



1. Fuentes de información

En esta sección se presentan las principales características de las fuentes de datos utilizadas en la construcción del Atlas Agroclimático Interactivo y en el Monitoreo Agrometeorológico (en tiempo real) del Centro de Información Agroclimática y Ambiental (CIAg).

1. Especificaciones Productos Satelitales y Modelos Globales

1.1 NASA POWER

El conjunto de datos proporciona información de diversas variables meteorológicas con una resolución temporal diaria. Los parámetros meteorológicos se obtienen a partir del modelo de asimilación **MERRA-2**. Los tipos de observaciones utilizadas en el análisis incluyen: (1) observaciones de la superficie terrestre; (2) observaciones de la superficie del océano: presión del nivel del mar y vientos; (3) vientos a nivel del mar deducidos de la información provista por radares espaciales; (4) datos convencionales de la atmósfera superior desde radiosondas; (5) fuentes adicionales de datos en altitud medidos desde globos piloto y aeronaves; y (6) información de sensores remotos.

El producto final se obtiene en una resolución de 0.5°, disponible para el periodo 1979 al presente.

Para más información consultar: <https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/>

1.2 AgERA5

El producto **AgERA5** proporciona información agrometeorológica diaria, disponible desde el año 1979 al presente, con una resolución espacial de 0.1°.

Los datos son procesados a partir de la quinta generación de reanálisis de datos climáticos globales, del Centro Europeo de Previsión Meteorológica a Medio Plazo (ECMWF, por sus siglas en inglés), conocido como ERA5, que utiliza métodos avanzados de modelado y asimilación de datos provenientes de diversas fuentes de información, como aquellos medidos en superficie y altura, y los estimados por sensores remotos. **AgERA5** es realizado aplicando correcciones topográficas y métodos de interpolación a los datos originales del modelo ERA5, con el objetivo de mejorar la resolución espacial.

Para más información consultar: http://datastore.copernicus-climate.eu/documents/sis-global-agriculture/C3S422Lot1.WEnR.DS2_AlgorithmTheoreticalBasis_v1.01_APPROVED_Ver1.1.pdf

1.3 CHIRP / CHIRPS

La información de Precipitación Infrarroja del Grupo de Amenazas Climáticas, y aquel combinado con observaciones pluviométricas (CHIRP y CHIRPS, por sus siglas en inglés), representa un set de datos de precipitación casi global (50°S-50°N) disponible desde el año 1981 a la actualidad, que pueden ser obtenidas a diferentes escalas de tiempo: diaria, pentadal y mensual.

El set de datos CHIRP, surge de la combinación de series climáticas (CHP-clim), calibradas a nivel local con información satelital. CHIRPS, adiciona la información pluviométrica diaria a nivel global, siendo integrados a partir de métodos sofisticados de interpolación, en cuadrículas de 0.05° de resolución espacial. Debido a la mayor complejidad que posee la información CHIRPS, se encuentra disponible con una latencia mensual o hasta dos meses, mientras que el producto CHIRP puede consultarse en tiempo casi real (3-5 días).

En el CIAg se encuentra disponible la información diaria de ambos productos, con una resolución de 0.05°.

Para más información consultar: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>

1.4 CPC

Este conjunto de datos forma parte de los productos del Proyecto de Precipitación Unificada del Centro de Predicción Climática (CPC, por sus siglas en inglés), de la NOAA.

El objetivo del producto consiste en obtener un set de datos con mayor precisión cuantitativa, a partir de las mediciones en superficie, consistidas mediante un análisis de calidad con registros históricos, modelos numéricos de pronóstico y estimaciones satelitales.

En un proceso posterior, los datos son interpolados a una grilla de 0.5°, para crear campos de datos diarios teniendo en cuenta los efectos orográficos. La información se encuentra disponible desde el año 1979 hasta la actualidad, el cual cuenta con dos componentes, una versión retrospectiva (RETRO) que abarca el periodo 1979-2005, que reúne la información de más de 30.000 estaciones meteorológicas, y una versión en tiempo real desde el 2006 al presente, que cuenta con los datos de 17.000 estaciones.

Para más información consultar: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.cpc.globalprecip.html>

1.5 Especificaciones Datos Observados en Estaciones Meteorológicas SMN - INTA

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) monitorea el estado de las distintas variables meteorológicas en 117 estaciones meteorológicas convencionales distribuidas a lo largo del país. Los datos se reciben con una resolución temporal diaria y se encuentran disponibles a partir del año de comienzo de registro de cada estación meteorológica. Las variables reportadas por el SMN son: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, punto de rocío, presión atmosférica, velocidad del viento, tensión de vapor, y heliofanía efectiva. Para la confección del Atlas Agroclimático también se utilizaron datos de estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Método de interpolación para crear mapas climáticos y meteorológicos con datos observados

Los datos puntuales de cada estación meteorológica fueron interpolados mediante el método “lineal no sesgado” (Ordinary Kriging) incluido en el software SAGA GIS.

1.6 Resumen

	NASA POWER	AgERA5	CHIRP	CHIRPS	CPC	Red SMN-INTA
Fuente de Datos	Modelo Global (MERRA2), estimaciones satelitales, datos de superficie.	Modelo Global (ERA5), estimaciones satelitales, datos de superficie.	Datos climatológicos, estimaciones satelitales	Datos climatológicos, estimaciones satelitales, datos de superficie.	Datos climatológicos, estimaciones satelitales, datos de superficie.	Observación meteorológica en estaciones convencionales del SMN y el INTA.
Resolución Espacial	0.5°	0.1°	0.05°	0.05°	0.5°	Información puntual
Resolución Temporal	Diario	Diario	Diario	Diario	Diario	Diario
Periodo	1979 - presente	1979 - presente	1981 - presente	1981 - presente	1979 - 2022	Año de inicio - presente
Latencia de actualización	2 días	8 días	2 – 5 días	1 - 2 meses	2 días	1 día
Variables Meteorológicas	Precipitación, Radiación, Temperatura máxima, Temperatura mínima, Temperatura media, Humedad relativa, Presión, Velocidad del Viento	Temperatura mínima, Temperatura máxima, Precipitación, Presión de Vapor, Radiación, Velocidad del viento	Precipitación	Precipitación	Precipitación, Temperatura máxima, Temperatura mínima	Temperatura máxima Temperatura mínima Heliofanía efectiva Precipitación Presión atmosférica Punto de rocío Tensión de vapor actual Velocidad del viento

2. Metadatos – Pasado

El Atlas Agroclimático Interactivo del Centro de Información Agroclimática y Ambiental (CIAg), pone a disposición mapas climáticos de diferentes variables meteorológicas y agrometeorológicas. Independientemente de la fuente de datos utilizada y de la variable representada, todos los mapas que se muestran en esta sección del CIAg, corresponden a valores medios del periodo histórico **1991-2020 (30 años)**.

Además de la información climática incluida en el atlas, en la sección pasado se muestran gráficos interactivos de probabilidad acumulada de heladas tempranas y tardías y golpes de calor y gráficos interactivos de distintas variables astronómicas para cada sitio en donde se encuentran las estaciones meteorológicas de la red de SMN-INTA.

2.1 Atlas Agroclimático Interactivo

2.1.1 Precipitación

La climatología de la precipitación se presenta en diferentes escalas temporales, incluyendo:

- Precipitación media anual (mm)
- Precipitación media del semestre cálido (mm) (el período cálido corresponde a los meses comprendidos entre octubre y marzo)
- Precipitación media del semestre frío (mm) (el período frío corresponde a los meses comprendidos entre abril y septiembre)
- Precipitación media del verano (diciembre, enero y febrero), otoño (marzo, abril y mayo), invierno (junio, julio y agosto) y primavera (septiembre, octubre y noviembre) (mm)
- Mensual (mm)

Todas las variables se calcularon a partir de datos diarios de precipitación de NASA POWER, SMN, INTA, AgERA5, CHIRPS.

2.1.2 Evapotranspiración Potencial

Se presentan mapas climáticos de evapotranspiración potencial calculada por el método de Penman Monteith FAO* en las escalas temporales anual y mensual. Esta variable fue calculada con datos meteorológicos observados (SMN e INTA) y con datos satelitales del proyecto NASA POWER. La ecuación utilizada para estimar la evapotranspiración potencial por este método requiere datos diarios de temperatura, presión de vapor actual, velocidad del viento a 2 metros, presión atmosférica, y radiación, según:

$$EP = \frac{0,408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)}$$

Donde EP es la evapotranspiración de referencia (mm/día); R_n es la radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$); G es el flujo de calor del suelo ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$); T es la temperatura media diaria del aire ($^{\circ}\text{C}$); u_2 es la velocidad del viento a 2 metros de altura (m/s); e_s es la presión de vapor de saturación (kPa); e_a es la presión de vapor actual (kPa); Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$); γ es la constante psicrométrica ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$). En los casos en que faltaran datos los mismos fueron estimados según Allen et al. (1998).

*ver Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*. FAO, Rome, 300 (9), D05109.

2.1.3 Temperatura

Los mapas climáticos de temperatura fueron obtenidos mediante el uso de fuentes de datos observados (SMN e INTA) y fuentes de datos satelitales y de reanálisis de los proyectos NASA POWER y AgERA5. Las variables de temperatura presentadas en el CIAg son:

- Temperatura media ($^{\circ}\text{C}$)
- Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)
- Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)

Para las tres variables se calcularon las medias anuales y mensuales. La temperatura observada en superficie (SMN e INTA) es medida a 1,5 metros y en el caso de los productos grillados (NASA POWER y AgERA5) se utilizó la temperatura del aire a 2 metros.

2.1.4 Radiación Global

La radiación global es la radiación solar que llega a la superficie terrestre. Los mapas climáticos de esta variable fueron construidos con datos observados en superficie (SMN e INTA) y con datos grillados de los proyectos NASA POWER y AgERA5. En los tres casos la unidad de medida es MJ m⁻² día⁻¹ y se calcularon los valores medios anuales y mensuales para el periodo histórico. En el caso de los datos del SMN e INTA, la radiación global se obtiene a partir de la heliofanía efectiva, mediante la ecuación de Angström:

$$R_s = R_a \left(a + b \frac{n}{N} \right)$$

Donde R_s es la radiación global (MJ m⁻² día⁻¹), R_a es la radiación astronómica (MJ m⁻² día⁻¹) (radiación solar en el tope de la atmósfera), n es la heliofanía efectiva (hs), N la heliofanía astronómica (hs) y a y b son constantes, se utilizó 0,18 y 0,55 respectivamente.

2.1.5 Heliofanía efectiva

Los mapas climáticos de heliofanía efectiva (horas de brillo solar) fueron calculados a partir de datos observados en estaciones meteorológicas del SMN y el INTA. El instrumento utilizado para su medición en estaciones convencionales es el heliofanógrafo. A partir de datos diarios de esta variable se obtienen valores medios anuales y mensuales.

2.1.6 Variables que describen la humedad atmosférica

Para conocer la humedad atmosférica se pueden utilizar distintas variables que describen aspectos diferentes de ésta. En el Atlas Agroclimático del CIAg se presentan mapas climáticos anuales y mensuales de las siguientes variables:

- Humedad relativa (%): describe la cantidad de humedad que tiene una masa de aire respecto a la cantidad máxima de humedad que podría contener ese aire según su temperatura y se expresa en porcentaje. Esta variable fue calculada tanto a partir de datos diarios satelitales del proyecto NASA POWER, como de datos diarios observados en estaciones meteorológicas (SMN e INTA).
- Déficit de presión de vapor (hPa): indica la diferencia entre el contenido de vapor de agua que existe en una masa de aire y la cantidad máxima de vapor que podría retener según la temperatura a la cual se encuentra. Se expresa en unidades de presión. Se construyeron mapas climáticos de esta variable con las fuentes de datos grillados de NASA POWER y AgERA5 y con datos observados en superficie (SMN e INTA).
- Tensión de vapor actual (hPa): expresa en contenido de vapor de una masa de aire en un momento determinado. Se construyeron mapas climáticos de esta variable con las fuentes de datos grillados de NASA POWER y AgERA5 y con datos observados en superficie (SMN e INTA).

2.1.7 Variables del modelo de Balance Hidrológico Operativo para el Agro (BHOA)

A partir de datos meteorológicos diarios y de las constantes de suelo capacidad de campo y punto de marchitez permanente, es posible ejecutar el modelo de Balance Hidrológico Operativo para el Agro (BHOA)*. El BHOA es un modelo de una capa que establece un balance entre la evapotranspiración, la precipitación y el agua almacenada en el suelo. Se construye a partir de datos diarios de precipitación (PP) y de evapotranspiración potencial (EP), y de las dos constantes edáficas mencionadas previamente, que permiten establecer la función de desecamiento del suelo. El modelo fue corrido para datos meteorológicos observados (SMN e INTA) y también para datos satelitales, utilizado el proyecto NASA POWER. A partir de datos diarios, se elaboran mapas climáticos de las siguientes variables agroclimáticas:

- Agua útil (%): expresa el porcentaje de agua útil presente en un momento dado con respecto al agua útil máxima que puede contener cada suelo. El agua útil es el agua del suelo que puede

ser utilizada por las plantas. Es decir, es aquella cantidad de agua que se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

- Déficit hídrico (mm): ocurren cuando el contenido de agua del suelo no es suficiente para evapotranspirar la cantidad de agua que demanda la atmósfera, y por lo tanto la evapotranspiración real es inferior a la evapotranspiración potencial. En este momento se considera que las plantas comienzan a sufrir estrés hídrico.
- Excesos (mm): es la cantidad de agua que excede la capacidad de campo del suelo, y, por lo tanto, según el modelo, no puede ser retenida en el perfil.
- Evapotranspiración real (mm): es la cantidad de agua evaporada desde el suelo y transpirada por las plantas en un momento determinado.

*Para obtener información detallada del modelo BHOA consultar Fernández Long et al., (2012) (disponible en: <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/4/1>) y Spennemann et. al, (2020) (disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221458182030197X?via%3Dihub>).

2.2 Gráficos de probabilidad

Probabilidad de heladas y golpe de calor

Se presentan gráficos interactivos de probabilidad acumulada de heladas tempranas y tardías y golpes de calor para cada estación meteorológica de la red de estaciones del SMN. Los cálculos fueron realizados para cuatro umbrales de temperatura:

- Heladas: leves 3°C, moderadas 0°C, severas -3°C y extremas -5°C.
- Golpes de calor: leve 30°C, moderado 32°C, severo 35°C y extremo 37°C.

Las variables calculadas son:

- **Probabilidad de Heladas tempranas**: indica la probabilidad de que ocurran heladas antes de la fecha indicada en el eje de las abscisas. Se calculó hasta el 15 de julio.
- **Probabilidad de Heladas tardías**: indica la probabilidad de que ocurran heladas después de la fecha indicada en el eje de las abscisas. Se calculó a partir del 1 de mayo.
- **Probabilidad de Golpes de calor tempranos**: indica la probabilidad de que ocurran golpes de calor antes de la fecha indicada en el eje de las abscisas. Se calculó a partir del 1 de mayo y hasta el 31 de diciembre.
- **Probabilidad de Golpes de calor tardíos**: indica la probabilidad de que ocurran golpes de calor después de la fecha indicada en el eje de las abscisas. Se calculó a partir del 1 de enero y hasta el 15 de julio.

2.3 Gráficos de variables astronómicas

En esta sección se presentan gráficos interactivos que muestran la marcha anual de variables astronómicas para cada estación meteorológica de la red de estaciones SMN.

2.3.1 Variables calculadas

Las variables listadas a continuación fueron calculadas utilizando la planilla de cálculo VarAst*, desarrollada por la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas (disponible en la sección "Educación" del CIAg):

- Heliofanía astronómica (HA): Duración del día (expresada en horas)
- Fotoperíodo (F): Duración del día, incluyendo ambos crepúsculos civiles (lapso en que el sol se encuentra entre 6 y 0 grados por debajo del horizonte).
- Radiación astronómica (RA): Cantidad de radiación solar recibida en un plano horizontal, por unidad de superficie y tiempo, en cualquier punto de la tierra sin considerar los efectos de la atmósfera. Expresada en MJ m⁻² día⁻¹.

*Para obtener más información, consultar Fernández Long, M. E.; Hurtado, R. H.; Spescha, L. B. (2015). Planilla de cálculo de variables astronómicas (VARAST 1.0). Rev. Agronomía & Ambiente 35(2): 171-177. FA-UBA, Buenos Aires, Argentina.

2.3.2 Variables observadas

Las siguientes variables se obtienen a partir de datos observados por la red de estaciones meteorológicas SMN-INTA:

- Heliofanía efectiva (HE): Horas de brillo solar, dicho en otras palabras, las horas en que el cielo estuvo despejado. La HE es medida en estaciones meteorológicas, utilizando el Heliofanógrafo. Para elaborar el gráfico, se promediaron datos obtenidos del SMN a partir de 1950 y hasta el año 2022.
- Radiación Global (RG): Cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre. Expresada en MJ m⁻² día⁻¹. La RG fue calculada a partir de la HE, mediante la ecuación de Angström*.

*Ver punto 2.1.4

3. Metadatos – Presente (Monitoreo agrometeorológico)

En el Monitoreo Agrometeorológico del CIAg se presentan mapas y gráficos interactivos en tiempo real de diferentes variables agrometeorológicas. Los productos presentados en esta sección son calculados a partir del uso de datos observados en estaciones meteorológicas del SMN y de datos satelitales del programa NASA POWER. Estas fuentes de datos son las que se actualizan con menor tiempo de latencia (1 día y 3 días, respectivamente), lo que permite poner a disposición del usuario información agrometeorológica actualizada.

3.1 Variables Agrometeorológicas

Se presentan mapas con información agrometeorológica en tiempo real obtenidos a partir de las fuentes de datos SMN y NASA POWER. En el caso de las variables calculadas con datos observados (SMN) la información se encuentra disponible hasta el día anterior a la visita al sitio web, mientras que las variables calculadas con NASA POWER tienen un tiempo de latencia de 3 días.

Las variables de monitoreo agrometeorológico que se presentan en esta sección son:

- Temperatura mínima absoluta de los últimos 30 días, que es la temperatura más baja registrada en los últimos 30 días.
- Temperatura máxima absoluta de los últimos 30 días, que es la temperatura más alta registrada en los últimos 30 días.
- Número de días con temperatura menor a 3°C en los últimos 30 días (variable de interés para el monitoreo de heladas)
- Número de días con temperatura mayor a 30 °C en los últimos 30 días (variable de interés para el monitoreo de golpes de calor)
- Número de días con precipitación en los últimos 30 días.
- Precipitación acumulada en los últimos 30 días.
- Precipitación acumulada en los últimos 7 días.
- Agua útil expresada en porcentaje (para más información de esta variable ver punto 2.1.7)

3.2 Series temporales

En esta sección se grafican en tiempo real series temporales con dos bases de datos distintas. Por un lado, se calculan para cada una de las estaciones del SMN (Datos observados), y por el otro se pueden obtener para cada punto de grilla del proyecto NASA POWER (Datos satelitales) haciendo clic cualquier punto del mapa de la Argentina.

Las variables calculadas son cuatro, dos de ellas obtenidas a partir del modelo BHOA (agua útil (AU) y evapotranspiración real (ER); la evapotranspiración potencial calculada por el método de Penman Monteith FAO (ver más detalle sobre el cálculo en la sección 2.2), y la precipitación acumulada (PP). El AU se presenta en forma diaria, en cambio las variables EP, ER y PP son acumuladas en forma

mensual; sin embargo, para el mes en curso serán acumuladas hasta el día previo a la consulta. Para todas las variables se muestra la mediana histórica (correspondiente al periodo 1991-2020) y los límites de los percentiles 20%-80% y 5%-95% (calculados con el periodo histórico mencionado).

3.3 Monitoreo de sequías

Índice de Sequías BHOA estaciones (ISBe): se trata de un indicador de sequías que tiene en cuenta la distribución estadística de los déficits hídricos obtenidos del modelo BHOA en una serie de años (1981-2020). El ISBe se basa en los percentiles de los déficits de las series temporales de los déficits hídricos. Los valores de déficits correspondientes a cada percentil se utilizan como umbrales para establecer una condición de sequía. Los percentiles que indican sequía son el 0 (valor récord, nunca registrado), 1, 2, 3 y 4 y representan periodos de sequía extrema, intensa, moderada, leve y estado de alerta, respectivamente.

Índice Estandarizado de Déficit Hídricos (SEDI) 1, 3, 6 y 12: el índice SEDI* estandariza los déficits hídricos (la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real). La ventaja de este índice es que permite comparar los déficits en distintas partes del mundo independientemente de las condiciones del suelo y es análogo al SPI. Este índice se puede calcular teniendo en cuenta los déficits acumulados de un mes (SEDI1), tres meses (SEDI3), seis meses (SEDI6) o doce meses (SEDI12). Para su construcción se utilizan las series históricas de no menos de 30 años (en el caso del SEDI disponible en el CIAg el periodo histórico de referencia es 1970 – 2022). La estandarización se realiza seleccionando la función de distribución que mejor se ajusta para transformarla a una distribución normal con media 0 y desvío 1. Los valores negativos indican condiciones de sequía. Valores de SEDI entre 0 y -0,75 indican zonas de atención; entre -0,75 y -1,25 sequía leve; entre -1,25 y -1,75, sequía moderada; entre -1,75 y -2, sequía intensa; y, por último, valores inferiores a -2 indican sequía extrema. Estos umbrales se definieron según lo determinado para índices estandarizados de sequía por el Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica (SISSA). En el monitoreo de sequías del CIAg el índice SEDI, en sus cuatro escalas temporales, se calcula con los déficits hídricos obtenidos del cálculo del Balance Hidrológico Operativo para el Agro (BHOA), cuya metodología de cálculo se encuentra descrita en la sección 2.1.7.

*ver Vicente Serrano *et al.*, (2018) (disponible en: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0775.1>)

Índice Estandarizado de la Precipitación (SPI) 1, 3, 6 y 12: el índice SPI* es ampliamente utilizado en la detección de sequías ya que solo requiere datos de precipitación. Por lo tanto, se trata de un índice que cuantifica la intensidad de la anomalía de precipitación. Este índice se puede calcular teniendo en cuenta las precipitaciones acumuladas en un mes (SPI1), tres meses (SPI3), seis meses (SPI6) o doce meses (SPI12). Para su construcción se utilizan series históricas de precipitación de no menos de 30 años (en el caso del SPI disponible en el CIAg el periodo histórico de referencia es 1970 – 2022) acumulada en 1, 3, 6 o 12 meses según corresponda. Luego, se ajusta la función Gamma a cada conjunto de datos para definir la distribución de probabilidad de la precipitación. De este modo es posible calcular la probabilidad de cualquier dato de precipitación. Mediante la aplicación de la distribución normal inversa a los datos de probabilidad calculados con la distribución Gamma, se obtiene la desviación de la precipitación para una distribución de probabilidad con media 0 y desvío 1. Este será el valor de SPI, cuyos valores negativos indican condiciones de sequía.

En el monitoreo de sequías del CIAg el índice SPI, en sus cuatro escalas temporales, se calcula con datos de precipitación observados en superficie, en cada una de las estaciones meteorológicas del SMN y se actualiza todos los días. Las categorías de sequía según el SPI se definieron utilizando los mismos umbrales que el SEDI (ver punto anterior).

*ver Mc Kee *et al.*, (1993) (disponible en: <https://climate.colostate.edu/pdfs/relationshipofdroughtfrequency.pdf>)