Protocolo de la Plataforma de Monitoreo de Sequías.

Contenido

[1. Introducción 4](#_Toc141366034)

[2. Objetivo 5](#_Toc141366035)

[3. Metodología de desarrollo y actualización de plataforma de sequía. 5](#_Toc141366036)

[3.1. **Etapa 1:** Caracterizar las condiciones históricas de las variables relevantes 1](#_Toc141366037)

[ **Proceso 1.1:** Descargar base de datos histórica desde estaciones hidrometeorológicas 2](#_Toc141366038)

[ **Proceso 1.2:** Calcular series mensuales y estadígrafos. 4](#_Toc141366039)

[ **Proceso 1.3:** Rellenar series hidrometeorológicas. 5](#_Toc141366040)

[ **Proceso 1.4:** Cálculo de coeficientes de ajuste (IPE, IPEE, ICE) 6](#_Toc141366041)

[ **Proceso 1.5:** Extensión base climática grillada (SGI) 7](#_Toc141366042)

[ **Proceso 1.6:** Correr modelo periodo histórico (SGI) 7](#_Toc141366043)

[ **Proceso 1.7:** Cálculo de SGI 8](#_Toc141366044)

[ **Proceso 1.8:** Procedimiento para caracterizar las condiciones históricas en las imágenes MODIS (indicador de PPP) 9](#_Toc141366045)

[ **Proceso 1.9:** Calculo Variables Fenológicas 9](#_Toc141366046)

[3.2. **Etapa 2:** Actualizar la condición actual de los indicadores. 10](#_Toc141366047)

[ **Proceso 2.1:** Descargar datos hidrometeorológicos del mes actual 10](#_Toc141366048)

[ **Proceso 2.2:** Actualizar series de tiempo y estadígrafos 10](#_Toc141366049)

[ **Proceso 2.3:** Actualizar base de datos histórica 11](#_Toc141366050)

[ **Proceso 2.4:** Cálculo de los indicadores (IPE, IPEE, ICE) 11](#_Toc141366051)

[ **Proceso 2.5:** Base de datos consolidada 12](#_Toc141366052)

[ **Proceso 2.6:** Generar el pronóstico 12](#_Toc141366053)

[ **Proceso 2.7:** Extensión base climática grillada (SGI) 13](#_Toc141366054)

[ **Proceso 2.8:** Correr modelo hidrológico (SGI) 14](#_Toc141366055)

[ **Proceso 2.9:** Cálculo indicador distribuido (SGI) 14](#_Toc141366056)

[ **Proceso 2.10:** Descargar imágenes Landsat mes actual 14](#_Toc141366057)

[ **Proceso 2.11:** Calcular desviación respecto del promedio 14](#_Toc141366058)

[3.3. **Etapa 3:** Generar mapas de monitoreo 14](#_Toc141366059)

[ **Proceso 3.1:** Cargar archivos tabulados IPE, IPEE, e ICE y usar herramientas Arcgis para generar mapas puntuales. 14](#_Toc141366060)

[ **Proceso 3.2:** Cargar archivos tabulados IPE, IPEE e interpolar usando herramientas ArcGIS. 15](#_Toc141366061)

[ **Proceso 3.3:** Generar rasters SGI en ArcGIS 15](#_Toc141366062)

[ **Proceso 3.4:** Generar rasters PPP en ArcGIS (desviación y promedio) 15](#_Toc141366063)

[ **Proceso 3.5:** Intersectar con cuencas de estudio 15](#_Toc141366064)

[ **Proceso 3.6:** Subir los mapas en Arcgis Online. 15](#_Toc141366065)

[Metodología Indicador SGI 17](#_Toc141366066)

[Descargar series históricas, 17](#_Toc141366067)

[Generar metadatos por pixel 17](#_Toc141366068)

[Generar el índice de sequía 18](#_Toc141366069)

[4. Generar mapas en ARCGIS. 18](#_Toc141366070)

[5. Encuesta de experiencia del usuario (UX) a la Plataforma de Monitoreo de Sequía 18](#_Toc141366071)

[5.1. Introducción 18](#_Toc141366072)

[5.2. Metodo 19](#_Toc141366073)

[5.3. Resultado 22](#_Toc141366074)

[6. Referencias 30](#_Toc141366075)

[**Ilustración 1.** Ejemplos de mapas generados en el Monitor de Sequía 6](#_Toc141719026)

[**Ilustración 2.** Ubicación de las herramientas de Arcgis Pro dentro de la carpeta del proyecto. 9](#_Toc141719027)

[**Ilustración 3.** Algoritmo dentro de la herramienta “Mapa\_puntual” 9](#_Toc141719028)

[**Ilustración 4.** Herramienta de geo procesamiento “Mapa\_puntual” y su resultado al ser ejecutado para IPE-6. 10](https://uccl0.sharepoint.com/sites/CCGStaff/Shared%20Documents/Proyectos/2023%20-%20ANID%20Sequía/Documentos%20y%20Metodología/Protocolo%20de%20la%20plataforma%20de%20Monitoreo.docx#_Toc141719029)

[**Ilustración 5.** Resultado de ejecutar la herramienta “Mapa\_espacializado” 12](https://uccl0.sharepoint.com/sites/CCGStaff/Shared%20Documents/Proyectos/2023%20-%20ANID%20Sequía/Documentos%20y%20Metodología/Protocolo%20de%20la%20plataforma%20de%20Monitoreo.docx#_Toc141719030)

[**Ilustración 6.** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 1. 18](#_Toc141719031)

[**Ilustración 7.** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 2. 19](#_Toc141719032)

[**Ilustración 8.** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 3. 20](#_Toc141719033)

[**Ilustración 9**. Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 4. 20](#_Toc141719034)

[**Tabla 1.** Indicadores y visualizaciones disponibles en la plataforma de monitoreo. 6](#_Toc141719035)

[Tabla 2. Número de estaciones y parámetro que miden 2](#_Toc141719036)

[Tabla 3: Variables hidrometeorológicas, fuentes de información y códigos para automatización de la descarga. 3](#_Toc141719037)

[Tabla 4: Resumen del procedimiento de cálculo de SGI, rutinas y archivos asociados. 1](#_Toc141719038)

[**Tabla 5.** Columnas base de datos consolidada final. 6](https://uccl0.sharepoint.com/sites/CCGStaff/Shared%20Documents/Proyectos/2023%20-%20ANID%20Sequía/Documentos%20y%20Metodología/Protocolo%20de%20la%20plataforma%20de%20Monitoreo.docx#_Toc141719039)

[**Tabla 6.** Esquema de la herramienta de mapas puntuales “Mapa\_puntual”. 9](#_Toc141719040)

[Tabla 8: Clasificación de sequía en relación a las condiciones esperadas según valor de SGI 14](#_Toc141719041)

[**Tabla 9:** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para las preguntas 15 y 16. 26](#_Toc141719042)

# Introducción

La Pontificia Universidad Católica de Chile con financiamiento de la Agencia Nacional de Investigación a través del proyecto ANID Sequía FSEQ-210018 ha preparado una plataforma online de monitoreo de distintos indicadores relacionados con la causa y el efecto de la sequía en Chile. Esta página web ([Link aquí](http://146.155.26.97:8080/IniciativaSequiaUC/Index.html)) se construye utilizando datos y herramientas de acceso público desarrolladas por servicios del Estado como la DGA y la DMC e información públicamente disponible de percepción remota a través de satélites. En este documento presentamos esta plataforma, destacando algunos de estos ejemplos y mostrando la manera de operar en ella.

La plataforma de sequía permite a usuarios explorar bases de datos geográficas en línea a través de monitores interactivos. Los monitores son:

* Monitor a escala Nacional: En el monitor a escala nacional, se puede explorar la base de datos del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE), Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizado (IPEE), y el Índice de Caudales Estandarizado (ICE). Esta información se presenta tanto de forma puntual (por estaciones) como espacial (datos de estaciones interpolados). Además, se puede escoger la división geográfica de chile en Regiones y Comunas o bien en Cuencas y Subcuencas.
* Monitor a escala de Cuencas: En el monitor a escala de cuencas se puede visualizar el indicador de Standarized Ground-water Index (SGI). Este indicador se construye de forma teórica a partir del modelo WEAP-MODFLOW, desarrollado en el Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca del río Maipo
* Monitor de Vegetación y Sequía: El monitor de vegetación y sequía muestra los valores de NDVI obtenidos a través de la medición satelital, por lo que se encuentran disponibles para todo Chile. La generación de esta base de datos todavía está en desarrollo. Esta información se muestra de forma espacial.
* Monitor de Niebla: El monitor de Niebla muestra el porcentaje promedio de neblina acumulado a un mes y a escala Nacional. Esta información se muestra de forma espacial.
* Repositorio de datos: El repositorio de datos contiene todas las bases de datos utilizadas para la generación de los mapas históricos. Además, proporciona una forma interactiva, ordenada y, fácil de explorar y descargar estos datos por cualquier usuario.

# Objetivo

El objetivo del presente documento es establecer y dar cuenta del procedimiento desarrollado para la construcción y posterior actualización periódica de la plataforma de monitoreo de sequías. Esta plataforma fue desarrollada con el financiamiento del proyecto ANID FSEQ 210018 y parte de la iniciativa UC por la sequía.

# Metodología de desarrollo y actualización de plataforma de sequía.

El proceso de construcción de los indicadores que forman parte de la plataforma de monitoreo de sequía ha sido protocolizado a través de rutinas desarrolladas en los lenguajes de programación R y Python y, herramientas de procesamiento geográfico de ArcGIS que se encuentran públicamente disponibles en un [repositorio GitHub](https://github.com/jqvargas/ANID_sequia).

Esto permite que cualquier usuario pueda reproducir el contenido mostrado en la plataforma. Las herramientas fueron diseñadas y dividida en etapas para calcular y actualizar de forma periódica los indicadores IPE, IPEE, ICE, SGI y PPP. La metodología de desarrollo se divide en tres etapas:

**Etapa 1:** Caracterizar las condiciones históricas de las variables relevantes. **Etapa 2:** Actualizar la condición actual de los indicadores. **Etapa 3:** Generar mapas de monitoreo. Cada etapa se divide en subetapas según el indicador que se desea calcular. Para reproducir los mapas de monitoreo se debe seguir el esquema la **Figura 2, 3 y 4.** Por ejemplo, para calcular el indicador IPE de forma puntual, se debe seguir el siguiente flujo de procesos:

**Figura 1:** Ejemplo de flujo de procesos para la construcción del indicador IPE de forma puntual.

El flujo de procesos que se presenta en la figura 1 describe las tareas específicas y el orden en el cual deben ser ejecutadas para construir el indicador IPE puntual tal como se muestra en la plataforma de monitoreo. Prestar especial atención que en la Etapa 2 los procesos 2.5 y 2.6 solamente aplican para los indicadores puntuales y no a los indicadores especializados o a escala de cuenca. Las visualizaciones disponibles en la página web para cada indicador se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Indicadores y visualizaciones disponibles en la plataforma de monitoreo.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| Nombre indicador | **Abreviación** | **Tipo de visualización** | **Escala** |
| Índice de Precipitación Estandarizado | IPE | Puntual y espacializado | Nacional y cuenca Maipo |
| Índice de Precipitaciones y Evapotranspiración Estandarizado | IPEE | Puntual y espacializado | Nacional y cuenca Maipo |
| Índice de Caudales Estandarizados | ICE | Puntual | Nacional y cuenca Maipo |
| Standarized Groundwater Index | SGI | Espacializado | Cuenca Maipo |

**Ilustración 1.** Ejemplos de mapas generados en el Monitor de Sequía

Imagen que contiene Diagrama

Descripción generada automáticamente

A modo de ejemplo de los mapas generados se presenta en Figura 1A) el Indicador IPE Espacializado para un periodo de agregación de 12 meses y visualización en base a cuencas, en la Figura 1B) el Indicador ICE puntual para un periodo de agregación de 6 meses y visualización administrativa y. Para ver más detalles visitar el video informativo: [Enlace video presentación plataforma.](https://youtu.be/z4mo-OtR20g)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Etapa 1** | Caracterización condiciones históricas indicador | | | | | | Presentación en plataforma |
| Procesos: | **1.1)** Descarga base de datos hidrometeorológica histórica | **1.2)** Calcular series mensuales | **1.3)** Relleno series de datos | **1.4)** Cálculo coeficientes | | | ICE-IPE-IPEE Puntual |
| IPE-IPEE Espacializado |
| ICE-IPE-IPEE a escala cuenca |
| **1.5)** Extensión base climática grillada | **1.6)** Ejecutar modelo periodo histórico | **1.7)** Calculo coeficientes | SGI |
| **1.9)** Descarga imágenes MODIS |  |  | pendiente | pendiente | **1.10)** Calculo condiciones promedio | PPP |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Etapa 2 | Actualización indicadores | | | | | | | Presentación en plataforma |
| Procesos: | **2.1)** Descarga base de datos hidrometeorológica del mes actual | **2.2)** Calcular series mensuales y estadígrafos | **2.3)** Actualizar base de datos histórica | **2.4)** Cálculo indicador | **2.5)** consolidación indicadores | **2.6)** Pronóstico |  | ICE-IPE-IPEE Puntual |
|  |  |  | IPE-IPEE Espacializado |
|  |  |  | ICE-IPE-IPEE a escala cuenca |
| **2.7)** Extensión base climática grillada | **2.8)** Ejecutar modelos hidrológicos | **2.9)** Cálculo indicador distribuido |  | SGI |
| **2.10)** Descargar imagen Landsat |  |  | **2.11)** Calcular desviación de la media |  |  |  | PPP |

**Figura 3:** Flujo de procesos para la Etapa 3 “Preparación de mapas y actualización de mapas online”.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Etapa 3 | Preparación mapas | Actualizar mapas online | Presentación en plataforma |
| Procesos | 3.1) Cargar archivos tabulados IPE, IPEE e ICE y usar herramientas ArcGIS | Subir mapas a ArcGIS online | ICE-IPE-IPEE Puntual |
| 3.2) Cargar archivos tabulados IPE, IPEE e interpolar usando herramientas ArcGIS | IPE-IPEE Espacializado |
|  | ICE-IPE-IPEE a escala cuenca |
| 3.3) Generar rasters SGI en ArcGIS | SGI |
| 3.4) Generar rasters PPP en ArcGIS | PPP |

## **Etapa 1:** Caracterizar las condiciones históricas de las variables relevantes

Fuentes de información e indicadores de sequía relevantes:

* **Información estaciones DGA**. Se incluyen series de tiempo hidrometeorológicas en base a estaciones de la DGA. Se considera información de precipitaciones, caudales, temperaturas extremas y medias y, niveles de pozos. Con ella, se calculan los indicadores IPE (Indicador de Precipitación Estandarizado), IPEE (Indicador de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizado, el cual requiere la obtención de evapotranspiración potencial derivada del método de Hargreaves modificado (Droogers & Allen, 2002), ICE (Indice de Caudales Estandarizados) y SGI (Standarized Groundwater Index en inglés) o IASE (Índice de nivel de Agua Subterránea Estandarizado en español). Estos indicadores no solo se pueden calcular para el período de referencia, 1991-2020, sino que también se podrán actualizar periódicamente con el transcurso del tiempo para cualquier mes en el futuro.
* **Información de estaciones DMC.** En este caso se agrega a la información DGA aquella proveniente de estaciones de otras instituciones para aumentar el número de ubicaciones donde se calculan los indicadores, de manera de complementar los cálculos oficiales. En particular, se considera información de precipitaciones y temperaturas extremas medidas en estas estaciones complementarias para el cálculo de los indicadores de base meteorológica (IPE e IPEE). Adicionalmente, se amplía la base de estaciones para rellenar datos de temperatura faltantes en estaciones DGA mediante la incorporación de las estaciones DMC. En este caso los indicadores IPE e IPEE también pueden calcularse tanto para el período de referencia como para periodos futuros en el contexto de la plataforma de monitoreo. El cálculo del IPEE en este caso también requiere de las estimaciones de evapotranspiración de referencia derivada del método de Hargreaves modificado (basado en información de temperaturas extremas y radiación extraterrestre). Este método fue validado con estimaciones de esta variable según el método de Penman-Monteith implementado en estaciones Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
* **Información grillada**. Se considera la información presentada como resultado en los estudios de Balance Hídrico encargado por la DGA para el periodo 1989-2018. La información en particular utilizada incluye precipitación y temperaturas extremas provenientes de la versión 2 del producto CR2Met, evapotranspiración potencial, escorrentía, humedad y recarga (variables provenientes del modelo VIC reportadas para el territorio comprendido entre la macrozona norte hasta parte de la macrozona austral -latitud 50° Sur-, con cierre temporal en 2015). Con ellos se calculan los indicadores IPE, IPEE, IEE, IRE e IHSE. En este caso solo es posible calcular los indicadores para el período de referencia, no así para períodos futuros en una constante actualización. Sin embargo, los cálculos para el período de referencia pueden emplearse para la identificación de autocorrelaciones espaciales que permitan interpolar una superficie continua con el valor de los indicadores a partir de los valores puntuales en las estaciones (sección 3.5).
* **Información satelital (MODIS)**. En este caso se trata de información de origen satelital. Para el caso de la plataforma de monitoreo se muestra el promedio histórico en formato acumulado de la Productividad Primaria Potencial (PPP) de la vegetación natural de la macrozona centro y en la segunda se muestra, la desviación del mismo indicador en el último año. Estos indicadores son construidos a partir de datos satelitales desde la Región de Valparaíso hasta Los Lagos. la desviación estándar del EVI para su periodo. El comportamiento de estos indicadores permite visualizar los efectos o consecuencias -sobre todo en el contexto agrícola- de la sequía meteorológicas e hidrológicas, teniendo estos entonces un carácter complementario a los otros indicadores ya expuestos.

### **Proceso 1.1:** Descargar base de datos histórica desde estaciones hidrometeorológicas

El primer paso consiste en la obtención de la base de datos climáticos histórica necesaria para construir los indicadores de sequía. Por ejemplo, para construir los indicadores de IPE e IPEE se necesitan los datos de precipitación de cada estación meteorológica, mientras que para calcular el ICE se necesitan los caudales de las estaciones de la DGA. El proyecto utiliza datos de estaciones meteorológicas pertenecientes a la DMC y a la DGA. La cantidad de estaciones que miden un parámetro determinado se muestra en la Tabla 1. Los datos son descargados de los servidores públicos respectivos a cada fuente de datos.

* DGA: [Link datos DGA](https://snia.mop.gob.cl/dgasat/pages/dgasat_param/dgasat_param.jsp?param=1)
* DMC: [Link datos DMC](https://climatologia.meteochile.gob.cl/)

Tabla 2. Número de estaciones y parámetro que miden

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Macrozona** | **Estaciones de precipitación** | **Estaciones con temperatura** | **Estaciones fluviométricas** | **Pozos de observación** |
| Norte | 158 | 57 | 97 | 173 |
| Centro Norte | 129 | 46 | 135 | 282 |
| Centro | 127 | 17 | 114 | 254 |
| Centro Sur | 183 | 22 | 257 | 173 |
| Sur | 142 | 34 | 136 | 15 |
| Austral | 133 | 50 | 93 | 0 |
| **Total** | **872** | **226** | **832** | **897** |

La descarga de datos ha sido automatizada a través de rutinas escritas en R. Existen 6 archivos con extensión “R” que cumplen la función de conectarse a los servidores y almacenar los datos de manera local. En la siguiente tabla se muestran los nombres de dichas rutinas, que contienen las funciones a ser ejecutados para descargar cada una de las variables hidrometeorológicas.

Los parámetros de entrada para todas estas funciones son dos: la fecha inicial de descarga de datos y la fecha final de descarga de datos. El resultado de ejecutar estas rutinas es un archivo con el nombre *“variable\_diaria\_fechainicial\_fechafinal\_fuentedatos.csv”* que contiene cinco columnas: *Fecha, Year, Month, Day, variable*. En donde dice “variable” es reemplazado por el nombre abreviado de la variable meteorológica siguiendo el esquema de la Tabla 2**.**.

Notar que todas las rutinas de descarga implementan un filtro de datos atípicos, para evitar datos erróneos y que puedan afectar los cálculos estadísticos posteriores. Los filtros son los siguientes: para la temperatura los datos deben estar entre -50 y +50 °C, para la precipitación los datos deben ser positivos y menores a 1.000mm/día, para los caudales debe ser positivo y menor a 10.000 m3/s. Este filtro puede ser modificado en las últimas líneas de código de cada archivo.

Tabla 3: Variables hidrometeorológicas, fuentes de información y códigos para automatización de la descarga.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| Nombre variable | **Abreviación** | **Unidades** | **Fuente** | **Herramienta de descarga** |
| Precipitación acumulada diaria | pp | mm | DGA | Descargar\_pp\_DGA.R |
| Temperatura máxima y mínima diaria | temp\_min  temp\_max | °C | DGA | Descargar\_temp\_DGA.R |
| Caudal medio diario | Q | m3/s | DGA | Descargar\_caudal\_DGA.R |
| Precipitación acumulada diaria | pp | mm | DMC | Descargar\_pp\_DMC.R |
| Temperatura máxima diaria | temp\_max | °C | DMC | Descargar\_temp\_max\_DMC.R |
| Temperatura mínima diaria | temp\_min | °C | DMC | Descargar\_temp\_min\_DMC.R |
|  |  |  |  |  |

**Tabla 2.** *Variables hidrometeorológicas, fuentes de información y códigos para automatización de la descarga.*

**Caso práctico montaje IPE**: Etapa 1 🡪 Proceso 1.1

*Para calcular el IPE se debe descargar la serie de datos de precipitación desde las estaciones de la DGA y la DMC. Para esto, se utiliza las herramientas de descarga “Descargar\_pp\_DGA.R” y “Descargar\_pp\_DMC.R”, las que se encuentran en la subcarpeta del proyecto llamada “1.Descargar”.*

**Paso 1)** Cargar la herramienta en R: **Source (“./1.Descargar/Descargar\_pp\_DGA.R”)**

*La herramienta contiene una función con el mismo nombre del archivo.*

***Paso 2)*** *Ejecutar la descarga de datos usando:* ***descargar\_pp\_DGA(fecha\_ini, fecha\_fin)\****

*Luego de ejecutar la función, se produce un archivo con el nombre de "pp\_DGA\_ fecha\_ini \_fecha\_fin.csv" en la carpeta de descarga. Este archivo contiene las columnas “Year”, “Month”, “Day”, “%variable%”. La ruta de la carpeta de descarga es la siguiente: C:\Users\56984\Documents\CCGUC\ANID\_Sequias\BBDD\pp\DGA\bruto\*

***\*Nota:*** *En “fecha\_ini” se debe colocar el año inicial de descarga y en” fecha\_fin” es el año final de descarga. Los datos se descargan hasta la última actualización disponible online.*

*Producto esperado:*

Interfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación

Descripción generada automáticamente

E

### **Proceso 1.2:** Calcular series mensuales y estadígrafos.

Antes de calcular los indicadores estandarizados es necesario obtener los promedios mensuales para cada variable, y en el caso de la precipitación, el acumulado mensual. Para este propósito se implementa una nueva herramienta que recibe el nombre de “**promedio\_mensual.R**” y usa como entrada la base de datos descargada en formato .csv con las columnas *Fecha, Year, Month, Day, %variable%.* Esta rutina contiene funciones para (1) Acumular valores mensualmente, (2) Promediar valores mensualmente, y (3) Cambiar el formato de la base de datos.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| Nombre función | **Parámetros** | **Salida** |
| promedio\_mensual | 1. Base datos diaria descargada 2. Filtro | Base datos mensual |
| acumulado\_mensual | 1. Base datos diaria descargada 2. Filtro | Base datos mensual |
| Formatear\_wider | 1. Base datos mensual | Base de datos como matriz |

Las funciones “promedio\_mensual” y “acumulado\_mensual” reciben las bases de datos descargadas a escala diaria. Al ejecutar estas funciones, los valores a escala diaria se promedian a escala mensual (para temperatura, caudal) o bien se acumulan a escala mensual (para precipitación). Notar que el resumen mensual de los datos se realiza solo si la proporción de valores “NA” para cada mes es menor al filtro especificado, de lo contrario el mes recibe un valor de “NA”. Por default, el filtro es de un 30%, pero este valor puede ser especificado en la función. Esto se hace para asegurar la representatividad de los datos

Por otro lado, la función “formatear\_wider” sirve para transformar el formato de la base de datos al formato necesario para calcular los indicadores. Esto significa pasar de un formato de columnas a un formato de matriz. La nueva matriz contiene las estaciones meteorológicas identificadas por su código nacional en el eje de las abscisas, las fechas en el eje de las ordenadas (en formato *mm/YYYY),* y por último los valores de la matriz corresponde al promedio mensual (para la temperatura y el caudal) o el acumulado mensual (para el caso de la precipitación). El archivo de salida de esta operación recibe el nombre *“variable\_mensual\_fuente\_fechainicial\_fechafinal.csv” y es almacenado en la carpeta correspondiente a la variable climatológica de la base de datos.*

**Caso práctico montaje IPE**: Etapa 1 🡪 Proceso 1.2

*Antes de calcular el IPE se deben obtener los acumulados mensuales de la base de datos de precipitación previamente descargada en el proceso 1.1.*

**Paso 1)** Cargar la herramienta en R: **Source (“./2.Promediar\_formatear/promedio\_mensual.R**”)

**Paso 2)** *Obtener el acumulado mensual:* **acumulado\_mensual*(base\_datos)***

**Paso 3)** *Formatear la base de datos en matriz de valores:* **formatear\_wider(base\_datos)**

*El resultado de ejecutar los tres pasos anteriores es un archivo en formato .csv con nombre “variable\_mensual\_fuente\_fechainicial\_fechafinal.csv” ubicado en la ruta del proyecto “./BBDD/pp/DGA/matriz/”.*

*Producto esperado:*

Una captura de pantalla de un celular

Descripción generada automáticamente con confianza media

### **Proceso 1.3:** Rellenar series hidrometeorológicas.

La base de datos descargada que contiene las series de precipitación, temperatura, caudales y profundidad del nivel freático en su mayoría no están completas y presentan ausencias de registros importantes. Para el presente proyecto, se calcularon los indicadores para todas las estaciones y para todo el periodo de análisis, independiente de la completitud de los registros, a excepción del caso de los niveles de pozos.

En el caso de las series de precipitación, con el objeto de obtener un mejor ajuste de las distribuciones de probabilidades para el periodo considerado de referencia, 1991-2020, los datos faltantes se rellenaron con los datos grillados del producto CR2Met. De este modo cada estación DGA es utilizada no solo en el cálculo de IPE, sino también del IPEE, y estas tienen un registro completo conformado por los valores medidos cuando estos existen, y los valores CR2Met cuando no. La celda del producto CR2Met utilizada para el relleno corresponde a aquella cuyo centroide es el más cercano a la coordenada de la estación a rellenar. Este relleno permite obtener mejores coeficientes de ajuste de las distribuciones de probabilidad que sirven como base de cálculo de los indicadores basados en precipitación. Ahora bien, para el cálculo regular de los indicadores, a medida que se van publicando nuevos datos en las fuentes oficiales, estos se irán incorporando en la base de datos del proyecto; si una estación por algún motivo no registra el dato, el indicador no podrá calculado.

En el caso de las series de caudales, los datos faltantes fueron rellenados con la mediana de la agregación mensual de los registros por estación, de esta manera se obtienen valores estadísticamente cercanos al escenario normal. De forma de minimizar el impacto que pueda tener el relleno sobre la estandarización, particularmente en la descripción de los valores extremos. Con respecto al relleno de información de temperaturas para el cálculo del IPEE y de niveles de pozo para el cálculo del IASE, las metodologías y consideraciones se abordarán en las secciones dedicadas a los respectivos indicadores.

En caso de que no sea posible ajustar una distribución de probabilidades a una serie en particular el algoritmo no lo calcula y arroja un valor de “NA” para ese mes. Esto sucede sobre todo en la zona norte del país, donde la nula cantidad de precipitaciones hace que no sea posible ajustar una curva de probabilidades para el cálculo del IPE, por lo que el algoritmo no es capaz de estandarizar la serie.

Con la información observada y parcialmente rellenada en las estaciones, se calculan series mensuales de indicadores de sequías en cada estación para el periodo 1989-2023. Cada uno de estos indicadores se calcula para periodos de acumulación de 6 y 12 meses. En particular, los indicadores obtenidos a nivel de estación son el IPE (precipitación), el ICE (caudales), el IPEE (temperatura y precipitación), y el IASE (Niveles de pozo). Para el cálculo de estos indicadores se ha elaborado una rutina en el software R v3.5.3 (R Core Team, 2019), la cual se ha validado comparando los resultados obtenidos con aquellos realizados a partir del método desarrollado en Excel en el estudio conducente a la resolución vigente, y que se propone como base algorítmica para futuros cálculos.

Los resultados del cálculo de los indicadores se encuentran en la carpeta electrónica entregada para este proyecto. Esta se encuentra dividida en subcarpetas definidas para cada indicador, y según la fuente de la información utilizada. Estos resultados se exportaron a un formato de texto plano que puede ser leído como planilla de cálculo (.csv), la que muestra las primeras filas de las estaciones ordenadas por orden alfabético.

Los resultados se encuentran por estación y por mes-año. Esta distribución considera en la primera columna a las estaciones, junto con sus coordenadas de latitud y longitud en las columnas siguientes, mientras que en las filas se ubican las series del indicador para cada estación. El resto de las columnas corresponde a la combinación de meses y años del indicador. Las tablas completas de estos cálculos se adjuntan en los archivos digitales.

### **Proceso 1.4:** Cálculo de coeficientes de ajuste (IPE, IPEE, ICE)

Este proceso es para calcular los coeficientes de ajuste de todas las estaciones hidrometeorológicas. Funciona tanto para las estaciones que usan precipitación como caudales, ya que ambas variables usan la misma distribución de ajuste de probabilidades, la gamma incompleta.

Para calcular los coeficientes de ajuste de las estaciones del nuevo periodo de referencia se necesitarán los siguientes dos insumos: 1) Rutina de cálculo de coeficientes que se llama “Calculo\_IPE\_coeficientes.r”, y 2) Series mensuales de precipitación o caudales en formato texto. Las series de cada estación deben comenzar en el inicio del nuevo periodo de referencia, y terminar en el fin del nuevo periodo de referencia.

Si se quieren calcular los coeficientes del periodo 1990-2020, cada una de las series de las estaciones deben comenzar el primero de enero de 1990 y terminar el 31 de diciembre del 2020. Es muy importante que todas las series, para cada estación, deben estar completas. De lo contrario, las series de precipitación del periodo de referencia deben ser rellenadas siguiendo el proceso 1.3.

**Caso práctico montaje IPE**: Etapa 1 🡪 Proceso 1.4

***Paso 1:*** *Cargar la herramienta de cálculo ubicada en la ruta source(getwd(),” /4.Calcular\_indicadores/indicador/Codigo\_base.R”)*

***Paso 2:*** *Cargar la base de datos de coeficientes que corresponda al indicador y también a la fuente de información. La ruta de los coeficientes es la siguiente: “\...\BBDD\coeficientes”*

***Paso 3:*** *Correr la función de cálculo de indicadores especificando los parámetros de la matriz de valores, la matriz de coeficientes y la cantidad de meses de acumulación.*

*IPE6<-calcular\_IPE(pp\_matriz , coeficientes\_IPE, acumulacion = 6)*

***Resultado:*** *Se obtiene una matriz con todos los valores del indicador calculado.*

***\*Nota1:*** *Suele suceder que los Codigos nacionales de las estaciones se cargan mal (con una X). Para solucionar esto correr la herramienta Corregir\_Codigo\_nacional().*

***\*\*Nota2:*** *ingresar los periodos de referencia en que se quieran calcular los coeficientes se debe modificar la variable “ag” en la línea 314 del código “Calculo\_IPE\_coeficientes.r”.*

*Producto esperado:*



### **Proceso 1.5:** Extensión base climática grillada (SGI)

La información grillada que se emplea es la que ha sido elaborada en los proyectos de actualización de Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018). Se dispone de dos versiones de los productos de precipitaciones y temperaturas extremas, el primero abarca a nivel diario desde 1979 hasta 2015, mientras que la segunda versión, también a escala diaria, considera datos entre 1979 y 2020. La información es contenida en una grilla regular de 0,05x0,05 grados que cubre todo Chile continental en base a la delimitación de cuencas hecha por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH-CIREN, 2014). La grilla definida equivale, dependiendo de la latitud aproximadamente a 5 km de lado, lo que implica cerca de 30 mil celdas con información. En base a esta información se elaboran series de valores mensuales con las que se trabaja para la visualización del comportamiento hidrológico y la elaboración de indicadores de sequía. Estas se pueden visualizar para un mes dado en un mapa de la zona, y para cada elemento de la grilla en una serie de tiempo, lo que entrega una información muy detallada, tanto espacial como temporal, del comportamiento de estos indicadores.

Este análisis es posible de realizar con la información disponible, sólo considerando la versión 2 del producto CR2Met, entre los años 1979 y 2020, sin embargo, no es clara su disponibilidad futura para realizar un seguimiento de las condiciones presentes en cada mes en años posteriores, a menos que exista una política de elaboración recurrente de estudios de Balance Hídrico Nacional. Se sugiere que esto podría realizarse cada 10 años, por ejemplo, junto con una revisión del sistema de monitoreo de sequías. Sin embargo, los datos disponibles hoy en día son muy valiosos para establecer condiciones básicas y de comparación con un alto grado de detalle, y permiten derivar de ellos condiciones para cualquier agrupación espacial (elemento de la grilla, comunas, provincias, regiones, subcuencas, cuencas, espacios con límites arbitrarios, etcétera).

Entre los inconvenientes que tiene esta información hay que considerar el hecho que se trata de información interpolada y manipulada con una modelación compleja y de reanálisis, que, aunque se basa en datos medidos, siempre es posible diferir sobre la metodología y los resultados precisos, y tal como se presentó en el Informe de la Etapa 1 de este estudio, pueden presentar sesgos en el valor esperado y la varianza.

### **Proceso 1.6:** Correr modelo periodo histórico (SGI)

El SGI (Standarized Groundwater Index en inglés) o IASE (Índice de nivel de Agua Subterránea Estandarizado en español) se calcula a partir de los niveles de agua subterránea. Debido a la falta de información, mediciones de nivel distribuidos en la cuenca, los niveles de agua se obtienen a partir de modelos numéricos. En este caso se combinaron los modelos WEAP y MODFLOW para representar la hidrología superficial y subsuperficial integrada junto con la representación del riego, demanda de agua doméstica e industrial. El modelo fue desarrollado como parte del Plan Estratégico de Gestión Hídrica (PEGH) en la cuenca de Maipo, el cual es de dominio público ([link modelo](https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/125473)). El modelo PEGH de la cuenca del río Maipo (DGA, 2021) cubre toda la cuenca con dos modelos: el modelo Cordillera para la hidrología de la cordillera y el modelo Valle donde se encuentra el acuífero principal.

El modelo necesita información climática para funcionar. En particular, para los propósitos del cálculo del SGI, se necesitan series de precipitación y temperatura media para el periodo de referencia 1991-2020. Las series deben ser a escala semanal para el modelo Cordillera y a escala mensual para el modelo Valle. Primero se ejecuta el modelo Cordillera, cuyos resultados son las entradas del modelo Valle. El modelo WEAP genera múltiples resultados de varios parámetros, para ejecutar el modelo Valle se necesita los flujos de agua superficial y subterránea. Estos archivos se generan de manera automática en la carpeta WEAP del modelo Cordillera, se copian y se llevan a la carpeta del modelo Valle para ejecutarlo. Para convertir las salidas del modelo Cordillera a la escala temporal y formato de entrada del modelo Valle se utiliza la rutina “2\_MPC\_a\_MPV.py”. La salida del modelo Valle son los flujos, a escala mensual, que se utilizan para el cálculo del SGI.

El producto final del modelo MODFLOW Maipo Valle es un archivo binario llamado “ANID\_Sequia\_!MF!maipo\_head\_1979-2022\_month\_4.npy” que se obtiene con la rutina *“3\_extraer\_niveles.py”.*  La rutina “*4\_niveles\_WM\_a\_formato\_SGI.py*” utiliza el archivo binario para generar un archivo Excel, en que la primera columna corresponde al mes y la segunda al año. A partir de la tercera columna el encabezado indica la celda del modelo a la que corresponde la serie de niveles. La nomenclatura de las celdas está dada por XXX\_YYY donde XXX indica el número de la fila y YYY el número de la columna. Si el número de la fila o columna tiene menos de 3 dígitos, se agregan la cantidad de ceros a la izquierda necesarios para obtener un número de 3 dígitos. Debido a la gran cantidad de datos no es posible guardarlos todos en un único archivo, por lo que la rutina entrega 6 archivos Excel. Los archivos se nombran de la siguiente manera: “Niveles\_MODFLOW\_Maipo\_i.xlsx” donde i representa el número del archivo.

### **Proceso 1.7:** Cálculo de SGI

Para el cálculo del SGI se considera una función de transferencia de equiprobabilidad pasando de una función gamma de dos parámetros a una normal estándar (promedio 0, desviación estándar 1). La función densidad de probabilidad con parámetro de forma y parámetro de escala está dada por:

Donde es la función gamma. Utilizando el método de los momentos y dada una media y una desviación estándar , los coeficientes se estiman usando la relación y . Asumiendo que las series temporales de niveles de todas las celdas del modelo MODFLOW distribuyen gamma, es posible obtener los coeficientes para calcular el SGI en base al método de los momentos con el promedio y la desviación estándar de la serie de cada celda.

La rutina “*5\_calculo\_coeficientes\_SGI.py*” utiliza el archivo binario “ANID\_Sequia\_!MF!maipo\_head\_1979-2022\_month\_4.npy” para calcular los coeficientes. El cálculo se realiza para dos periodos de agregación, uno de 6 meses y otro de 12 meses. Los coeficientes se calculan para cada mes, esto permite considerar la variabilidad estacional. A cada coeficiente se agrega la extensión “\_n” donde n es el mes al que corresponde el coeficiente. Los meses se enumeran de 1 a 12, con Enero como mes número 1. Al igual que para los niveles, debido a la gran cantidad de datos se generan 6 archivos Excel. Los archivos se nombran de la siguiente manera: “coef\_91\_20\_i\_j.xlsx” donde 91\_20 representa el periodo de referencia (1991-2020), i representa el periodo de agregación y, j el número de archivo. En estos archivos la primera columna tiene el nombre del coeficiente, que incluye el mes al que corresponde. A partir de la segunda columna el encabezado indica la celda a la que corresponden los coeficientes. La nomenclatura de las celdas es la misma que para los archivos de niveles. XXX\_YYY donde XXX indica el número de la fila y YYY el número de la columna.

Finalmente, para obtener el SGI se usa la rutina “6\_calculo\_SGI”. Esta rutina necesita los coeficientes estadísticos y niveles de agua subterránea. A partir del archivo binario “ANID\_Sequia\_!MF!maipo\_head\_1979-2022\_month\_4.npy” se extraen los niveles de agua subterránea y se calcula la media móvil para periodos de agregación de 6 y 12 meses. Una vez que se tienen valores de niveles mensuales y los coeficientes respectivos para cada mes, utilizando la función “stat.gama.cdf” se calcula el valor de SGI de cada celda de cada mes para el periodo 2020-2022. La información obtenida se exporta en formato csv y npy. Los archivos se nombran de la siguiente manera “SGI\_91\_20-i.csv” donde 91\_20 representa el periodo de referencia (1991-2020) e i representa el periodo de agregación. En la Tabla 3 se muestra un resumen del procedimiento de cálculo del SGI.

Tabla 4: Resumen del procedimiento de cálculo de SGI, rutinas y archivos asociados.

| Rutina | Información entrada | Archivo entrada | Información salida | Archivo salida |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Ejecutar modelo WEAP Maipo Cordillera | Se requieren diversos parametros. En particular para el cálculo del SGI interesan las series de precipitación y temperatura. | Los archivos ya se encuentran en la carpeta del modelo Maipo Cordillera en la carpeta de WEAP Areas. | Resultados del modelo WEAP Maipo Cordillera: flujos agua superficial y subterránea, a escala semanal para cada celda de la grilla del modelo. | MPC\_Conexion\_AP.xlsx MPC\_Conexion\_Subterranea.xlsx MPC\_Conexion\_Superficial.xlsx |
| 2\_MPC\_a\_MPV.py | Resultados del modelo WEAP Maipo Cordillera: flujos agua superficial y subterránea, a escala semanal para cada celda de la grilla del modelo. | MPC\_Conexion\_AP.xlsx MPC\_Conexion\_Subterranea.xlsx MPC\_Conexion\_Superficial.xlsx | Resultados del modelo WEAP Maipo Cordillera: flujos agua superficial y subterránea, a escala semanal para cada celda de la grilla del modelo. | MPC\_Conexion\_AP.csv MPC\_Conexion\_Subterranea.csv MPC\_Conexion\_Superficial.csv |
| Ejecutar modelo WEAP-MODFLOW Maipo Valle | Series de precipitación y temperatura. Resultados del modelo WEAP Maipo Cordillera a escala mensual (flujos agua superficial y subterránea). | MPC\_Conexion\_AP.csv MPC\_Conexion\_Subterranea.csv MPC\_Conexion\_Superficial.csv | Resultados del modelo MODFLOW Maipo Valle: Niveles agua subterránea, a escala mensual para cada celda de la grilla del modelo. | Archivos de distintos formatos en la carpeta del modelo Maipo Valle |
| 3\_extraer\_niveles.py | Resultados del modelo MODFLOW Maipo Valle: Niveles agua subterránea, a escala mensual para cada celda de la grilla del modelo. | Ruta de la carpeta de resultados del modelo Maipo Valle. | Niveles de agua subterránea, a escala mensual para cada celda de la grilla del modelo en formato binario. | ANID\_Sequia\_!MF!maipo\_head\_1979-2022\_month\_4.npy |
| 4\_niveles\_WM\_a\_formato\_SGI.py | Niveles de agua subterránea, a escala mensual para cada celda de la grilla del modelo. | ANID\_Sequia\_!MF!maipo\_head\_1979-2022\_month\_4.npy | Niveles de agua subterránea, a escala mensual para cada celda de la grilla del modelo en formato Excel. Esto permite interpretar los datos. | Niveles\_MODFLOW\_Maipo\_i.xlsx i número del archivo, i (1 a 6) |
| 5\_calculo\_coeficientes\_SGI.py | Niveles de agua subterránea, a escala mensual para cada celda de la grilla del modelo. | ANID\_Sequia\_!MF!maipo\_head\_1979-2022\_month\_4.npy | Coeficientes estadisticos para periodos de agregación de 6 y 12 meses, para cada mes y para cada celda de la grilla del modelo. | coef\_91\_20\_i\_j.xlsx  i periodo de agregación (6 o 12)  j número de archivo (1 a 6) |
| 6\_calculo\_SGI.py | Coeficientes estadísticos y niveles de agua subterránea. | ANID\_Sequia\_!MF!maipo\_head\_1979-2022\_month\_4.npy coef\_91\_20\_i\_j.xlsx | SGI de cada celda de la grilla del modelo para periodos de agregación de 6 y 12 meses en formato binario y csv. | SGI\_91\_20-i.csv SGI\_91\_20-i.npy i periodo de agregación (6 o 12) |
| 7\_SGI\_a\_raster.py | SGI de cada celda de la grilla del modelo para periodos de agregación de 6 y 12 meses. | SGI\_91\_20-6.npy SGI\_91\_20-6.npy | Imagen raster con los valores de SGI de cada celda de la grilla del modelo. Imagen raster con la clasificación de categorías de sequía de cada celda de la grilla del modelo. | SGI\_Mes\_año\_i.tif SGI\_class\_Mes\_año\_i.tif i periodo de agregación (6 o 12) |

### **Proceso 1.8:** Procedimiento para caracterizar las condiciones históricas en las imágenes MODIS (indicador de PPP)

Para caracterizar las condiciones históricas del área de estudio con respecto a la productividad primaria potencial (PPP), se realizó la descarga de una serie temporal del Indice de Vegetación Mejorado / *Enhanced Vegetation Index* (EVI) para los últimos 22 años. Para esto, se utilizó el producto EVI de MODIS (‘MODIS/061/MOD13Q1’) (Didan, K., 2021). Este producto tiene una resolución espacial de 250 metros y una resolución temporal de 16 días. Así, se generó un *stack* (colección de múltiples bandas, en donde cada banda/imagen corresponde a una fecha de la serie de tiempo) con la información de EVI para cada píxel del área de estudio disponible en el intervalo de tiempo del 1 de enero del 2000 al 31 de diciembre del 2022 (*2000 – 01 – 01* al *2022 – 12 – 31*) para las regiones que componen la macrozona central de Chile (desde la V región hasta la X región). Las descargas de las imágenes se generaron en la plataforma Google Earth Engine (GEE) y se utilizaron los polígonos de las regiones disponibles en la Infraestructura de Datos GeoEspaciales (IDE), División Política Administrativa 2020. El producto final de la descarga fue: Un stack por región, con el valor de EVI en cada píxel, una resolución de 250 metros y coordenadas del sistema de referencia EPSG:32719 (crs).

De estas series temporales de EVI descargadas desde GEE, se obtuvo el promedio de EVI de cada otoño (marzo a junio) y cada primavera (septiembre a diciembre) para el intervalo de tiempo completo (2000 – 2022) en cada región. También se obtuvo una reducción de este resultado, donde se calculó el promedio de todos los otoños y primaveras del intervalo de tiempo para cada región. Esto se realizó a través de un procesamiento de los datos en el software R.

### **Proceso 1.9:** Calculo Variables Fenológicas

Para caracterizar la fenología del área de estudio, se utilizó la información obtenida en el punto anterior (1.8) para calcular las variables fenológicas. En este proceso, primero se ajustaron los parámetros necesarios para el programa, los cuales son: número de años (23), número de puntos por año (23), rango válido (-1, +1) y valor de corte de amplitud (0.4). Luego se ingresó la información de EVI obtenida en el punto anterior. Así, se calcularon las siguientes variables fenológicas para cada píxel de cada año del intervalo de tiempo en el área de estudio, lo cual compone la fenología completa:

1. SOS (Start of Season): día juliano en que comienza la temporada.
2. EOS (End of Seasaon): día juliano en que termina la temporada.
3. LOS (Lenght of Season): Longitud de la temporada (cantidad de días).
4. PeakT (Peak Time): día juliano en donde se genera el valor máximo de productividad en la temporada.
5. Linteg. (Large Integral): Valor de productividad acumulado en la temporada.

De estos resultados, por un lado, se obtuvo una reducción de la información que consiste en el promedio de cada variable fenológica para toda la serie de tiempo, para cada región. Por otro lado, se obtuvo otra reducción de la información, que consiste en un ráster multibanda por variable fenológica (SOS, EOS, LOS, PeakT, y Linteg.), el cual tiene una banda por año con el valor de la variable.

Por último, se calculó la tendencia para cada variable fenológica junto con la significancia estadística de esta tendencia (valor p) y la desviación de la variable fenológica Linteg.. Esto último se calculó restando la media de Linteg a los valores anuales de Linteg, donde finalmente, esa diferencia Linteg anual - Linteg media se dividió por Linteg media para obtener las desviaciones en términos de la media. Todos estos procesos se generaron en el software R.

## **Etapa 2:** Actualizar la condición actual de los indicadores.

Los softwares involucrados en el proceso de actualización de la plataforma de monitoreo son el estadístico R y la herramienta de procesamiento geográfico Arcgis. R se utiliza hasta el proceso de (1) obtener las bases de datos cruda, (2) Depurar la base de datos, (3) Estandarizar los datos, y (4) Correr los modelos de pronóstico.

### **Proceso 2.1:** Descargar datos hidrometeorológicos del mes actual

El primer paso para **actualizar** los indicadores de sequía consiste en la obtención de los datos climáticos necesarios. Por ejemplo, para construir los indicadores de IPE e IPEE se necesitan los datos de precipitación para cada estación meteorológica, mientras que para calcular el ICE se necesitan los caudales de las estaciones de la DGA. El proyecto utiliza dos fuentes de datos de estaciones meteorológicas: DMC y la DGA

Este proceso es idéntico al proceso 1.1, con la salvedad que, al ejecutar la rutina de descarga de datos, se debe especificar en el segundo y primer argumento de la función solo el último año como fecha inicial y final de la descarga. De este modo se descargarán los datos hasta el último mes que la DGA o la DMC tenga disponible.

**Caso práctico montaje IPE**: Etapa 2 🡪 Proceso 2.1

***Paso1)*** *Ejecutar la descarga de datos usando:* ***descargar\_pp\_DGA(fecha\_ini, fecha\_fin)\****

*Luego de ejecutar la función, se produce un archivo con el nombre de "pp\_DGA\_ fecha\_ini \_fecha\_fin.csv" en la carpeta de descarga. Este archivo contiene las columnas “Year”, “Month”, “Day”, “%variable%”. La ruta de la carpeta de descarga es la siguiente: C:\Users\56984\Documents\CCGUC\ANID\_Sequias\BBDD\pp\DGA\bruto\*

***\*Nota:*** *En “fecha\_ini” se debe colocar el año inicial de descarga y en” fecha\_fin” es el año final de descarga. Los datos se descargan hasta la última actualización disponible online, por lo que para actualizar los datos basta con designar fichi\_ini=fecha\_fin={año actual}.*

### **Proceso 2.2:** Actualizar series de tiempo y estadígrafos

Antes de calcular los indicadores estandarizados es necesario obtener los promedios mensuales para cada variable, y en el caso de la precipitación, el acumulado mensual. Para este propósito nuevamente se ocupa la función que recibe el nombre de “**promedio\_mensual.R**” y usa como entrada la base de datos descargada en formato csv con las columnas *Fecha, Year, Month, Day, variable.* El archivo de salida de esta operación recibe el nombre de *“variable\_mensual\_fechainicial\_fechafinal\_fuentedatos.csv”.*

**Caso práctico montaje IPE**: Etapa 2 🡪 Proceso 2.2

*Antes de calcular el IPE se deben obtener los acumulados mensuales de la base de datos de precipitación previamente descargada en el proceso 1.1.*

**Paso 1)** Cargar la herramienta en R: **Source (“./2.Promediar\_formatear/promedio\_mensual.R**”)

**Paso 2)** *Obtener el acumulado mensual:* **acumulado\_mensual*(base\_datos)***

**Paso 3)** *Formatear la base de datos en matriz de valores:* **formatear\_wider(base\_datos)**

*El resultado de ejecutar los tres pasos anteriores es un archivo en formato .csv con nombre “variable\_mensual\_fuente\_fechainicial\_fechafinal.csv” ubicado en la ruta del proyecto “./BBDD/pp/DGA/matriz/”.*

### **Proceso 2.3:** Actualizar base de datos histórica

Para no tener que descargar las variables meteorológicas de años anteriores, es crucial mantener una base de datos de valores crudos actualizada. Es por esto que los valores recién descargados deben ser concatenados a la base de datos histórica. Para esto se ejecuta la función “rbind”, con el primer argumento la base de datos antigua, y en el segundo argumento la base de datos recién descargada.

**Caso práctico montaje IPE**: Etapa 2 🡪 Proceso 2.3

**Paso 1)** Asegurarse que ambas bases de datos tienen las columnas idénticas (Year, Month, Day, Codigo\_nacional, variable)

**Paso 2)** *Unir las bases de datos:* **rbind(base\_antigua, base\_nueva)**

**Paso 3)** *Guardar la base de datos actualziada:* **write.csv (base\_datos\_actualizada,path=”… \BBDD\pp\DGA\bruto\variable\_fuente\_fechaini\_fechafin.csv”)**

*El resultado de ejecutar los tres pasos anteriores es un archivo en formato .csv con nombre “variable\_mensual\_fuente\_fechainicial\_fechafinal.csv” ubicado en la ruta del proyecto “./BBDD/pp/DGA/bruto/”.*

### **Proceso 2.4:** Cálculo de los indicadores (IPE, IPEE, ICE)

Para obtener el IPE, IPEE, e ICE se deben estandarizar los datos con respecto a su registro histórico. Para esto se debe ejecutar una rutina en R que realice dicha operación.

La estandarización de los datos y el cálculo de los indicadores será acumulando 6 meses y 12 meses.

Las rutinas en R que realizan el cálculo de los indicadores reciben como argumento: (1) los calculados previamente en el **Proceso 1.4**, (2) un archivo de entrada con los coeficientes de la función gamma de cada estación de monitoreo, y (3) la matriz de valores de las variables hidrológicas.

Luego de ejecutar la herramienta de cálculo, se genera el archivo *“indicadorl\_fechainicial\_fechafinal\_fuentedatos.csv”.* La variable *“indicador”* puede serIPE, IPEE, ICE o SGI. Este archivo es una matriz de valores con el mismo formato que el especificado en el **Proceso 1.2.**

*Tabla 2 Nuevas variables creadas para guardar los indicadores estandarizadas.*

|  |  |
| --- | --- |
| **Nombre columna** | **Tipo de variable** |
| IPE | Float(64) |
| IPEE | Float(64) |
| ICE | Float(64) |

**Caso práctico montaje IPE**: Etapa 2 🡪 Proceso 2.4

**Paso 1)** Asegurarse que ambas bases de datos tienen las columnas idénticas (Year, Month, Day, Codigo\_nacional, variable) y que Codigo\_nacional se lea en el formato correcto.

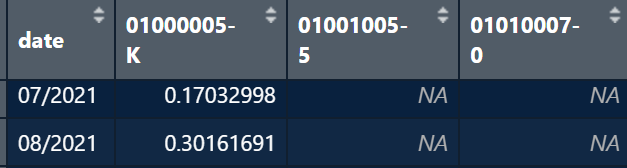
**Paso 2)** *Ejecutar el cálculo del indicador: calcular\_ipe(pp\_acumulada\_mensual , Carac\_gamma\_IPE, acumulacion = 6)*

**Paso 3)** *Guardar el indicador generado:* **write.csv (IPE6\_DGA, path=”… …\BBDD\indicadores\IPE\DGA\IPE6\**”**indicador \_fuente\_fechainicial\_fechafinal.csv”)**

*El resultado de ejecutar los tres pasos anteriores es un archivo en formato .csv con nombre “indicador \_fuente\_fechainicial\_fechafinal.csv” ubicado en la ruta del proyecto indicada “.../BBDD/indicadores/IPE/DGA/IPE6/”.*

***Paso 4)*** *Si se quiere agregar ambas fuentes de datos al mismo producto, basta con seguir los pasos 1,2 y 3 para la DGA, luego para la DMC y finalmente correr el siguiente código para unir ambos productos: tidyverse::full\_join(IPE6\_DGA,IPE6\_DMC, by = "date") %>% select(date, everything())*

*Producto esperado:*



### **Proceso 2.5:** Base de datos consolidada

El resultado de este proceso es la base de datos final que será utilizada para generar los mapas geográficos en Arcgis Pro.

Una vez todos los indicadores han sido calculados, se puede generar una base de datos consolidada que contenga todos los indicadores estandarizados para el mes más actual y en un formato que sea fácil de entender por el usuario final. Esto quiere decir que el formato de matriz cambia al formato de arreglo de datos, en donde cada columna es un dato distinto y las filas son las estaciones de monitoreo. La estructura base de esta base de datos está definida por la base de metadatos de estaciones, ubicada en la ruta

“…\BBDD\metadatos\”.

Para esta tarea se dispone de la herramienta en R llamada “***concatenar.R***”, la cual recibe los argumentos de (1) base de datos de entrada que contiene los metadatos de estaciones*, (2) la base de datos del indicador a concatenar y (3) la fecha del indicador que se quiere concatenar. El resultado es un un archivo ubicado en “…\BBDD\indicadores\consolidado\” llamado “consolidado\_año\_mes.csv”,* el cual contiene las columnas especificadas en la siguiente tabla.

**Caso práctico montaje IPE**: Etapa 2 🡪 Proceso 2.5

**Paso 1)** Cargar la base de datos IPE\_6 (si no está en caché actualmente): ruta: “…/BBDD/indicadores/IPE/DGA+DMC/IPE6/IPE\_6\_DGA+DMC\_1951\_2023.csv"

**Paso 2)** Cargar la base de metadatos de estaciones: ruta: “…\BBDD\metadatos\DGA+DMC”

**Paso 3)** Chequear formato de ambos archivos: Asegurarse de que la primera columna se llama “date” y el resto de las columnas cuentan con el código nacional en formato correcto. Recordar que se pueden corregir usando: “Corregir\_Codigo\_nacional(IPE\_6)”

**Paso 4)** Ejecutar: “concatenar(consolidado, IPE\_6, ultimo\_mes)”, donde el primer argumento corresponde a la base de datos que contiene los metadatos de estaciones, el segundo argumento es la matriz del indicador y el tercer argumento corresponde a la fecha actual en el mismo formato que la primera columna de las matrices ocupadas.

**Paso 5)** Escribir el resultado final usando write.csv(consolidado, “C:\Users\56984\Documents\CCGUC\ANID\_Sequias\BBDD\indicadores\consolidado)

**\*Nota:** Para la automatización de la fecha actual: Para definir la fecha actual como la fecha del sistema al momento de correr el código se debe ejecutar:

“ultima\_fecha<-paste0(substr(Sys.time() %m-% months(1),6,7),"/",substr(Sys.time() %m-% months(1),1,4))”

Producto esperado:

**Tabla 5.** Columnas base de datos consolidada final.

|  |  |
| --- | --- |
| **Nombre columna** | **Tipo de variable** |
| Codigo\_nacional | String |
| date | String (mmm-YY) |
| Estación | Double |
| Latitud | Double |
| Longitud | Double |
| Altura | Long |
| Región | String |
| Macrozona | String |
| Comuna | String |
| Cuenca | String |
| Subcuenca | String |
| IPE6 | Double |
| IPE6\_cat | String |
| IPEE6 | Double |
| IPEE6\_cat | String |
| ICE6 | Double |
| ICE6\_cat | String |
| ICE12 | Double |
| ICE12\_cat | String |

### **Proceso 2.6:** Generar el pronóstico

Con los datos estandarizados ya se pueden correr los modelos ARIMA para realizar el pronóstico del IPE, IPEE y el ICE. Los datos de pronóstico deben ser guardados en una base de datos distinta, llamada “pronosticos\_MM\_YY.csv”.

Este código utiliza como input la matriz con la serie de tiempo del índice estandarizado a utilizar. Este se debe cargar para que la rutina pueda generar el pronóstico

Se pronostica primero 3 pasos de tiempo que siguen el periodo de referencia y solicita 3 meses a pronosticar. Una vez que se realiza esto, se comienza a expandir la serie de tiempo a BBDD más allá del periodo de referencia. En este caso, como resultado se genera un archivo con una serie de tiempo idéntica al archivo de entrada, pero extendida 3 meses. El archivo de salida recibe el nombre de *“indicador\_pronostico\_fechainicial\_fechafinal\_fuentedatos.csv”.*

### **Proceso 2.7:** Extensión base climática grillada (SGI)

El modelo PEGH de la cuenca del río Maipo tiene series de precipitación y temperatura para el periodo 1979-2020 obtenidas de la base de datos de productos grillados del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. Los datos meteorológicos del centro (CR2MET) disponibles son precipitación, temperaturas medias y temperaturas extremas. La grilla utilizada es una grilla rectangular de 0.05º latitud-longitud (aproximadamente 5km) para el territorio de Chile continental. Dado que no hay datos grillados posteriores al año 2020, para actualizar el SGI se extendió la base de datos meteorológicos utilizando los registros de las estaciones de la DGA. Dado que las mediciones de las estaciones son puntuales en el espacio se implementó una metodología para asignar una estación a cada celda del modelo WEAP-MODFLOW.

Se consideraron las estaciones ubicadas en la cuenca de estudio y todas las cuencas con límites colindantes. En el caso de la cuenca del Maipo las cuencas seleccionadas fueron: Río Aconcagua, Costeras entre Aconcagua y Maipo, Costeras Aconcagua-Maipo, Río Maipo, Costeras entre Maipo y Rapel y, Río Rapel. Es importante destacar que el modelo WEAP-MODFLOW de la cuenca del Maipo necesita series de temperatura media, por lo que solo las estaciones que miden esta variable fueron consideradas. Para determinar qué estaciones miden los parámetros de interés (precipitación y temperatura media) y pertenecen a las cuencas seleccionadas, se utilizó la rutina “0\_filtrar\_estaciones”. A partir de la caracterización de las estaciones hecha por la DGA, en la que se incluye las coordenadas de la estación, parámetros que miden y cuenca a la que pertenecen, se extrajeron las estaciones de interés. La rutina entrega dos archivos en formato csv, uno para cada parámetro. Los archivos generados se llaman “Estaciones\_Aconcagua\_Maipo\_Rapel\_pp.csv” y “Estaciones\_Aconcagua\_Maipo\_Rapel\_temp.csv. Donde pp significa precipitación y temp significa temperatura. En el caso de la temperatura media medida en estaciones solo existen datos para el periodo 2010-2022, mientras que para la precipitación se tienen valores para todo el periodo utilizado en el modelo (1979-2020) hasta el 2022. Las estaciones seleccionadas tienen mediciones diarias, por lo que, adicionalmente se aplicó un filtro para incluir únicamente las estaciones que tienen datos para al menos el 80% de los días para un año de 365 días.

Una vez seleccionadas las estaciones que cumplen los criterios para ser consideradas en el cálculo, se utiliza la rutina “1\_calculo\_entradas\_WEAP” para calcular el estadístico R-cuadrado (R2), entre los valores de una celda del modelo para un instante de tiempo y la medición de una estación para el mismo instante de tiempo. Para esto las series de las estaciones se llevaron a la escala temporal correspondiente. En el caso del modelo Cordillera, los datos se llevaron a escala semanal. En el caso de la precipitación se suman los valores diarios de cada semana, mientras que para la temperatura se calcula la media. Para cumplir los criterios del modelo WEAP, se consideran años de 52 semanas. Este proceso se realiza entre la celda y cada una de las estaciones incluidas en el análisis. Para el modelo Valle se repite este procedimiento, para una escala mensual de los valores observados por las estaciones. A cada celda se le asigna la estación con la que se obtiene el mayor R2.

Para cada par de series, valor modelo celda y valor observado estación, se calcula una regresión lineal con la función “linregress” del programa Python. Esta función entrega una ecuación, con la que es posible calcular el valor de la variable en esa celda a partir de la medición de la variable de la estación asignada. Se calculan dos ecuaciones por celda, una para cada variable meteorológica. Una vez que se tienen los valores grillados actualizados para el periodo 2020-2022, estos se agregan a las series iniciales del modelo. Los archivos creados se nombran igual que los archivos iniciales, de modo que no es necesario realizar cambios en el modelo WEAP Maipo Cordillera y basta con ejecutarlo nuevamente.

### **Proceso 2.8:** Correr modelo hidrológico (SGI)

Se repite el mismo procedimiento que para el periodo histórico con la base de datos meteorológicos grillados extendida (ver Tabla 3).

### **Proceso 2.9:** Cálculo indicador distribuido (SGI)

Se repite el mismo procedimiento que para el periodo histórico con los niveles de agua subterránea calculados a partir de la base de datos meteorológicos grillados extendida (ver Tabla 3).

### **Proceso 2.10:** Descargar imágenes Landsat mes actual

### **Proceso 2.11:** Calcular desviación respecto del promedio

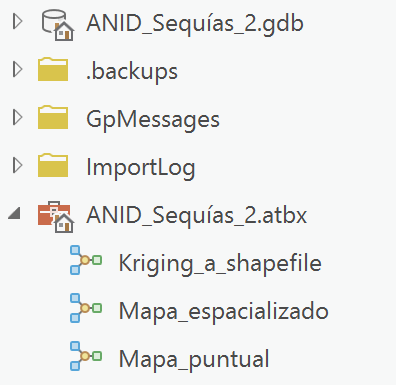
## **Etapa 3:** Generar mapas de monitoreo

### **Proceso 3.1:** Cargar archivos tabulados IPE, IPEE, e ICE y usar herramientas Arcgis para generar mapas puntuales.

Con los índices puntuales y estandarizados de IPE e IPEE (tanto actuales como pronósticos) se pueden generar los mapas que serán finalmente visualizados en la plataforma web. Para esta tarea se utiliza el software Arcgis Pro, el cual a través de la herramienta Model Builder, se usan las rutinas de procesamientos geográficos diseñadas exclusivamente para generar los mapas de monitoreo de cada indicador.

Los mapas se diferencian en dos tipos; de tipo puntual o especializados. Para generar cada tipo de mapa se han generado herramientas dispuestas en el formato de caja de herramientas de Arcgis: “*ANID\_sequias.tbx*”.

**Ilustración 2.** Ubicación de las herramientas de Arcgis Pro dentro de la carpeta del proyecto.



**Tabla 6.** Esquema de la herramienta de mapas puntuales “Mapa\_puntual”.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nombre herramienta** | **Input** | **Output** |
| Mapa\_puntual | *1) Indicador: “IPE6”*   1. *Datos: consolidado\_año\_mes.csv”* 2. *Simbología: ”estaciones.lyrx”* | 1. Mapa de puntos. |

Al ejecutar las herramientas de Arcgis Pro, se generan archivos de entidades de clase, las cuales son mapas geográficos que pueden ser subidos directamente a Arcgis Online y finalmente ser utilizados en los Dashboards de visualización de datos interactiva.

**Ilustración 3.** Algoritmo dentro de la herramienta “Mapa\_puntual”

Diagrama

Descripción generada automáticamente

**Caso práctico montaje IPE**: Etapa 3 🡪 Proceso 3.1

**Paso 1)** Abrir la carpeta del proyecto en Arcgis Pro.

**Paso 2)** Ejecutar la herramienta de geoprocesamiento “Mapa puntual”. El indicador es el IPE6, el archivo de datos es “consolidado.csv” y el archivo de simbología es el llamado “Estaciones.lyrx”.

**Ilustración 4.** Herramienta de geo procesamiento “Mapa\_puntual” y su resultado al ser ejecutado para IPE-6.

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente

### **Proceso 3.2:** Cargar archivos tabulados IPE, IPEE e interpolar usando herramientas ArcGIS.

Para generar los mapas espacializados se debe realizar una interpolación de kriging. Para esto se ha dispuesto la herramienta llamada “Mapa\_espacializado”.

La herramienta de interpolación recibe como entrada el mapa puntual obtenido de la herramienta “Mapa\_puntual” de cada indicador para luegorealizar la interpolación de kriging y regionalizar los datos en todo el territorio nacional (continental). La grilla de datos generada debe tener una resolución de 5km\*5km. Esto quiere decir que habrá un valor de IPE y IPEE por cada pixel de 25km2. Notar que no todos los índices son extrapolables, esta herramienta es diseñada para usarse solamente en el indicador IPE e IPEE.

**Tabla 7.** Esquema de la herramienta de mapas espaciales “Mapa\_espacializado”.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nombre herramienta** | **Input** | **Output** |
| Mapa\_espacializado | *1) Indicador: “IPE6”*   1. *Datos:consolidado\_año\_mes.csv”* 2. *Simbología:”* *espacializado.lyrx”* | 1. Mapa Raster |

**Ilustración 3.** Algoritmo dentro de la herramienta “Mapa\_espacializado”

Diagrama

Descripción generada automáticamente

**Caso práctico montaje IPE**: Etapa 3 🡪 Proceso 3.2

**Paso 1)** Ejecutar la herramienta Mapa\_espacializado. El primer argumento es el mapa puntual el mapa generado en el Proceso 3.2. El segundo argumento es el archivo de simbología llamado “simbología\_IPE\_espacial.lyrx”. El tercer argumento es el raster de corte (que puede ser cualquiera de los rasters ejemplos de la geodatabase del proyecto), y por último el cuarto argumento es el nombre del indicador “IPE6”.

**Ilustración 5.** Resultado de ejecutar la herramienta “Mapa\_espacializado”

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente

Una vez generados los rasters que muestran el indicador espacializado, es necesario obtener el promedio del indicador por comunas y subcuencas. Esto es necesario para poder mostrar la información agregada por división administrativa (regiones y comunas) o por zonas hidrográficas (cuencas y subcuencas).

Para este propósito se ha creado una herramienta llamada “Kriging\_a\_shapefile” que es capaz de recibir un archivo raster de entrada y producir un archivo de entidades de polígonos que contiene en su tabla de atributos el promedio del indicador por polígono.

**Tabla 8.** Esquema de la herramienta para mapas de entidades de polígonos “Kriging\_a\_shapefile”.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nombre herramienta** | **Input** | **Output** |
| Kriging\_a\_shapefile | 1. *Nombre indicador: “IPE6”* 2. *Nombre Campo: “Comunas”* 3. *Raster entrada: IPE\_6\_espacializado* 4. *Shapefile entrada: comunas.shp* 5. *Simbología:”* *espacializado.lyrx”* | 1. Mapa Shapefile |

La herramienta recibe el nombre del indicador a promediar, el nombre del campo para realizar el promedio, el raster de entrada y la capa de polígonos usada para promediar los valores, en este caso se ocupa la capa de comunas.

**Ilustración 4.** Algoritmo dentro de la herramienta “kriging\_a\_shapefile”

Diagrama

Descripción generada automáticamente

**Caso práctico montaje IPE**: Etapa 3 🡪 Proceso 3.3

**Paso 1)** Ejecutar la herramienta Kriging\_a\_shapefile: En el caso del IPE 6 a escala de comunas, se debe seleccionar el raster de entrada creado en el paso anterior, incorporar el shapefile de polígonos de comunas, especificar el campo de división llamado “Comunas.shp”, la capa de simbología llamada “REGCOM.lyrx” finalmente el nombre del indicador es “IPE6”.

**Ilustración 5.** Resultado de ejecutar la herramienta “Kriging\_a\_shapefile”

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente

### **Proceso 3.3:** Generar rasters SGI en ArcGIS

Para llevar los valores de SGI a un archivo raster se utiliza la función “7\_SGI\_a\_raster.py” y los archivos SGI\_91\_20-6.npy y SGI\_91\_20-12.npy. El programa Python mediante la función “array\_to\_xarray” convierte los de SGI en un instante de tiempo en imagen raster. Esta rutina también clasifica cada SGI en una escala del 1 al 8 dependiendo el rango de valores en que se encuentra. Este valor se asocia a una de las categorías de sequía definidas por el proyecto de gestión de sequías patrocinado por la DGA. Las categorías y rango de valores se muestran en la Tabla 4. En base a esta clasificación se crea otra imagen raster que muestra la categoría de sequía de manera espacial. Las imágenes raster se nombran de la siguiente manera: SGI\_mes\_año\_i.tif y SGI\_class\_mes\_año\_i.tif donde class indica que esa imagen corresponde a las celdas clasificadas en categoría de sequía e i representa el periodo de agregación (6 o 12).

Tabla 8: Clasificación de sequía en relación a las condiciones esperadas según valor de SGI

|  |  |
| --- | --- |
| Categoría | Rango valor SGI |
| Extremadamente seco | <-2,05 |
| Excesivamente seco | -2,05 ; -1,64 |
| Muy seco | -1,64 ; -1,28 |
| Seco | -1,28 ; -1,04 |
| Levemente seco | -1,04 ; -0,84 |
| Normal | -0,84 ; 0,84 |
| Húmedo | 0,84 ; 1,28 |
| Muy húmedo | 1,28 ; 2,05 |
| Extremadamente húmedo | >2,05 |

### **Proceso 3.4:** Generar rasters PPP en ArcGIS (desviación y promedio)

### **Proceso 3.6:** Subir los mapas en Arcgis Online.

En este momento se introduce el programa Arcgis Online. Este programa basado en el servidor web permite (1) cargar el archivo raster, (2) ejecutar un modelo pre-establecido de algoritmos de procesamiento geográfico y (3) publicar las capas generadas. Las capas se publican al servidor de Arcgis Online usando los recursos de la cuenta organizacional del CCG.

Para la automatización del proceso de publicación de mapas, un “Scheduler” (programador) de tareas es provisto por ArcGis PRO. El Scheduler es un script que crea una tarea programada a través del “Windows Task Scheduler”.

La tarea que se le asigna al Scheduler consiste en correr el modelo de ArcgisPRO segun el calendario provisto por el usuario. No es necesario tener ArcgisPRO abierto para que la tarea sea ejecutada. Sin embargo, el servidor en el cual se automatiza la tarea sí debe estar encendido.

# Encuesta de experiencia del usuario (UX) a la Plataforma de Monitoreo de Sequía

## Introducción

Cada plataforma y su correspondiente sitio web deben someterse a un proceso de diseño de experiencia de usuario. En este proceso, los expertos en la materia a la que la plataforma se dirige deben trabajar para acercarla al usuario. El objetivo es hacer que esta plataforma virtual sea más fácil de usar y accesible, con el propósito de mejorar la experiencia del usuario y garantizar que el producto digital sea verdaderamente útil para él (UOC Corporate, s.f.).

Usabilidad y Accesibilidad son dos aspectos fundamentales en el diseño de productos. La usabilidad se refiere a la facilidad de uso del producto, teniendo en cuenta el tipo de usuario para el que está destinado. Se relaciona con la curva de aprendizaje del usuario, su eficiencia al realizar las tareas asociadas al producto y su satisfacción general (UOC Corporate, s.f.).

Por otro lado, la accesibilidad se refiere a la capacidad del producto para ser utilizado por el mayor número posible de usuarios. Reconoce que los usuarios pueden tener limitaciones temporales o permanentes que afecten su experiencia de uso. Garantizar la accesibilidad significa asegurarse de que un grupo específico de usuarios al que va dirigido el producto pueda utilizarlo sin problemas. Esto implica proporcionar la información necesaria de manera clara y fácil de percibir por el usuario (UOC Corporate, s.f.).

## Método

Para poder medir la usabilidad, y accesibilidad de la página web de la Iniciativa UC frente a la Sequía como la Plataforma de Monitoreo de Sequías, se realizó una encuesta a un grupo objetivo de 30 personas.

Este grupo objetivo consiste en profesionales, académicos y expertos involucrados en investigaciones relacionadas con la sequía y representantes del mundo de las organizaciones de usuarios del agua (OUAs). Para obtener conclusiones adecuadas, se UOC Corporate (s.f.) pertenecen al perfil de usuario al que está destinada la plataforma, y que como mínimo, se necesitan cinco respuestas de usuarios para garantizar unas conclusiones aceptables.

La encuesta consiste en 16 preguntas realizadas mediante la plataforma de Microsoft Forms, la cual fue enviada a los usuarios seleccionados del grupo objetivo vía correo electrónico, con las instrucciones de acceso a la plataforma, a la encuesta, y un video tutorial que presenta la plataforma.

Las preguntas de la encuesta, su objetivo y su forma de respuesta se presentan a continuación:

1. ¿Usted entiende el funcionamiento del Monitor de Sequías?
   * Esta pregunta tiene el objetivo de identificar si la plataforma cumple con entregar la información de su uso.

* La pregunta es de selección múltiple con dos opciones, Si y No.

1. En una escala del 1 al 5, ¿cómo puntuaría la facilidad de uso del Monitor de Sequías?
   * El objetivo de esta pregunta es medir la usabilidad de la plataforma
   * La respuesta va en una escala de 1 a 5, sin decimales.
2. En una escala del 1 al 5, ¿cómo puntuaría el diseño de la página web del Monitor de Sequías?
   * El objetivo de esta pregunta es medir la opinión de los usuarios sobre la estética usada para la pagina web y para el Monitor de Sequías, como también puntuar la accesibilidad de ella.
   * La respuesta va en una escala de 1 a 5, sin decimales.
3. En una Escala del 1 al 5, ¿cómo puntuaría la navegación por la página web del Monitor de Sequías?
   * El objetivo de esta pregunta es medir la accesibilidad de la plataforma.
   * La respuesta va en una escala de 1 a 5, sin decimales.
4. En una escala del 1 al 5, ¿cómo puntuaría la organización de la información en el Monitor de Sequías?
   * El objetivo de esta pregunta es medir la accesibilidad de la plataforma.
   * La respuesta va en una escala de 1 a 5, sin decimales.
5. En una escala del 1 al 5, ¿cómo puntuaría la fiabilidad de la información presentada en el Monitor de Sequías?
   * El objetivo de esta pregunta es medir como perciben los datos mostrados, y si la plataforma entrega información suficiente de las fuentes de información utilizadas para la creación de los indicadores.
   * La respuesta va en una escala de 1 a 5, sin decimales.
6. En una escala de 1 al 5, ¿cómo puntuaría la utilidad de la información alojada en el Monitor de Sequías?
   * El objetivo de esta pregunta es medir si el grupo objetivo seleccionado considera que la información mostrada es de su interés profesional, como también es una aproximación para medir si estos usuarios volverán a la plataforma para usar la información disponible.
   * La respuesta va en una escala de 1 a 5, sin decimales.
7. En una escala del 1 al 5, ¿cómo puntuaría la interfaz del mapa interactivo del Monitor de Sequías?
   * El objetivo de esta pregunta es medir la usabilidad del mapa interactivo.
   * La respuesta va en una escala de 1 a 5, sin decimales.
8. En una escala del 1 al 5, ¿cómo puntuaría la leyenda de los mapas interactivos de los indicadores en el Monitor de Sequías?
   * El objetivo de esta pregunta es medir la accesibilidad del mapa interactivo.
   * La respuesta va en una escala de 1 a 5, sin decimales.
9. En una escala del 1 al 5, ¿cómo puntuaría la tabla de resumen de los datos mostrada en el mapa del Monitor de Sequías?
   * El objetivo de esta pregunta es medir la accesibilidad del mapa interactivo.
   * La respuesta va en una escala de 1 a 5, sin decimales.
10. En una escala del 1 al 5, ¿cómo puntuaría la barra superior que permite filtrar los datos mostrados en el mapa del Monitor de Sequias?
    * El objetivo de esta pregunta es medir la usabilidad de las funciones del mapa interactivo.
    * La respuesta va en una escala de 1 a 5, sin decimales.
11. En una escala del 1 al 5, ¿qué tan fácil es descargar los datos de los indicadores mostrados?
    * El objetivo de esta pregunta es definir si la plataforma entrega información suficiente y accesible a la descarga de los datos presentados.
    * La respuesta va en una escala de 1 a 5, sin decimales donde 1 es muy difícil y 5 es muy fácil
12. ¿Con cuál propósito utilizaría usted el Monitor de Sequías?
    * El objetivo de esta pregunta es determinar el potencial uso de la plataforma por el grupo objetivo.
    * La respuesta es de selección multiple con la opción de seleccionar más de una respuesta a la vez. Las respuestas definidas son las siguientes:
      1. Monitorear sequías en mi localidad
      2. Obtener información sobre sequías en otras regiones
      3. Tomar decisiones relacionadas con la agricultura y/o la ganadería
      4. Realizar investigaciones académicas o profesionales
      5. Otra
13. De una escala de 1 a 7, ¿qué nota le pondría a la plataforma del Monitor del Sequías?
    * El objetivo de esta pregunta puntuar la plataforma en su totalidad, mediante una nota
    * La respuesta va en una escala de 1 a 7, sin decimales, siendo 7 la nota que representa la máxima calificación, 1 representa la peor calificación obtenible, y 4 la mínima de aprobación.
14. ¿Qué cambios o mejoras sugerirías para hacer la plataforma más útil y efectiva?
    * El objetivo de esta pregunta es conseguir retroalimentación sobre la plataforma de los usuarios del grupo objetivo, de tal forma de identificar oportunidades de mejora en la experiencia del usuario.
    * La respuesta es en formato texto, con un máximo de 200 caracteres.
15. ¿Has encontrado algún problema técnico o error en la plataforma? Si es así, por favor, describe brevemente el problema.
    * El objetivo de esta pregunta es conseguir retroalimentación sobre la plataforma de los usuarios del grupo objetivo, específicamente en localizar errores en el funcionamiento de la plataforma, de esta forma focalizar las correcciones previo a su lanzamiento oficial.
    * La respuesta es en formato texto, con un máximo de 200 caracteres.

## Resultado

Del total de encuestados solo se recibieron respuestas en la encuesta de 5 usuarios, a continuación, se muestran los resultados de las 16 preguntas.

**Ilustración 6.** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 1.

**Ilustración 7.** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 2.

**Ilustración 8.** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 3.

**Ilustración 9**. Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 4.

**Figura 5:** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 5.

**Figura 6:** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 6.

**Figura 7:** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 7.

**Figura 8:** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 8.

**Figura 9:** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 9.

**Figura 10:** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 10.

**Figura 11:** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 11.

**Figura 12:** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 12.

**Figura 13:** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 13.

**Figura 14:** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para la pregunta 14.

Las preguntas 15 y 16 son preguntas te tipo texto, de los usuarios encuestados solo 2 de ellos entregaron respuesta a estas preguntas, por lo que no es posible entregar análisis de sus respuestas.

A continuación, en la ***Tabla 3*** se presentan los comentarios entregados de estas dos preguntas:

**Tabla 9:** Respuestas de la encuesta de experiencia de usuario para las preguntas 15 y 16.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Pregunta 15: ¿Qué cambios o mejoras sugerirías para hacer la plataforma más útil y efectiva?** | **Pregunta 16: ¿Has encontrado algún problema técnico o error en la plataforma? Si es así, por favor, describe brevemente el problema.** |
| Usuario anónimo 1 | Que sea más interactiva de lo que ya es. | Ninguno en particular |
| Usuario anónimo 2 | Lo primero: Gracias y felicitaciones. No pude bajar información del repositorio. No me queda tan claro cuan lenta o rápida es la plataforma. A mí me funciono de manera lenta, pero había una mención en el correo de invitación que esto iba a pasar. Cuando voy a la sección de descargar datos, no es claro qué es lo que se bajará. | No pude bajar info del repositorio, no pude ver indicadores por cuencas, no me aparece la fecha de actualización (al menos para el IPEE) |

Aunque la encuesta cumple con el criterio mínimo de 5 respuestas, se considera que esta tuvo una participación baja. Las respuestas de las preguntas 15 y 16 que no fueron respondidas por la mayoría de los encuestados, por lo que no se logró recabar suficiente información para cumplir con el objetivo de estas últimas dos preguntas. Con respecto a los resultados generales de la encuesta, la plataforma recibió buena acogida y puntuación alta tanto en usabilidad como en accesibilidad, sin embargo, se detectan problemas potenciales en la sección de descarga de los datos.

# Referencias

Universitat Oberta de Catalunya (UOC Corporate). (s.f.). TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO DE EXPERIENCIA DE USUARIO (UX). https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/139647/1/Tecnicas%20y%20herramientas%20para%20el%20disen¿o%20de%20experiencia%20del%20usuario%20UX.pdf