



## Índices de SequíaS4

### Fundamento:

El *S4Index de sequía* se construye a partir de datos de Índice Verde Mejorado (EVI) registrado por el sensor Modis del satélite Terra de la NASA, para un cultivo específico medido en su período crítico para la determinación del rendimiento. El cultivo es previamente individualizado usando datos de sensores en satélites LANDSAT, también pertenecientes a la NASA.

### Metodología

Para lograr una correcta evaluación actuarial del riesgo del cultivo relacionado con su ambiente, es necesario conocer (i) el área donde estuvo presente el cultivo a lo largo de cada campaña/año, (ii) la variabilidad de resultados que puede generar el índice – i.e. la historia del índice verde- a lo largo de un período de tiempo extenso, y (iii) la curva de parametrización del riesgo (i.e. el modelo actuarial) que mejor representa la distribución de frecuencias del índice.

### 1<sup>er</sup> Paso: Identificación de la ubicación histórica de un cultivo mediante firma espectral

Para definir la ubicación geográfica histórica de un cultivo se emplean imágenes Satelitales Landsat 5, 7 y 8 convertidas a valores de reflectancia en superficie utilizando las bandas Red, Infrared and SWIR. Las imágenes son descargadas libremente desde <http://earthexplorer.usgs.gov/>

La selección de imágenes se hace en función del momento reproductivo de cada cultivo y se eligen en promedio 3 imágenes preferentemente libre de nubes por *Path Rows* (para ordenar las imágenes se utiliza una grilla mundial en el que se identifica cada imagen de forma unívoca por un **Path**-franja vertical- y un **Row** -fila horizontal). El período de análisis se extiende desde el año 2.000 a la actualidad. Las imágenes son recorridas por la firma espectral del cultivo y reconoce el conjunto de píxeles que cumplen la condición espectral definida. Este proceso se corre automáticamente y cada iteración del algoritmo es supervisada por un operador que controla que el algoritmo este funcionando correctamente y realiza tareas de control para garantizar que el área representada se encuentre correctamente identificada. En caso de contar con imágenes con nubosidad se clasifican las imágenes disponibles y luego se realiza un mosaico de imagen clasificada logrando que con las imágenes disponibles se logre cubrir y compense el faltante de algún área nubosa. Si no se dispone de imágenes libre de nubes en el período reproductivo se analizan imágenes en momentos posterior o anteriores a este momento. Las imágenes clasificadas (Rasters) son convertidas a Vectores (polígono) representando la extensión de un cultivo (a escala de lote) para una campaña. Este proceso se recorre en forma automatizada para todas las campañas productivas desde el año 2000 a la actualidad.



Como chequeo adicional, el área clasificada se compara con aquella de fuentes de datos externa, generalmente datos de un organismo oficial de recopilación de datos agrícolas (USDA, IBGE, SAGyP, etc.) que son usado de referencia para entender si las áreas relevadas están en línea con las declaradas por los agricultores a lo largo de los años. En este sentido el proceso arroja un resultado del 87% entre lo declarado en los organismos oficiales y los relevados por el proceso de reconocimiento de cultivos con firma espectral.

## **2<sup>do</sup> Paso: Extracción del Índice Verde Mejorado, firma fenológica y armado del índice.**

El índice de sequía se basa en el índice verde mejorado (EVI) del Sensor Modis V006 (las imágenes se descargan de forma gratuita desde el repositorio online <https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/MOD13Q1.006/>). Este sensor se encuentra montado en los satélites Terra y Aqua, ambos perteneciente a la NASA. Al ser ambos sensores idénticos y aplicar los mismos algoritmos de calibración y calculo tomamos los datos provenientes del satélite Terra como los datos principales y los que obtenemos del satélite Aqua como datos de Back up en caso de no disponer información del satélite Terra para el cálculo del índice en la campaña en curso. Para el cálculo histórico no hay inconvenientes dado que ambas series están completas (Terra desde febrero del 2000 y Aqua desde Julio 2002). El producto del sensor Modis que se toma como input es el MOD13Q1 (Terra) y MYD13Q1 (Aqua). Ambos productos cuentan con 12 layers y se importan a la DB (base de datos) de S4. Cada elemento en la base de datos corresponde a un pixel de 6.25 has. Para el caso del índice de sequía se utilizan las siguientes bandas:

- 250m 16days EVI
- 250m 16days pixel reliability summary QA

Cada pixel en la BD es contextualizado con el cultivo que tuvo en cada año a partir del layer vectorial obtenido en el proceso de la aplicación de la firma espectral sobre imágenes Landsat.

Los satélites Terra y Aqua tienen una frecuencia orbital diaria. No obstante, la frecuencia temporal de los datos que se encuentran en la DB es un compuesto 16 días, ya que el producto que publica NASA, el proveedor de la imagen, resulta de la selección de la observación de mejor calidad que representa a esa ventana temporal. Con este proceso, se descartan pixeles que durante esa ventana se encontraron con problemas de calidad (nubosidad, ángulos de toma, etc.). Uno de los layers disponibles e importados a la base de datos (250m 16 days pixel reliability summary QA) proporciona información del pixel en este sentido, y permite elegir con que población de pixeles trabajar en función de la calidad requerida. Puede darse el caso que en el período de 16 días no se encuentren pixeles libres de nubosidad y esta situación es declarada en la información de calidad que acompaña al pixel, permitiendo descartar esos pixeles en los cálculos internos. Para el cálculo del índice, los pixeles identificados con problema de nubosidad son descartados.

Los pixeles en la base de datos son recorridos por algoritmos de clusterización para conocer el comportamiento fenológico del cultivo clasificado. Este proceso se corre en una dimensión temporal (campaña tras campaña) y bajo una dimensión geográfica (a nivel de departamento). Pixeles que fueron identificados bajo la firma espectral para un determinado cultivo, tiene que cumplir con el comportamiento fenológico esperado, generando un doble chequeo del proceso de contextualización.



Píxeles que no cumplan con el patrón fenológico son descartados y no forman parte de los procesos de cálculo.

El paso final del proceso de armado del índice se basa en la elección de la ventana del período crítico del cultivo (select temporal). Esta ventana es función del cultivo, y las interacciones genotipo/manejo y ambiente para las distintas latitudes. En el ciclo de vida de un cultivo no todos los momentos se relacionan con el mismo peso con la performance final que tuvo en el año. Solo lo que sucede en una ventana centrada en floración o floración/llenado de granos (según el cultivo) tiene un impacto fuerte en el resultado final del mismo. Los modelos de ajuste entre las observaciones a campo y los datos tomados durante el período crítico arrojan resultados cercanos al 70% de correlación entre el rendimiento y el valor del índice (en función de la agregación espacial). De esta forma para identificar correctamente el período crítico de los distintos cultivos se aplican técnicas de clusterizados sobre la base de datos con el fin de identificar distintos tipos de comportamientos de píxeles por departamento y por año. Estos comportamientos están asociados a distintas combinaciones de fecha de siembra y genotipo por parte del agricultor. En cada cluster identificado, el momento de lectura se normaliza al valor máximo del cluster y, de acuerdo al cultivo y la zona, momentos anteriores y posteriores son tenidos en cuenta (Ej. en Soja de Primera las lecturas se realizan sobre el valor máximo y los 2 valores anteriores y posteriores al mismo). A su vez, los momentos normalizados son afectados por distintos coeficientes que determinan el peso relativo de cada uno en la síntesis final. Estos coeficientes son propios del cultivo y la zona.

Como paso final en la síntesis del índice, cada cluster es ponderado por su nivel de representación en el año y en el departamento.

Los datos se extraen consolidados por departamento y campaña desde el año 2000 a la actualidad. Píxeles de baja calidad no son tenidos en cuenta en los análisis.

El Índice S4 va de 0 (cero) a 1 (uno), de acuerdo con la cantidad de biomasa del cultivo específico en una zona determinada (departamento). El Índice S4 que se aproxima de 0 (cero) indica la existencia de un bajo nivel de biomasa y probablemente, una cantidad de lluvias menor, lo que indicaría una posibilidad de sequía mayor, por otro lado los valores que se aproximan a 1 (uno), sugieren una mayor cantidad de biomasa y mayor probabilidad de alta productividad del cultivo.

De esta forma se obtiene el Índice que permite, a nivel de cada cultivo y con una agregación a nivel de departamento, evaluar el estado de las plantas en un período determinado de su crecimiento y su capacidad productiva, logrando una alta correlación con el rendimiento final.



## Indice de InundaciónS4

### **Fundamento:**

El *S4Index de inundación* se construye a partir de datos de reflectancia registrado por el sensor Modis de los satélites Terra y Aqua de la NASA.

### **Metodología**

Para lograr una correcta evaluación actuarial del riesgo de inundación, es necesario conocer (i) el área agrícola con agua en superficie, (ii) la variabilidad de resultados que puede generar el índice – i.e. la historia de inundación- a lo largo de un período de tiempo extenso, y (iii) la curva de parametrización de frecuencias (i.e. el modelo actuarial) que mejor representa al índice.

### **1<sup>er</sup> Paso: Identificación espectral del agua en superficie y armado del índice.**

El índice de inundación se basa en los valores de reflectancia del Sensor Modis V006 (las imágenes se descargan de forma gratuita desde el repositorio online <https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/MOD13Q1.006/>). Este sensor se encuentra montado en los satélites Terra y Aqua, ambos perteneciente a la NASA. Los productos del sensor Modis que se toman como inputs son MOD13Q1 (Terra) y MYD13Q1 (Aqua). Ambos productos cuentan con 12 layers y se importan a la DB (base de datos) de S4. Cada elemento en la base de datos corresponde a un pixel de 6.25 has. Para el caso del índice de inundación se utilizan las siguientes bandas:

- 250m 16days RED reflectance (Band 1)
- 250m 16days NIR reflectance (Band 2)
- 250m 16days MIR reflectance (Band 7)

En la construcción del índice también se utiliza un layer geográfico que representa la máxima superficie Agrícola para el cultivo de Soja en los últimos 18 años, obtenida a partir de la unión espacial de los layers de cada una de las campañas agrícolas clasificadas con Soja desde la campaña 2000/01 a 2017/18. Esta se obtuvo gracias a la firma espectral que S4 desarrollo para el reconocimiento del cultivo de Soja sobre imágenes satelitales Landsat. Se considera la máxima área agrícola ya que en los últimos 18 años toda área con aptitud agrícola en algún momento tuvo Soja dentro de sus planteos técnicos. La cantidad de pixeles que forman el layer agrícola es contabilizado y agregado a nivel departamento.

El proceso de reconocimiento de agua en superficie a través de los layers de reflectancia provisto por el sensor Modis se basa en el algoritmo espectral desarrollado por S4 para identificar Agua. Este algoritmo analiza automaticame el patrón espectral en las bandas del RED, NIR y MIR de los pixeles que se insertan en la BD y que se encuentran dentro del layer agrícola. Si el comportamiento de los valores de reflectancia de las imágenes coincide con el rango espectral que el algoritmo tiene definido para el patrón “Agua”, el pixel es definido como pixel con agua. En caso contrario es descartado.

Para el índice de inundación de otoño se utilizan los siguientes compuestos de imágenes, combinando ambas fuentes del sensor Modis (Terra y Aqua) y estandarizando las fechas de los compuestos para eliminar el efecto de los años bisiestos.



Enero (Año)	Mayo (Año)
01/01 – Terra	01/05 – Aqua
09/01 – Aqua	09/05 - Terra
17/01 – Terra	17/05 -Aqua
25/01 – Aqua	25/05 -Terra

Tabla 1: Compuestos de imágenes Modis del satélite Terra y Aqua para calcular el índice de inundación de otoño

Para cada una de las fechas de compuesto de imagen se reconoce la cantidad de píxeles con Agua dentro del layer agrícola y luego se promedia la cantidad de píxeles con agua identificados en el mes. Luego, este valor es dividido por la cantidad de píxeles agrícolas que tiene el departamento analizado. De esta forma se genera el S4Index inundación para un mes dado. Para obtener el índice de una determinada ventana temporal, como el índice de inundación de otoño, se hace la diferencia de índice entre el resultado del mes final e inicial de la ventana elegida. Por ejemplo, para una determinada campaña y departamento el cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$\frac{\text{Media pixels agro con agua en Mayo}^{\text{Año}}}{\text{Total pixels agro del departamento}} - \frac{\text{Media de pixels agro con agua en Enero}^{\text{Año}}}{\text{Total pixels agro del departamento}} = \text{S4 Inundación Otoño } (\%)^{\text{Año/Departamento}}$$

De esta forma, para cada departamento van a existir 18 valores de S4index de inundación de otoño.



## Modelo Actuarial S4 (Curva de Parametrización de frecuencias)

Una vez calculados los índices de Sequía e Inundación al nivel de agregación establecido, se determinará el modelo estadístico de parametrización que mejor represente la serie histórica (18 años) del índice en cuestión, resultando en **funciones de densidad de probabilidad**. Las funciones matemáticas utilizadas fueron combinaciones de la Distribución Beta Limitada y Pareto.

Definida una **Función de Pago** (Paso y Pago por Paso), el modelo nos permite calcular el valor del strike para cada uno de las primas de riesgo elegidas.

Entonces, para la transferencia de este riesgo a un mercado, es posible definir un producto financiero completamente estandarizado con este Índice como subyacente. Finalmente, una opción de venta (put) sobre el Índice SequíaS4, podría ser interpretado como una protección contra sus valores bajos, es decir una protección contra una sequía que podría ocurrir en el departamento en cuestión. Y una opción de compra (call) sobre el índice InundaciónS4 será una protección contra exceso de -agua en superficie.

En consecuencia, un actor de ese mercado tiene todos los elementos necesarios para establecer su propia estimación de precios de estos productos financieros - derivados climáticos -, y decidir de retener estos riesgos o transferirlos a los tomadores de riesgo.