



PLAN HIDROLÓGICO DE TENERIFE

ANEJO 6. MODELO DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE

ESTUDIO AMBIENTAL ESTRATÉGICO

MEMORIA

ANEJOS

1. Planos
2. Relación con otros planes
3. Fichas de Evaluación Ambiental de Ámbitos de implantación de Infraestructuras Hidráulicas
4. Fichas de Caracterización Ambiental de las ARPSIS
5. Ley 4/2010, de 4 de junio, del Catálogo Canario de Especies Protegidas

MEMORIA DE LA PROPUESTA DE PROYECTO DE PLAN

MEMORIA

ANEJOS

1. Planos
2. Programa de Medidas
3. Fichero de Masas de Agua
 1. Masas de Agua Superficiales Costeras
 2. Caracterización Adicional de las Masas de Agua Subterránea
4. Inventario de Captaciones de Aguas Subterráneas y de Comunidades y Entidades de Gestión del Agua
5. Fichero de Exenciones al Cumplimiento de Objetivos. Resumen de Medidas Vinculantes
6. Modelo de Hidrología de Superficie
7. Modelo de Flujo Subterráneo
8. Actualización del Plan Hidrológico
9. Documento de Participación Pública y Consultas

NORMATIVA DE LA PROPUESTA DE PROYECTO DE PLAN

NORMAS

ANEJOS

1. Fichero de Ámbitos para la Implantación de Infraestructuras Hidráulicas
2. Fichero de Sistemas Territoriales de Infraestructuras Hidráulicas
 1. Sistemas Territoriales de Infraestructuras para el suministro de Agua de Mar Desalada
 2. Sistemas Territoriales de Infraestructuras para el suministro de Agua Salobre Desalinizada
 3. Sistemas Territoriales de Infraestructuras para el suministro de Agua Regenerada
 4. Sistemas Territoriales de Infraestructuras de Abastecimiento
 5. Sistemas Territoriales de Infraestructuras de Saneamiento
 6. Sistemas Territoriales de Infraestructuras para el suministro de Agua para Riego
 7. Sistemas Territoriales de Infraestructuras para la Producción Hidroeléctrica
 8. Catálogo de Infraestructuras Hidráulicas
3. Red Básica de Transporte del Agua
4. Listado de Registros de Riesgo
5. Listado de Zonas Susceptibles de Riesgo Hidráulico
6. Criterios Adicionales para la Identificación de Infraestructuras Esenciales-Estratégicas
7. Zonificación Hidrogeológica
8. Unidades de Demanda
9. Aglomeraciones Urbanas (Directiva 91/271)
10. Delimitación de las Masas de Agua Superficiales y Subterráneas
11. Condiciones de Referencia, Límites de Cambio de Clase, y Normas de Calidad Ambiental para la Evaluación del Estado de las Masas de Agua

ÍNDICE

1.- MODELO DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE: ANTECEDENTES Y CARACTERÍSTICAS	2
2.- MODELO DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE: VERSIONES V3 Y V4.....	3
3.- MODELO DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE: VERSIÓN V5.....	3
4.- DOCUMENTOS, PUBLICACIONES Y JORNADAS DIVULGATIVAS SOBRE EL MHS	6

1. MODELO DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE: ANTECEDENTES Y CARACTERÍSTICAS

En el presente anexo de la memoria del plan hidrológico se incluye información sobre la estructura y funcionamiento del Modelo de Hidrología Superficial (MHSup).

El Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF) ha desarrollado, desde principio de los años noventa, un modelo de hidrología superficial (MHSup) que permite obtener información, a distintos niveles de agregación temporal y espacial, acerca de cada una de las variables climáticas que conforman el balance hidrológico, como la precipitación convencional, la precipitación de niebla u horizontal, la temperatura, la humedad relativa máxima, la velocidad del viento, la evapotranspiración, la escorrentía, la infiltración, la variación de las reservas del suelo, así como de los recursos superficiales captados y almacenados.

El balance hídrico se ha obtenido de la modelización matemática del sistema con la discretización de la isla en una malla con celdas de 200 metros por 200 metros, que componen los contornos de más de 1000 cuencas hidrográficas con salida al mar, quedando perfectamente estructuradas y jerarquizadas las distintas arterias de drenaje de cada cuenca. A cada celda se le asigna una serie de parámetros específicos del área de suelo que delimita (capacidad de retención de agua, umbrales de escorrentía e infiltración en cauces); los relativos al aprovechamiento de las escorrentías, así como las variables climáticas.

La herramienta informática que desarrolla el MHSup consta de cuatro aplicaciones o módulos principales:

- Gestor de Datos Hidrológicos Básicos, cuya misión es el tratamiento, gestión y almacenamiento de la información climática, a nivel diario y mensual, correspondiente a las diferentes estaciones existentes en la isla de Tenerife.
- Caracterizador de Parámetros. Destinado al cálculo de los parámetros de modelización en cada celda. Realiza un cálculo de manera automática de los diferentes parámetros de modelización del conjunto de celdas que conforman el MHS, a partir de la información contenida en un conjunto de mapas temáticos que caracterizan diferentes aspectos del territorio de la isla: geología, tipos y usos de suelo, cultivos, vegetación, etc.
- Gestor de Modelos Climáticos y el Modelizador. Gestionan los datos a utilizar en los modelos climáticos establecidos. Además, se encarga tanto de gestionar los datos de entrada correspondientes al MHSup como de efectuar pasadas de simulación y almacenar resultados. Utiliza información relativa a la red hidrológica de la isla de Tenerife, así como de caracterización hidrológica de cada una de las celdas que conforman la superficie insular: umbral de escorrentía, umbral de infiltración en cauces, coeficientes de evaporación, transpiración y vegetación, capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, etc.

- Visualizador de Resultados. Destinado al tratamiento alfanumérico y gráfico de los resultados del MHSup. así como para representar mapas, obtener representaciones gráficas de la evolución temporal o estacional de las variables, obtener listados relativos a resultados de modelización.

2. MODELO DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE: VERSIONES V3 Y V4

Tal como se recoge en el Plan Hidrológico de Tenerife (PHT) aprobado definitivamente por el Gobierno de Canarias, mediante Decreto 49/2015 de 9 de abril (BOC nº85 de 6/05/2015), el MHSup es una herramienta básica para la interpretación de la información de hidrología de superficie.

Este Modelo permite procesar las series de datos de las variables climáticas e hidrológicas de Tenerife con distintos niveles de agregación temporal y espacial, para la elaboración de balances hídricos de ámbito insular o local y realizar con ello los análisis correspondientes. A efectos de facilitar el intercambio de datos con otros sistemas de información (bases de datos externas), el MHSup dispone además de un módulo complementario para la importación y exportación de ficheros (ASCII).

Esta herramienta ha venido actualizándose sucesivamente para mejorar su utilización, incorporando diversas utilidades y ajustándose a las mejoras de software y conocimiento disponibles en cada momento. Dada la imposibilidad de contar con registros reales de la lluvia horizontal, en la V3 se construyó un submodelo matemático de simulación que, implementado en el MHSup permite la evaluación de esta variable tanto en términos cuantitativos como de distribución espacial. Esta versión permitió, mediante el procesamiento de toda la información hidrológica disponible, realizar simulaciones con series temporales de hasta 66 años, precisando la recarga del sistema acuífero insular para el período 1944/45-2009/10 y, a partir de ésta, realizar prognosis de su posible evolución a medio plazo, a efectos de la planificación hidrológica (PHT 2015, de primer ciclo) del aprovechamiento de los recursos subterráneos en Tenerife.

En 2015 se abordó una nueva versión (V4) del MHSup con un doble propósito: de una parte, incorporar algunas mejoras operativas, relacionadas tanto con las metodologías de cálculo de determinadas variables hidrológicas como con funcionalidades propias de la herramienta. Y, por otra parte, realizar unas adaptaciones informáticas en las aplicaciones del Modelo para garantizar su ejecución sobre Windows 7.

3. MODELO DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE: VERSIÓN V5

El MHSup-V5, recientemente disponible, permite ya obtener el Balance Hidrológico de Superficie a partir de diferentes hipótesis y genera como resultado la Infiltración, como entrada para el Modelo de Flujo Subterráneo (MFS), obteniendo las Salidas al Mar y la Variación de las Reservas y complementar los resultados del MHSup para el PHT de Tercer Ciclo (ya en sus inicios).

Las mejoras operativas incorporadas a la V5 del MHSup resuelven las limitaciones que se venían demostrando con las anteriores versiones V4 y V3. Dichas mejoras son:

1. Desarrollo de la metodología de cálculo de la Evapotranspiración de cultivo (ETc) según FAO
2. Sustitución de los factores correctores de la ETP calculada por Thornthwaite para las versiones V3 y V4 por otros nuevos.
3. Modelización de los valores mensuales de todas las variables que intervienen en el proceso de cálculo de la ETo
4. Deducción de la velocidad del viento (Vv) diaria a diferentes alturas
5. Caracterización de todas celdas con el parámetro Tasa de Infiltración Básica
6. Obtención de series mensuales de todas las variables climáticas en recintos.

Entre las alegaciones formuladas al PHT algunas de ellas tenían relación con el proceso de deducción de alguna de las variables que forman parte del Balance Hidrológico Insular y en consecuencia con los valores que se les otorgaba. Entre las variables aludidas se encontraba la determinación de la Evapotranspiración, que es uno de los términos intervinientes en la resolución del balance hídrico para la determinación de la infiltración y de la recarga de agua en el sistema acuífero insular.

El MHSup V4 ya permitía determinar los términos del balance hidrológico y calculaba, entre otros parámetros, la Evapotranspiración de referencia (ETo). Debido a que la extensión de la red de estaciones con registro de temperatura era mucho más amplia que para la red de estaciones completas, se siguió utilizando la fórmula de Thornthwaite, introduciendo las correcciones oportunas para ajustar sus resultados a los obtenidos por Penman-Monteith en distintas zonas de la Isla de Tenerife.

Posteriormente, se aumentó la cobertura territorial para el registro de las variables necesarias mediante la implantación de nuevas estaciones automáticas con amplio registro de variables climáticas, y fue en este momento cuando se consideró oportuno realizar una actualización metodológica en el MHSup en su V5, revisando la funcionalidad de la determinación de la evapotranspiración de referencia (ETo), aplicando la formulación propuesta por Penman-Monteith, pero añadiendo el cálculo de evapotranspiración de cultivo (ETc) según FAO. A su vez, la mayor cobertura de estaciones automáticas ha permitido revisar los coeficientes correctores de Thornthwaite y establecer una nueva zonificación de las estaciones.

Otras de las actualizaciones del MHSup V5 es la relacionada con la incorporación de las nuevas variables climáticas, el establecimiento de nuevas estaciones virtuales de estas variables que a su vez han permitido la incorporación de nuevas estaciones virtuales de la ETo. Asimismo, se incorporó la deducción de la velocidad del viento (Vv) diaria en función de la altura para

homologar esta variable según prescribe FAO y la caracterización en todas las celdas (61.645) del parámetro de Tasa de Infiltración Básica.

Finalmente, implementar la obtención de series mensuales de todas las variables climáticas en recintos predefinidos (cuencas hidrográficas, sectores hidrogeológicos, submunicipios, vertientes, isla completa, ...).

La implementación de las mejoras operativas del actual MHSup V5, permite la consecución de los objetivos específicos que se indican a continuación:

- ✓ Mejora de las utilidades de importación de estaciones y series de datos asociados, tratamiento de información y relleno de lagunas.
- ✓ Incorpora las variables climáticas necesarias para el cálculo de la evapotranspiración de referencia con las nuevas fórmulas empíricas.
- ✓ Constituye una mejora del tratamiento de información de estaciones meteorológicas y series climáticas en el Gestor de Datos Básicos. Lo que supone una renovación de las utilidades disponibles en versiones anteriores para facilitar al usuario las operaciones de manejo y análisis de los datos.
- ✓ La mejora de la utilidad de relleno de lagunas en series climáticas por métodos estadísticos, contemplando la posibilidad de modificar – a lo largo de una serie temporal - la relación de estaciones de apoyo seleccionadas con este fin.
- ✓ Implementa nuevas utilidades para la determinación de la evapotranspiración de referencia por métodos alternativos (Penman-Monteith y Hargreaves) a la fórmula utilizada anteriormente (Thornthwhite “ajustado”).
- ✓ Mejora de la estructura organizativa del MHSup.
- ✓ Perfeccionamiento de la base documental del MHSup para la mejora del conocimiento de la herramienta, así como formación y entrenamiento para su gestión y manejo.

Estas nuevas utilidades incorporadas con la V5 no constituyen un fin en sí mismo, sino que con ellas se pretende incorporar una serie de mejoras en el MHSup para alcanzar los siguientes objetivos generales:

- ✓ Conocer el alcance de la recarga del agua de lluvia, así como su distribución territorial para su utilización posterior en el modelo de simulación de flujo de agua subterránea, de cara a la obtención de nuevos datos sobre el funcionamiento del sistema acuífero insular.

- ✓ Utilización del modelo, en la planificación de la explotación de las aguas de superficies de la isla; en coordinación con la planificación integral de los recursos hidráulicos.
- ✓ Contribuir a mejorar el conocimiento sobre los efectos del cambio climático en la isla, en función de los escenarios futuros que se proyecten y los resultados de las simulaciones que se realicen.

4. DOCUMENTOS, PUBLICACIONES Y JORNADAS DIVULGATIVAS SOBRE EL MHS

Con la finalidad de mostrar en detalle el funcionamiento y estructura del MHS, a continuación, se incluye el listado de los documentos, publicaciones y ponencias en jornadas divulgativas acerca del MHS disponibles para consulta en el CIATF:

Documentos:

- Uso y manejo del banco histórico de datos climatológicos para la obtención de los elementos primarios (precipitación y evapotranspiración) del balance hídrico en las Canarias Occidentales (1996)

Publicaciones:

- Información básica para instrumentar la simulación del comportamiento del sistema acuífero de Tenerife mediante un modelo matemático (V Simposio de Hidrogeología. Tomo XVII, pp. 135-150. Farrujia, I.; Braojos, J.J. y Delgado, P, 1992).
- Definición de la recarga a través del balance hídrico en las Islas Canarias Occidentales. Modelación (Seminario "La Evaluación de la Recarga a los Acuíferos en la Planificación Hidrológica". AIH. Las Palmas de Gran Canaria, pp. 267 - 277; Braojos Ruiz, J.J.; 1997).
- Los recursos hídricos en Tenerife frente al cambio climático (III Congreso de ingeniería civil, territorio y medio ambiente. "Agua, Biodiversidad e Ingeniería"; Braojos, J.; Farrujia, I.; Fernández, J.; 2006).
- 100 años de la hidrología superficial en la isla de Tenerife y su simulación a través de un modelo matemático distribuido. CIATF y Braojos Ruiz, J.J. (2019).
- La nube, el pino y la otra lluvia: Una metodología para evaluar el potencial de captación de agua de niebla y su aprovechamiento: natural o artificial. CIATF y Braojos Ruiz, J.J. (2015).

Jornadas divulgativas:

- Información hidrometeorológica de Tenerife - Implantación, recopilación, revisión y análisis (Jornadas sobre Impactos del Cambio Climático en la Hidrología de las Islas Canarias; Braojos Ruiz, J.J.; 2005).
- Modelo de Hidrología de Superficie de Tenerife - Implantación y actualización (Jornadas sobre Impactos del Cambio Climático en la Hidrología de las Islas Canarias; Braojos Ruiz, J.J.; 2005).
- Modelo de Hidrología de Superficie de Tenerife - Calibración, valoración y resultados (Jornadas sobre Impactos del Cambio Climático en la Hidrología de las Islas Canarias; Braojos Ruiz, J.J.; 2005).
- Guía metodológica para el cálculo de caudales de avenida en la isla de Tenerife (I Jornadas de Ingeniería de Agua; Fernández, J.; Delgado, P.; López, L.; Martín, R.; 2009; ISBN 978-90-78046-09-7).
- Aproximación al cálculo de la lluvia horizontal y a su incidencia en la recarga del sistema acuífero de Tenerife (I Jornadas de Ingeniería de Agua; Braojos, J.; García, E.; 2009; ISBN 978-90-78046-09-7).
- El Modelo Hidrológico de Superficie – Resultados del MHS (Jornadas sobre Hidrología de Superficie en Tenerife; Braojos, J.J.; Delgado, P.; 2009).
- Modelos de hidrología superficial y subterránea (I Jornadas de Ingeniería Civil; Delgado Melián, P.; Farrujia de la Rosa, I.; 2013).
- Jornadas sobre el cambio climático y los recursos hídricos en Tenerife. Celebrada los días 18 y 27 de marzo de 2019 en Salón de actos del Museo de Naturaleza y Arqueología de Tenerife.