



SISSA

REPORTE TÉCNICO CRC-SAS

DESCRIPCIÓN DE PRODUCTOS SISSA ESTIMACIÓN DE ESCENARIOS FUTUROS DE SEQUÍA

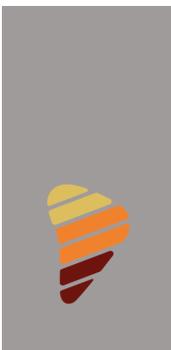
SISSA - RT 008-2024
SEPTIEMBRE 2024

SISSA.CRC-SAS.ORG



Financiado por
la Unión Europea





SISSA SISTEMA DE INFORMACIÓN SOBRE
SEQUÍAS PARA EL SUR DE SUDAMÉRICA

REPORTE TÉCNICO CRC-SAS

DESCRIPCIÓN DE PRODUCTOS SISSA

ESTIMACIÓN DE ESCENARIOS

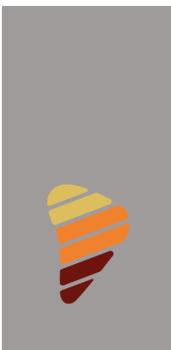
FUTUROS DE SEQUÍA

SEPTIEMBRE 2024

SISSA.CRC-SAS.ORG



Financiado por
la Unión Europea



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
1. ESTIMACIÓN DE ESCENARIOS FUTUROS DE ESTADO DE SEQUÍA	4
1.1 GENERACIÓN DE ESCENARIOS FUTUROS DE SPI-3	4
1.2 VISUALIZACIÓN INTERACTIVA DE PRODUCTOS	8
1.2.1. SOLAPA “¿CUÁNTO TIENE QUE LLOVER...?”	9
1.2.2 SOLAPA “EXPLORACIÓN DE ESCENARIOS”	12
1.2.3. SOLAPA “ESCENARIOS PLAUSIBLES DE ÍNDICES DE SEQUÍAS”	16
1.2.4. SOLAPA “ESCENARIOS PROBABILÍSTICOS”	18
AGRADECIMIENTOS	21
REFERENCIAS	21



SISSA SISTEMA DE INFORMACIÓN SOBRE
SEQUÍAS PARA EL SUR DE SUDAMÉRICA

INTRODUCCIÓN

El propósito de la presente aplicación es el de proveer información relacionada con escenarios posibles de SPI-3 calculados a partir de un ensamble entre totales de precipitación observada y plausible. Cabe destacar que este ensamble de datos no está basado en pronósticos, sino más bien en el uso de información histórica de cada estación meteorológica. Los datos que se utilizan son los observados en las estaciones meteorológicas.



1. ESTIMACIÓN DE ESCENARIOS FUTUROS DE ESTADO DE SEQUÍA

1.1 GENERACIÓN DE ESCENARIOS FUTUROS DE SPI-3

Los escenarios futuros de sequías se han construido usando como datos originales las estaciones meteorológicas en la región del CRC-SAS. Los detalles de la misma y del control de calidad de los datos se pueden encontrar en: https://www.crc-sas.org/pt/pdf/Reporte_CRC-SAS_FINAL_calidad_7jul23.pdf

A partir de dichos datos se calculan distintos índices de sequías, entre los que se encuentran el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) en diferentes escalas temporales. El detalle del cálculo se puede encontrar en: https://www.crc-sas.org/es/content/monitoreo/reporte_sequias.pdf

Para calcular un valor de SPI-3 (SPI en escala temporal de 3 meses) siempre se debe disponer de un total de precipitación acumulada para un período de tres meses. Los valores de SPI-3 que se utilizaron en los distintos productos del SISSA siempre fueron calculados en base a totales de precipitación observada.

Para esta nueva aplicación, se pretende calcular valores de SPI-3 utilizando totales de precipitación observada para los primeros dos meses completando el mes restante con montos de precipitación acumulada mensual observada para el mismo período en años anteriores.

En la *figura 1* puede observarse el mecanismo de cálculo conforme se va avanzando en la línea de tiempo. El proceso se ejecuta periódicamente una vez que se dispone del total de precipitación acumulada para una péntada. Por ejemplo, una vez que se dispone de la precipitación acumulada para la sexta péntada de febrero de 2020 (la cual incluye montos del 26 al 29 de febrero de 2020), es posible computar el total bimestral para el período que va desde el 1 de enero al 29 de febrero de 2020. Esa información es ensamblada con montos de precipitación acumulada histórica para el mes de marzo, dando lugar a múltiples escenarios de precipitación acumulada y, a su vez, múltiples escenarios de valores de SPI-3 para el período 1 de enero al 31 de marzo de 2020.

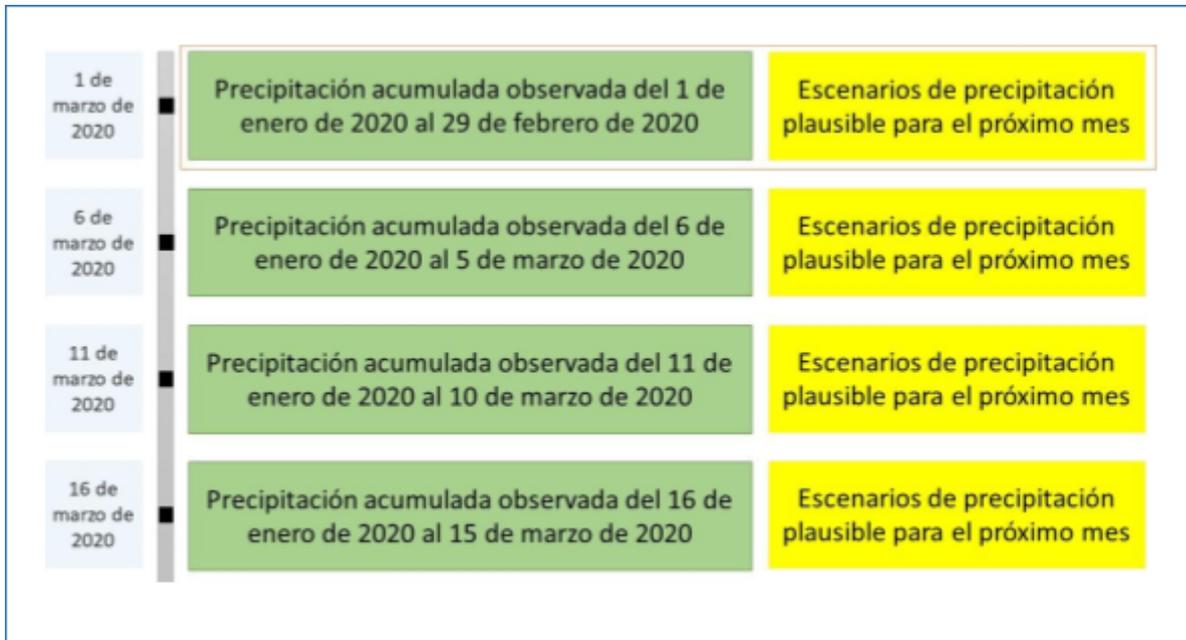


Figura 1. Construcción de escenarios plausibles de precipitación acumulada para el cálculo de SPI-3. Para el cálculo de totales de precipitación a escala trimestral, se consideran dos meses de datos observados y un mes de potenciales montos de precipitación de acuerdo con datos históricos observados.

En la figura 2, se detalla la construcción de los posibles ensambles de precipitación para el período 1 de enero al 31 de marzo. Considerando que la estación meteorológica dispone de datos de precipitación desde el 1 de enero de 1961 (que es el caso general para las estaciones meteorológicas convencionales del CRC-SAS), entonces existen 59 montos de precipitación acumulada observadas para el período que va del 1 de marzo al 31 de marzo. De este modo, es posible construir 59 escenarios plausibles de precipitación para el período de 3 meses ya mencionado.

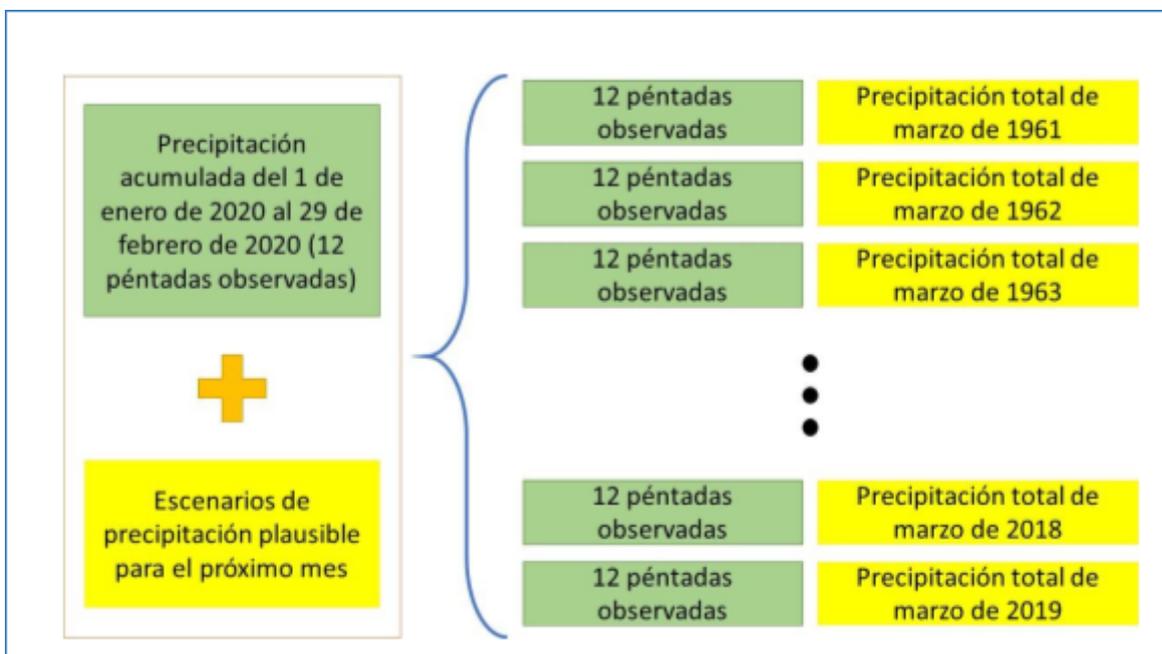


Figura 2. Construcción de escenarios plausibles de precipitación acumulada para el cálculo de SPI-3. Para el cálculo de totales de precipitación a escala trimestral, se consideran dos meses de datos observados y un mes de potenciales montos de precipitación de acuerdo a datos históricos observados.

A su vez, esos 59 escenarios de precipitación acumulada trimestral dan lugar a 59 valores posibles de SPI-3. A partir de estos escenarios de precipitación vinculados a valores de SPI-3 es posible derivar funciones de distribución de probabilidades para poder determinar la probabilidad de superar distintos umbrales de SPI-3 a partir de la probabilidad histórica de superar un cierto monto de precipitación acumulada mensual (para el mes que aún no ha ocurrido).

Dada la conexión directa entre montos de precipitación y valores de SPI-3 es correcto afirmar que los percentiles asociados a las funciones de distribución también están vinculados. Por ejemplo, supongamos que un monto de precipitación acumulada P (para el mes que aún no ha ocurrido) está vinculado



al valor S del índice SPI-3. Si la probabilidad histórica de superar el monto P es de 0,6, entonces también podemos afirmar que la probabilidad de que el SPI-3 a marzo de 2020 supere el valor S también es de 0,6. Consecuentemente, podemos decir que el percentil 60 para el mes de marzo es P , mientras que el percentil 60 para el SPI-3 de marzo de 2020 (considerando lo ocurrido en enero y febrero de 2020) es S .

Las funciones de distribución de probabilidades mencionadas previamente se calculan en base a los 59 escenarios plausibles de precipitación y sus respectivos valores de SPI-3. Ambas funciones se ajustan por el método no paramétrico basado en *logsplines* (Koopenberg and Stone, 1992; Stone et al, 1997) que se ha utilizado en ocasiones anteriores (por ejemplo, para ajustar funciones de distribución de precipitación acumulada para el producto CHIRPS).

Debe recordarse que el proceso previamente descrito corresponde al período observado desde el 1 de enero de 2020 al 29 de febrero de 2020. Una vez que se dispone de la información para la primera pñtada de febrero de 2020 (del 1 al 5 de febrero), entonces se mueve la ventana de datos observados una pñtada, siendo la misma el período que va desde el 6 de enero al 5 de marzo de 2020. De este modo, se construyen nuevamente escenarios plausibles de precipitación y SPI-3 completando el trimestre con datos históricos del 6 de marzo al 5 de abril. Este proceso se ejecuta de forma continua hasta el final de la serie temporal de datos observados.

Este proceso permite, entonces, construir escenarios plausibles de SPI-3 y funciones de densidad de probabilidad vinculadas a datos históricos de precipitación acumulada. Esta información puede ser analizada y explotada desde distintos enfoques. Para tal fin se ha implementado una aplicación de visualización interactiva, la cual será descrita en la siguiente sección.



1.2 VISUALIZACIÓN INTERACTIVA DE PRODUCTOS

En esta sección se describirá la aplicación de visualización interactiva que fue implementada con el propósito de mostrar la información derivada del proceso de cálculo de escenarios plausibles de SPI-3 descrito en la sección anterior.

Esta aplicación de visualización se desarrolló utilizando la misma arquitectura de software que para las aplicaciones anteriores, la cual fue cuidadosamente definida al inicio del proyecto para ser utilizada en lo sucesivo.

La aplicación cuenta con una disposición similar a la de otros informes que se han venido desarrollando hasta el momento: un menú interactivo ubicado a la izquierda de la pantalla, un conjunto de solapas en el encabezado y un área principal de información ubicada a la derecha del menú interactivo. Las solapas del encabezado definen el diagnóstico que se va a mostrar en el área principal, mientras que el menú interactivo permite definir parámetros para elaborar el diagnóstico.

Además, la aplicación también cuenta con ayuda contextual. En el menú interactivo de la izquierda se presenta un botón con el texto “¿Qué son estos controles?”. Este botón permite desplegar una pantalla de ayuda que describe los controles del menú interactivo según la solapa que se ha seleccionado. También existe otro botón de ayuda en el área principal con el texto “¿Qué estoy viendo?”. Este botón permite desplegar una pantalla de ayuda que describe la información del diagnóstico que se está visualizando. Además, existe un botón que permite la descarga de una ficha técnica de este producto, donde se resumen sus características.

Esta aplicación está organizada en cuatro solapas las cuales muestran diagnósticos de escenarios plausibles de SPI-3 desde distintos enfoques. El contenido de cada uno de los mencionados diagnósticos será abordado en las subsecciones que se presentan a continuación.



1.2.1. SOLAPA “¿CUÁNTO TIENE QUE LLOVER...?”

En esta solapa se muestra, en primer lugar (panel superior), el valor de SPI-3 y la categoría de sequía asociada para el último período con datos. En la *figura 3.1* se muestra el panel superior de esta solapa. El último período con datos es el que va desde el 26 de mayo de 2024 al 25 de agosto de 2024. También se muestra el total de precipitaciones acumuladas para dicho período que da lugar al valor del índice SPI-3 que se muestra en el medidor superior. Este panel permite, por lo tanto, visualizar la situación actual de sequía.



Figura 3.1. Diagnóstico asociado a la solapa “¿Cuánto tiene que llover...?” (panel superior).

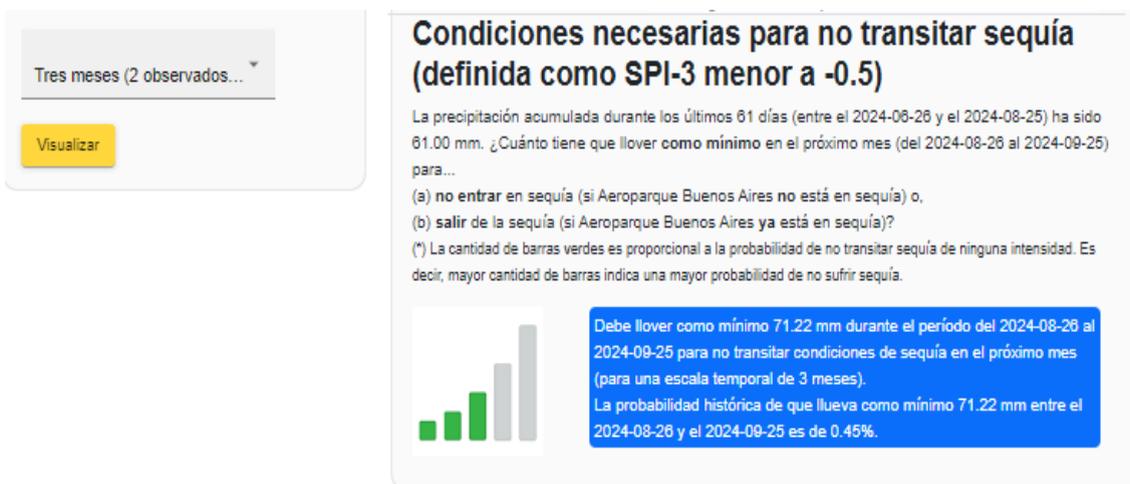
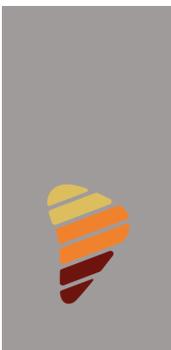


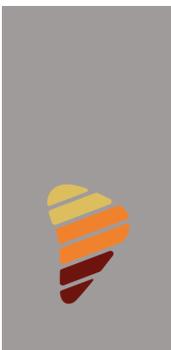
Figura 3.2. Diagnóstico asociado a la solapa “¿Cuánto tiene que llover...?” (panel inferior).

En el panel inferior (figura 3.2) se presenta información derivada de los escenarios plausibles de SPI-3 para el próximo mes. La pregunta que se intenta responder mediante la información de este panel es: “¿Cuánto tiene que llover en el próximo mes para no transitar condiciones de sequía?”.

Para separar condiciones de sequía de condiciones normales o húmedas, se considera el valor de SPI-3 igual a -0,5. Este umbral es consistente tanto con las categorías de sequía definidas por el U.S. Drought Monitor (<https://droughtmonitor.unl.edu/About/AbouttheData/DroughtClassification.aspx>) como con la categorización de estados de sequía definido por el CRC-SAS.

De este modo, valores de SPI-3 menores a 0,5 denotan condiciones de sequía, mientras que valores mayores a dicho umbral denotan condiciones normales a húmedas. En este sentido, lo que se busca es determinar cuál es la precipitación mínima necesaria para el próximo mes de modo que el valor de SPI-3 iguale o supere dicho umbral.

Haciendo uso de los escenarios plausibles descritos en la sección anterior, es posible encontrar dicho valor de precipitación acumulada y su probabilidad de ocurrencia en términos históricos.



Siguiendo con el ejemplo de la *figura 3.2*, se presenta el total de precipitaciones para los últimos dos meses observados (26 de junio de 2024 al 25 de agosto de 2024) y el monto de precipitación mensual mínimo para el próximo mes (26 de agosto al 25 de septiembre de 2024) de modo de alcanzar o superar el umbral de SPI-3 ya mencionado.

Para el ejemplo mostrado, ese total de precipitación acumulada debe ser mayor o igual a 71.22mm. Alcanzar o superar 71.22mm de precipitaciones tiene una probabilidad histórica de ocurrencia de 0,45%. Esta probabilidad de ocurrencia se encuentra ilustrada por un gráfico de 5 barras que permite interpretar con mayor facilidad y rapidez cuán factible es que ocurra tal evento. Cada una de las barras verdes representa un 20% de chance de ocurrencia, por lo que 1 barra está asociada a eventos con 0 a 20% de probabilidad, 2 barras a eventos de 20 a 40% de probabilidad, y así sucesivamente.



1.2.2 SOLAPA “EXPLORACIÓN DE ESCENARIOS”

En esta solapa, el usuario tiene la posibilidad de explorar distintos escenarios plausibles de SPI-3 para el próximo mes tomado a partir del último período de datos observados. Esta exploración puede ser llevada a cabo a través del uso del deslizador presente en el menú interactivo de la izquierda. El deslizador permite seleccionar un valor de precipitación dentro del rango de precipitaciones históricas ocurridas para el mes a explorar.

La modificación del valor de precipitación acumulada impacta en el contenido del cuerpo principal del informe, el cual está dividido en tres paneles: “Resumen de situación de sequía...”, “Precipitación climatológica e hipotética...” y “Rango climatológico e hipotético de SPI-3”.

El panel “Resumen de situación de sequía...” (*figura 4.1*) muestra el valor actual de SPI-3 para la estación meteorológica seleccionada (medidor de la izquierda). En el medidor de la derecha se muestra el valor hipotético de SPI-3 para el próximo mes (6 pñtadas en el futuro) si en dicho período ocurriera el monto de precipitación acumulada seleccionada por el usuario mediante el deslizador. Ambos indicadores ponen en contexto los valores de SPI-3 correspondiente utilizando una escala de colores asociada a las categorías de sequía mostradas en la parte inferior del menú interactivo.

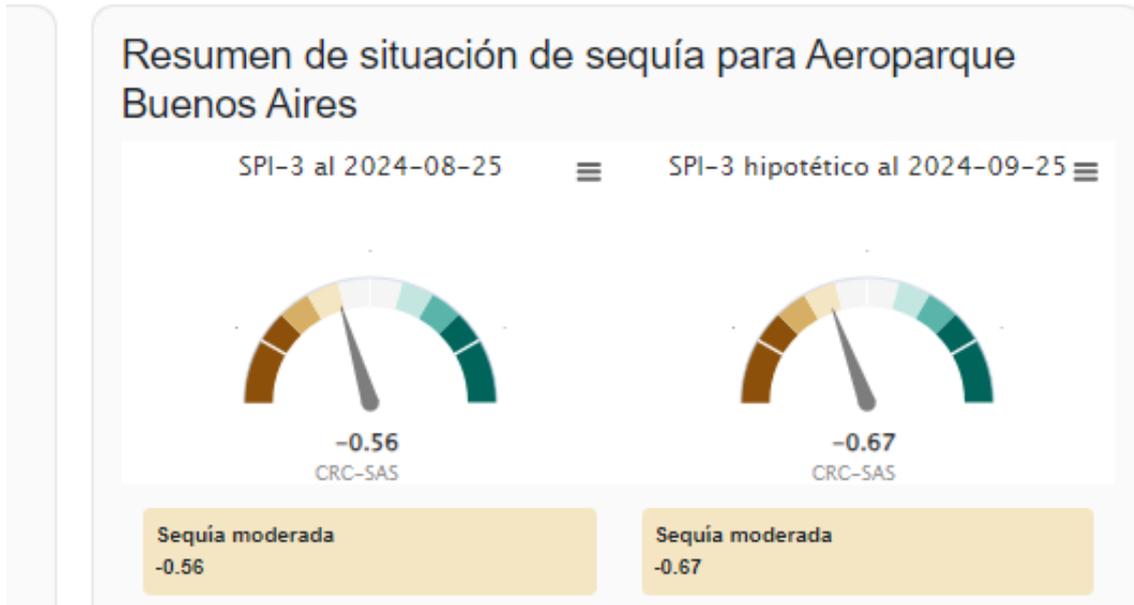


Figura 4.1. Diagnósticos asociados a la solapa “Exploración de escenarios” (*panel superior*).

El segundo panel (“Precipitación climatológica e hipotética”) (*figura 4.2*) se focaliza en mostrar al usuario la probabilidad de ocurrencia de la precipitación acumulada para el próximo mes seleccionada mediante el deslizador. En el gráfico de la izquierda se muestra la función de densidad de probabilidades asociada a los montos de precipitación ocurridos históricamente para el mes siguiente. En este gráfico se marca el valor de precipitación acumulada seleccionada con una línea vertical punteada. También se muestran distintos colores de fondo los cuales representan la categoría de sequía según el SPI-3 asociadas a los valores de precipitaciones plausibles dentro del rango histórico de precipitaciones.

Debajo del gráfico se visualizan dos pequeños recuadros, cada uno de los cuales indica la probabilidad histórica de que ocurra una precipitación menor o igual a la seleccionada (*recuadro superior*) o de que ocurra una precipitación mayor a la seleccionada (*recuadro inferior*). Estos recuadros permiten visualizar



rápidamente las probabilidades de superar o no cierto umbral de precipitaciones.

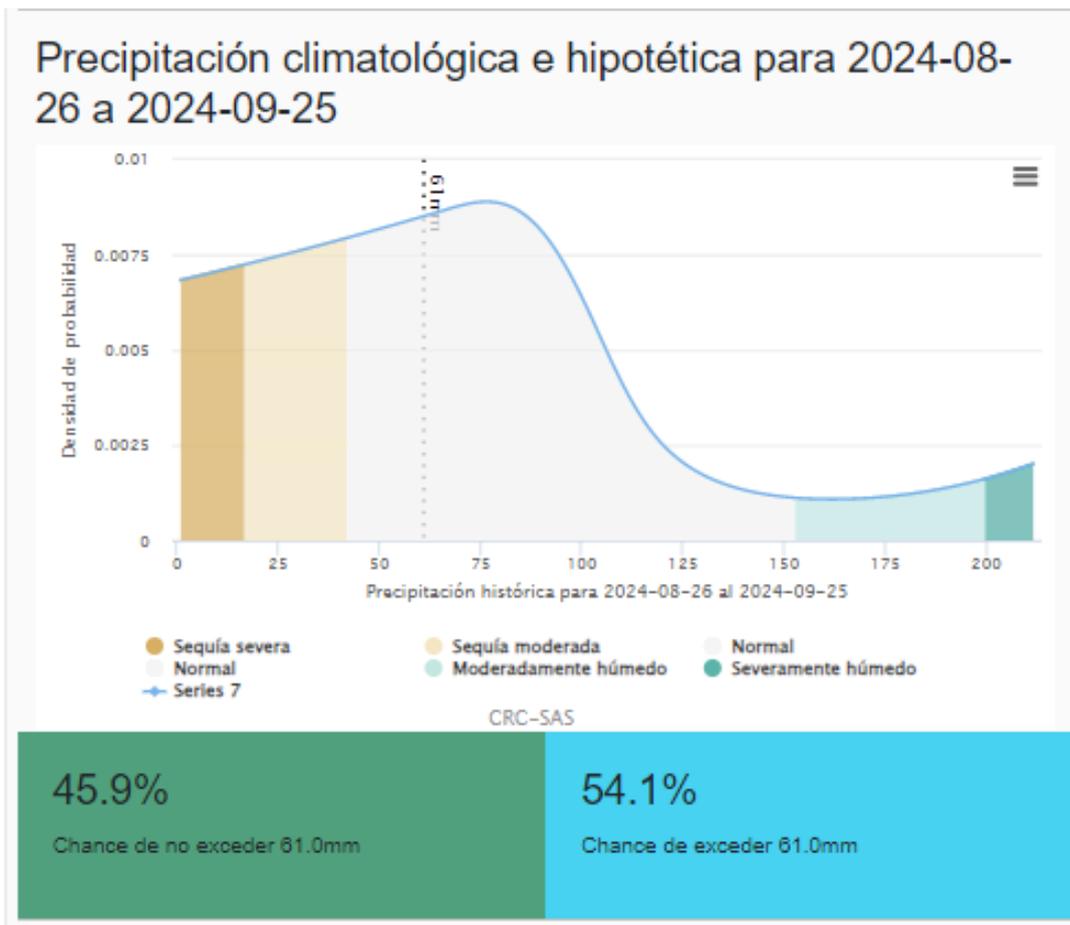
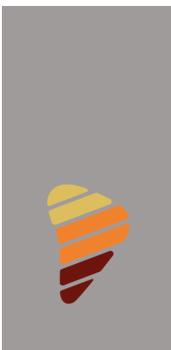


Figura 4.2. Diagnósticos asociados a la solapa “Exploración de escenarios” (panel medio).

Finalmente, el tercer y último panel de esta solapa (“Rango climatológico y valor hipotético de SPI- 3...”)(figura 4.3) muestra la serie temporal de valores de SPI-3 para las últimas 12 péntadas. Estos valores son aquellos mostrados por círculos negros conectados por líneas sólidas. El último de esos 12 valores de SPI-3 es el valor actual (el cual se muestra en el medidor izquierdo del primer panel).



1.2.3. SOLAPA “ESCENARIOS PLAUSIBLES DE ÍNDICES DE SEQUÍAS”

En esta solapa se busca poner foco en la distribución de probabilidades de totales de precipitación para las próximas seis péntadas y su asociación con los respectivos valores de SPI-3. Para ello se agrupan los montos de precipitación históricas para el mes siguiente en terciles. Cada tercil representa un rango de precipitaciones el cual da origen a un rango de valores de SPI-3 asociados.

En el gráfico de la *figura 5* se muestran tres recuadros grises, cada uno de los cuales corresponde al rango de valores de SPI-3 derivados de cada rango de precipitaciones plausibles para la estación meteorológica seleccionada. Los recuadros representan, de izquierda a derecha, los rangos de SPI-3 para los terciles 1, 2 y 3 respectivamente. Los terciles, por definición, representan intervalos con una probabilidad de ocurrencia del 33,33%. Esto implica que los rangos de cada recuadro tienen la misma probabilidad de ocurrencia (considerando la distribución histórica de precipitaciones).

El ancho de cada recuadro está asociado a asimetrías en la función de distribución de probabilidades (si la función de distribución fuera uniforme, los tres recuadros deberían tener el mismo ancho). Recuadros más anchos representan las “colas” de la distribución de probabilidades. Recuadros más angostos representan las zonas con mayor densidad de probabilidad montos de precipitación.

El fondo del gráfico se encuentra coloreado con franjas verticales asociadas a las categorías de sequía presentadas en la parte inferior del menú interactivo. Como cada franja está vinculada a las distintas categorías de sequía, es posible visualizar qué categorías de sequía son atravesadas por los distintos terciles de precipitación.

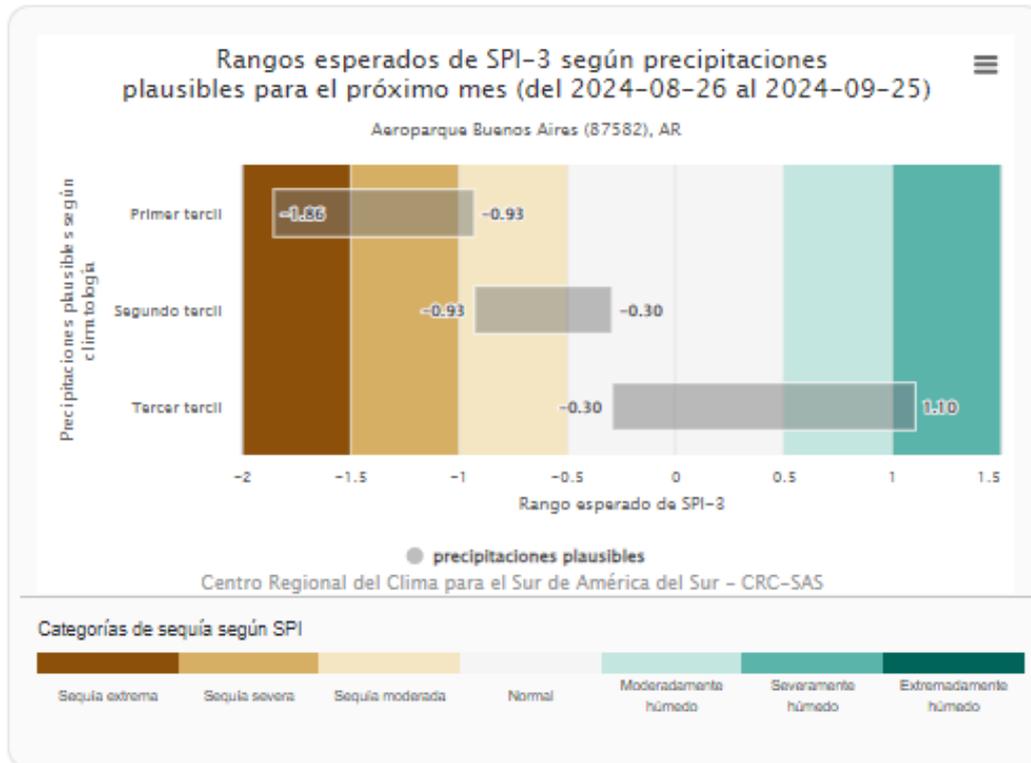
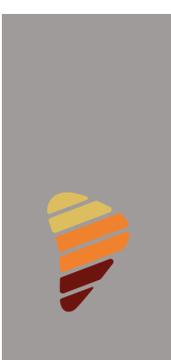
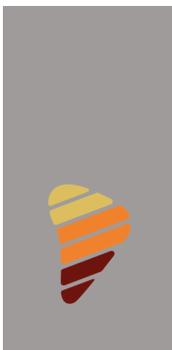


Figura 5. Diagnósticos asociados a la solapa “Escenarios plausibles de índices de sequía”.



1.2.4. SOLAPA “ESCENARIOS PROBABILÍSTICOS”

En la cuarta y última solapa, se abordará también el análisis de las distribuciones de precipitación para el último mes de la escala. Sin embargo, en estos diagnósticos se introducirán escenarios probabilísticos basados en terciles de precipitación histórica.

Existen modelos de pronósticos de precipitaciones (por ejemplo, el Climate Predictability Tool –CPT, por sus siglas en inglés- desarrollado por el International Research Institute for Climate and Society, <https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/tools/cpt/>) que predicen la ocurrencia de montos basados en terciles históricos. Esto significa que los pronósticos no predicen un total de precipitación para un período, sino que reportan la probabilidad de que ocurra un monto correspondiente a algún tercil de precipitación histórica para la ubicación estudiada.

Un ejemplo de predicción posible sería que el modelo indique que existe una probabilidad del 50% de que ocurra una precipitación dentro del primer tercil, de 30% dentro del segundo tercil y de 20% dentro del último tercil. Vinculando esta información con la distribución de precipitaciones para las próximas 6 pentadas y, haciendo uso de la asociación entre esta función de distribución de precipitaciones históricas para la estación convencional seleccionada y la función de distribución de valores de SPI-3, se podría realizar un análisis probabilístico de escenarios plausibles de sequía.

Para poder ingresar las probabilidades de ocurrencia de cada tercil, el usuario puede seleccionar las probabilidades de ocurrencia de los terciles 1 y 3 moviendo las barras de desplazamiento horizontales que se encuentran en el menú interactivo de la izquierda (ver *figura 6*). Estas barras de desplazamiento permiten definir probabilidades entre 0,1 y 0,8, dado que generalmente nunca existen predicciones que devuelvan probabilidades más allá de los límites definidos. El valor de probabilidad asociado al segundo tercil se ajusta automáticamente de modo que la suma de las tres probabilidades de 1.



Una vez que se han seleccionado las probabilidades, la aplicación realiza un proceso de remuestreo de las precipitaciones históricas condicionado a las probabilidades ingresadas. Este proceso define una nueva función de densidad de probabilidades para el total de precipitaciones. A su vez, también se redefine la función de probabilidad de ocurrencia de valores de SPI-3 dada la vinculación entre esta función de distribución y la función de distribución de precipitaciones.

Luego de seleccionadas las probabilidades de ocurrencia para cada tercil, el usuario debe también indicar el tipo de gráfico que desea visualizar. En la *figura 6* se presenta la distribución de probabilidades de total de precipitación (PDF) para el próximo mes sujeta al pronóstico especificado. En la figura se presenta tanto la función de densidad de probabilidades original (de acuerdo con los datos históricos) y también la función de densidad de probabilidades condicionada por el pronóstico.

Además de poder visualizar la función de densidad de total de precipitaciones (PDF), es posible también visualizar la función de distribución acumulativa (CDF) y la función de excedencia (que no es otra cosa que la función $f(x) = 1 - \text{cdf}[x]$) para la misma variable (total de precipitación para el próximo mes). En ambos casos también es posible visualizar las funciones originales (definidas por los valores históricos de precipitaciones) como también las funciones resultantes del remuestreo condicionado al pronóstico.

La última opción (“escenarios plausibles de sequía condicionados a pronóstico”) permite visualizar un gráfico como el de la *figura 5*, donde se presentan cajas rectangulares asociados a índices de sequía para cada tercil de precipitación histórica. A diferencia de ese gráfico, en este caso las cajas rectangulares corresponden a los terciles remuestreados de acuerdo con el pronóstico definido por el usuario. Es decir, que los índices de sequía asociados a cada caja rectangular no tienen una probabilidad de ocurrencia del 33,33% (como sucedía para la *figura 5*), sino que las probabilidades aquellas especificadas por el usuario según el pronóstico ingresado.

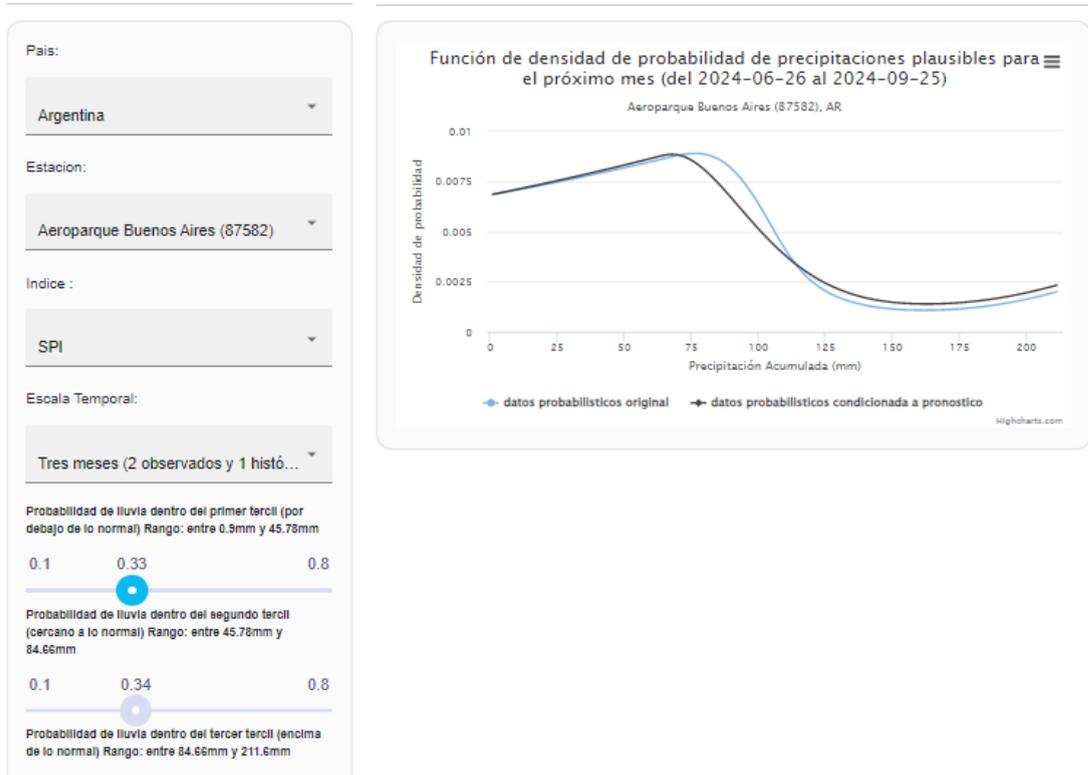


Figura 6. Diagnósticos asociados a la solapa "Escenarios probabilísticos".



SISSA SISTEMA DE INFORMACIÓN SOBRE
SEQUÍAS PARA EL SUR DE SUDAMÉRICA

AGRADECIMIENTOS

El ESI fue desarrollado como una colaboración entre Christopher Hain (NASA Marshall Space Flight Center), Martha Anderson (USDA Agricultural Research Service) y las universidades de Wisconsin, Nebraska-Lincoln y Maryland en los Estados Unidos. El Proyecto ESI es financiado por el Programa de Ciencia Aplicada/Recursos Hídricos de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA).

Los datos del ESI para producir los mapas y diagnósticos son producidos y diseminados por el Proyecto SERVIR. SERVIR es un desarrollo conjunto de la NASA y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). El Proyecto SERVIR trabaja en asociación con organizaciones regionales líderes en todo el mundo para ayudar a los países en desarrollo a utilizar la información satelital y tecnologías geoespaciales para gestionar los riesgos climáticos y el uso de la tierra. El propósito de SERVIR es empoderar a los tomadores de decisiones con herramientas, productos y servicios para actuar a nivel local en temas sensibles al clima como desastres, agricultura, agua y ecosistemas y uso de la tierra.

REFERENCIAS

Kooperberg, C. and C. J. Stone (1992). Logspline density estimation for censored data. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 1, 301-328, <https://doi.org/10.2307/1390786>

Stone C. J., M. Hansen, C. Kooperberg, and Y. K. Truong (1997). The use of polynomial splines and their tensor products in extended linear modeling. *Annals of Statistics*, 25, 1371-1470, <https://www.jstor.org/stable/2959054>