. Journal of Climatology, v.34, p.113-121, [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1994\)007%3C1026:otsosl%3E2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1994)007%3C1026:otsosl%3E2.0.co;2)
- Stagge, J. et al. 2015. “Candidate Distributions for Climatological Drought Indices (SPI and SPEI)”. RMetS. International Journal of Climatology. *Int. J. Climatol.* 35: 4027–4040.
- Yi-Ming Hu et al. 2015. “Uncertainty analysis of SPI calculation and drought assessment based on the application of Bootstrap”. RMetS. International Journal of Climatology. *Int. J. Climatol.* 35: 1847–1857.

- Caffo, B. 2016. Statistical inference for data science. Leanpub, p. 106. Disponible en <https://leanpub.com/LittleInferenceBook/read>.
- Sienze, F. et al. 2011. "Monitoring and quantifying future climate projections of dryness and wetness extremes: SPI bias". MS No.: hess-2011-349. <https://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/8/C6465/2012/hessd-8-C6465-2012-supplement.pdf>
- Miranda Moles, A. 2003. "El método de Remuestreo y su aplicación en la Investigación Biomédica". Tesis Doctoral. Escuela Nacional de Salud Pública "Carlos J. Finlay". Ministerio de Salud Pública. La Habana, Cuba. http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/revsalud/tesis_de_resampling.pdf
- Solís, J. et al. 2019. "Ajuste a una distribución Gamma de las precipitaciones registradas en diferentes estaciones climáticas de las provincias de Jujuy y Salta, para el cálculo del Índice Estandarizado de Precipitaciones (SPI)". Séptimas Jornadas Integradas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Jujuy. Provincia de Jujuy, Argentina.

Anexo I

Valores de p para la prueba Kolmogorov-Smirnov de bondad de ajuste a una distribución gamma, por mes, en seis estaciones climáticas de las provincias de Jujuy y Salta. Serie 1978 – 2017.

Estación	Mes	ks p-valor	Estación	Mes	ks p-valor	Estación	Mes	ks p-valor	Estación	Mes	ks p-valor	Estación	Mes	ks p-valor	Estación	Mes	ks p-valor
Jujuy-aero	Ene	0,6549	Salta-Oran-aero	Ene	0,9722	Salta-Rivadavia	Ene	0,7537	Jujuy-La-Quica	Ene	0,9623	Salta-Aero	Ene	0,9777	Salta-Tartagal	Ene	0,1385
Jujuy-aero	Feb	0,8551	Salta-Oran-aero	Feb	0,426	Salta-Rivadavia	Feb	0,8803	Jujuy-La-Quica	Feb	0,9662	Salta-Aero	Feb	0,6829	Salta-Tartagal	Feb	0,982
Jujuy-aero	Mar	0,816	Salta-Oran-aero	Mar	0,5374	Salta-Rivadavia	Mar	0,6067	Jujuy-La-Quica	Mar	0,1075	Salta-Aero	Mar	0,9298	Salta-Tartagal	Mar	0,9967
Jujuy-aero	Abr	0,8209	Salta-Oran-aero	Abr	0,3321	Salta-Rivadavia	Abr	0,7087	Jujuy-La-Quica	Abr	0,4841	Salta-Aero	Abr	0,6904	Salta-Tartagal	Abr	0,81
Jujuy-aero	May	0,8347	Salta-Oran-aero	May	0,9871	Salta-Rivadavia	May	0,2012	Jujuy-La-Quica	May	0,7033	Salta-Aero	May	0,3722	Salta-Tartagal	May	0,4521
Jujuy-aero	Jun	0,7209	Salta-Oran-aero	Jun	0,8852	Salta-Rivadavia	Jun	0,9758	Jujuy-La-Quica	Jun	0,479	Salta-Aero	Jun	0,3481	Salta-Tartagal	Jun	0,5163
Jujuy-aero	Jul	0,4093	Salta-Oran-aero	Jul	0,1958	Salta-Rivadavia	Jul	0,3101	Jujuy-La-Quica	Jul	0,9266	Salta-Aero	Jul	0,4229	Salta-Tartagal	Jul	0,261
Jujuy-aero	Ago	0,4318	Salta-Oran-aero	Ago	0,6793	Salta-Rivadavia	Ago	0,497	Jujuy-La-Quica	Ago	0,6552	Salta-Aero	Ago	0,1445	Salta-Tartagal	Ago	0,862
Jujuy-aero	Sep	0,8482	Salta-Oran-aero	Sep	0,9917	Salta-Rivadavia	Sep	0,6515	Jujuy-La-Quica	Sep	0,9097	Salta-Aero	Sep	0,1967	Salta-Tartagal	Sep	0,6045
Jujuy-aero	Oct	0,4789	Salta-Oran-aero	Oct	0,9805	Salta-Rivadavia	Oct	0,9651	Jujuy-La-Quica	Oct	0,1867	Salta-Aero	Oct	0,5784	Salta-Tartagal	Oct	0,1994
Jujuy-aero	Nov	0,9969	Salta-Oran-aero	Nov	0,9463	Salta-Rivadavia	Nov	0,8403	Jujuy-La-Quica	Nov	0,4128	Salta-Aero	Nov	0,5841	Salta-Tartagal	Nov	0,6663
Jujuy-aero	Dic	0,6669	Salta-Oran-aero	Dic	0,8871	Salta-Rivadavia	Dic	0,4452	Jujuy-La-Quica	Dic	0,916	Salta-Aero	Dic	0,5954	Salta-Tartagal	Dic	0,9765