Metodología

FITOCLIMÁTICA

Los diagramas bioclimáticos de Montero de Burgos y González Rebollar

Cuadernos de Técnicas y Métodos en Geografía Física

BIOGEOGRAFÍA

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE Asociación Española de Geografía

Métodos y técnicas en Geografía Física

Los cuadernos de Técnicas y Métodos en Geografía Física cuentan con una doble vocación: registrar los métodos y técnicas que dentro de la Geografía Física española están llevando a cabo y desarrollando los/las geógrafos/as físicos/as españoles/as en sus diferentes facetas: académica, investigadora, gestora, profesión liberal, etc. y, por otra, realizar una labor pedagógica al explicar con criterios claros pero completos dichos métodos y técnicas al resto de la comunidad geográfica. La publicación e intercambio de estas monografías pretenden abrir un fecundo campo en el que los/las profesionales contemos con un corpus metodológico variado que nos ayude en el desempeño de nuestra vida profesional.

La colección se divide en 5 series: Geomorfología, Climatología, Hidrogeografía, Biogeografía, Edafogeografía y Geografía Física Aplicada (Ordenación del Territorio y el Paisaje).

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española de Geografía

Metodología FITOCLIMÁTICA
Los diagramas bioclimáticos de Montero de Burgos y González Rebollar

Concepción Fidalgo Hijano
Catedrática de Geografía Física. Universidad Autónoma Madrid
Rafael Cámara Artigas
Catedrático de Geografía Física. Universidad de Sevilla

Cuadernos de Técnicas y Métodos en Geografía Física
BIOGEOGRAFÍA

GEOGRAFÍA FÍSICA
AGE
Asociación Española de Geografía

Primera edición digital: abril 2022

ISBN: 978-84-123678-9-8

© Los/las autores/as
© Fotografías: Los/las autores/as
© Fotografías de la portada: Los/las autores/as

Dirección
Pedro José Lozano Valencia

Diseño y Maquetación
Raoul Servert Martín

Consejo Editorial de los Cuadernos
Javier Martín Vide (Universidad de Barcelona)
María Victoria Marzol Jaén (Universidad de La Laguna)
María Jesús Perles Roselló (Universidad de Málaga)
María Asunción Romero Díaz (Universidad de Murcia)
Javier Úbeda Cartañá (Universidad de Barcelona)
José Damián Ruiz Sinoga (Universidad de Málaga)
María Concepción Fidalgo Hijano (Universidad Autónoma de Madrid)
Pedro José Lozano Valencia (Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea)
Juan Antonio Marco Molina (Universidad de Alicante)
Emma Pérez-Chacón Espino (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria)
Ascensión Padilla Blanco (Universidad de Alicante)
Fernando Díaz del Olmo (Universidad de Sevilla)
Celso García García (Universitat de Les Illes Balears)
Adolfo Cavo Cases (Universitat de València)
José Ojeda Zujar (Universidad de Sevilla)

Edita: **Asociación Española de Geografía (AGE)**

Cuadernos de Métodos y Técnicas en Geografía Física de la Asociación Española de Geografía es una colección en la que quedan englobadas las siguientes series: Geomorfología; Climatología; Hidrogeografía; Biogeografía; Edafogeografía; Geografía Física Aplicada (Ordenación del territorio y el paisaje).

Queda prohibido copiar, reproducir, distribuir, publicar, transmitir, difundir, o en cualquier modo explotar cualquier parte de esta publicación sin la autorización previa de la Asociación de la Geografía Española (AGE) o de los titulares de los derechos de propiedad intelectual. Sin embargo, usted podrá descargar este monográfico para uso exclusivamente personal o educativo sin poder eliminar o alterar la cita de la autoría del documento.

Dedicatoria

A nuestros maestros que nos precedieron en la aventura de estudiar los procesos y factores del medio natural y nos pusieron en el camino de proseguir su andadura.

A los compañeros y amigos con los que hemos recorrido ese camino.

A los que vienen detrás, a nuestros alumnos, esperando que nuestro trabajo les sirva para aventajarnos y seguir adelante.

A Peio Lozano, por su cariño, ánimo y coraje, y al que recordamos que puede contar con todos los amigos y amigas que han hecho posible este libro.

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española
de Geografía

ÍNDICE

0.- Resumen 11

1.- Introducción 15

2.- Método de los diagramas bioclimáticos 19

2.1. Fundamentos básicos 22
2.2. Cálculo del Balance hídrico 31
2.2.1. Método de Montero de Burgos y González Rebollar 31
2.2.2. Método de Thornthwaithe 37
2.3.- Cálculo de las Intensidades Bioclimáticas 46
2.3.1. Cálculo de las Temperaturas Básicas 49
2.3.2. Coeficientes de sequía y subsequía 50
2.3.3. Principales índices para el estudio del ámbito climático de una especie 51
2.4.- Representación gráfica: El diagrama bioclimático 51
2.4.1. Antecedentes 51
2.4.1.1 Diagrama de Gaussen 52
2.4.1.2 Diagrama de Walter 52
2.4.2. Diagrama de Montero de Burgos y González Rebollar: Representación gráfica 56
2.4.2.1 Representación del balance hídrico de Montero de Burgos y González Rebollar 56
2.3.2.2 Representación del balance hídrico de Thornthwaite 58
2.3.2.3 El diagrama bioclimático, representación gráfica 59

3.- Aplicaciones de la metodología bioclimática al estudio de casos 61

4.- Bibliografía 71

5- Anexo 77

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española
de Geografía

0

Resumen

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española
de Geografía

RESUMEN

La consideración del medio como conjunto integrado de una serie de elementos que conforman un todo complejo hizo que se prestara atención a la búsqueda de métodos capaces de integrar todas las variables medioambientales: clima, suelo, topografía, etc., como factores de especial relevancia para el desarrollo de las comunidades vegetales.

En 1974 surgió un método fitoclimático, en el seno de la Ingeniería Forestal, aplicado a la caracterización climática y orientado a la repoblación. Dos fueron sus creadores los profesores Montero de Burgos y González Rebollar [1].

El conocimiento desde el ámbito geográfico de esta metodología puso de relieve su enorme interés como elemento integrador de variables naturales que permitía llevar a cabo una comprensión más amplia y completa del poblamiento vegetal.

En el campo de la Geografía y en concreto de la Biogeografía, hasta ese momento el manejo de índices bioclimáticos se centraba en los balances hídricos o en las clasificaciones agroclimáticas. Ahora se abría la posibilidad de uso de un método que aglutinaba diferentes factores.

Los autores del presente trabajo se acercaron, de manera separada, a esta metodología la aplicaron a diferentes investigaciones e incluso originó el desarrollo de tesis doctorales[2]. No obstante, es justo reconocer, que aún no ha tenido una amplia aceptación por la comunidad de la Geografía Física, que sigue inmersa en el uso de diagramas muy sencillos y menos precisos como el de Gaussen y en el cálculo, en el mejor de los casos, del balance hídrico de Thorthwaite.

El objetivo de esta publicación es difundir una herramienta que los autores consideramos ya, hoy en día, absolutamente imprescindible y que, en su aplicación geográfica, ha permitido ir mucho más allá, llegando a la determinación de regímenes bioclimáticos o a inferir las posibles repercusiones del cambio climático en la vegetación. En el caso de los regímenes bioclimáticos permitirán, además, poder establecer la valencia ecológica de distribución de formaciones vegetales y especies, con un sentido multiescalar espacial y temporal.

En esta aportación se parte de la exposición de los fundamentos teóricos de los balances hídricos de Montero de Burgos y González Rebollar y de Thornthwaite, para explicar a continuación cómo se realiza el cálculo de las intensidades bioclimáticas y terminar desarrollando los diagramas de balances hídricos y bioclimáticos. Como elemento de ayuda para la comprensión de la mecánica de cálculo de los balances se han incluido tablas de "paso a paso" que facilitan la comprensión operacional.

No hemos querido cerrar este trabajo sin poner en valor las aplicaciones metodológicas que se han realizado y cuáles son las posibilidades de futuro que se abren con el resultado de la investigación en este campo de más de 40 años en España.

---

[1] José Luis Montero de Burgos (Málaga, 7 de septiembre de 1924 - Madrid, 7 de septiembre de 1998) fue Doctor Ingeniero de Montes, trabajó en el antiguo ICONA, y fue docente en las universidades de Madrid. Ejerció, también, como profesor de humanidades y estudió en profundidad el problema social en lo que respecta a la relación capital/trabajo, enfocándolo desde una perspectiva científica.
Por su parte el profesor José Luis González Rebollar leyó su tesis doctoral en 1983, siendo dirigida por Montero de Burgos sobre el método de los Diagramas. Desde 1985 se integra en el Grupo de Pastos y Sistemas Silvopastorales Mediterráneos, Estación Experimental del Zaidín (EEZ-CSIC).
[2] En 2003 la profesora Ines Sancho leyó su tesis doctoral en la UAM Estudio del paisaje en la cuenca del río Alberche a su paso por la Comunidad de Madrid. Fitoclimatología y dinámica vegetal.

Durante los últimos años los autores de esta obra (figura 1) han realizado trabajos donde el método de los diagramas bioclimáticos ha sido utilizado con diferentes finalidades: estudio de distintos medios naturales, análisis de la evolución del paisaje en relación con el cambio climático o determinación de los regímenes bioclimáticos lo que permite un mejor acercamiento a la caracterización fitoclimática del entorno.

Pero no solo el manejo de esta metodología ha de limitarse al ámbito de la investigación, también se ha introducido en la docencia. Los autores de esta publicación se han caracterizado por incorporar en su ámbito docente, generalmente en cursos avanzados de Grado y en Posgrado, esta metodología a fin de que, en Geografía, en Ciencias Ambientales o en el concreto apartado de la Ordenación Territorial, se difunda y maneje una técnica que aporta una visión global de los principales elementos del medio natural.

Figura 1. Figura 1. Los autores de esta obra realizando trabajos de campo en el Alto Guadiana y en la caatinga brasileña

1

Introducción

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española de Geografía

INTRODUCCIÓN

El paisaje o medio natural, conjunto indisociable de todos los elementos geográficos, posee una estructura ordenada (no reducible a la suma de sus partes) y un sistema de relaciones en el que los procesos se encadenan. Así los elementos integrantes del paisaje reaccionan constantemente unos frente a otros, condicionándose.

El clima es, en muchas ocasiones, fundamental en la caracterización del paisaje, pero es la vegetación quien desempeña el papel de eje o conexión de las interrelaciones que se establecen en el medio. Según Pita Carpenter (1968, p. 5) "…La conformación, la estructura y la composición de las comunidades vegetales expresa en síntesis maravillosa las condiciones ambientales que han caracterizado y definen un determinado hábitat". Del mismo modo González Rebollar (1984, p. 402) afirmó "…la variación con la que aparecen distribuidas las unidades vegetales del paisaje no es más que la cara visible de una variación subyacente en las condiciones del medio".

En la interpretación y comprensión de ese medio natural es fundamental la idea de interrelación, entendida como las acciones recíprocas que influyen en los elementos geográficos y modifican la naturaleza. Si bien cada elemento o variable es objeto de una disciplina concreta, ello no deja de ser una atomización y disgregación artificial de la realidad global que no es otra cosa que la expresión de interacciones de hechos o procesos que se integran unos en otros.

Fruto de esa interrelación la cobertera vegetal depende de factores climáticos y edáficos, pero a su vez modifica el medio en el que se implanta y vive:

- Actúa de pantalla para las radiaciones solares y las absorbe en parte.
- La temperatura en la superficie del suelo está modificada por ella y la evaporación también.
- Las precipitaciones son interceptadas parcialmente por la cobertera vegetal; ello perturba la proporción de agua que se infiltra y, por consiguiente, algunos fenómenos hidrológicos y edáficos.

Es decir, puede afirmarse que la vegetación, a una determinada escala, influye en el clima, pero, como a su vez depende de él, se trata de una retroacción que se sitúa en una posición subordinada en relación con la acción. Así a los grandes dominios climáticos del globo corresponden grandes áreas ecológicas caracterizadas por unos tipos de paisajes vegetales y, a esta escala, la vegetación depende del clima. Pero, a un nivel escalar menor, microclima o incluso clima local, la vegetación interviene y la retroacción es observable.

Los mecanismos de interacción son enormemente variados: (i) para vivir la cobertera vegetal capta parte de la energía solar y extrae una cantidad del agua infiltrada en el suelo; (ii) disminuye así la intensidad de ciertos procesos físico-geográficos; (iii) modifica la morfogénesis, reduciendo la arroyada y acrecentando los procesos bioquímicos (meteorización principalmente), y (iv) aumenta el déficit de escorrentía por la transpiración.

En resumen, la vegetación transforma los balances hidrológicos, geomorfológicos y geoquímicos. Y además también interfiere en los procesos morfogenéticos.

La consideración de esa idea de interrelación es la que confiere a las disciplinas que se sitúan a caballo de otras una especial relevancia. Una de ellas es la Fitoclimatología "…trata de relacionar los fenómenos fitológicos y climáticos…se ocupa en precisar cuáles son, entre las prácticamente indefinidas posibilidades de obtención y organización de los datos del clima, los conjuntos de valores, cuya significación fitológica resulta efectiva" (Allue Andrade, 1966 p.11).

El estudio de la interrelación clima-vegetación se materializa en los índices y diagramas fitoclimáticos, que constituyen instrumentos adecuados para la caracterización medioambiental de un territorio. (Tabla I). Desde principios del siglo XX numerosas investigaciones de diferentes ámbitos científicos han pretendido combinar distintos datos climáticos, mediante expresiones matemáticas o representaciones gráficas, para lograr unos "índices" que definan los óptimos de vegetación de cada especie o los límites de amplitud de estas (Martonne, 1926; Thornthwaite ,1933, 1948; Gaussen, 1955; Papadakis, 1960; Holdridge, 1967; Tuhkanen, 1980; Walter, 1997).

Algunos climatólogos optaron desde un principio por trabajar teniendo solamente en cuenta, uno de los factores que más intensamente determinan las fluctuaciones y limitaciones de la vida vegetal: el agua. La relación entre evaporación y precipitación proporcionó un primer sistema de índices que tratan de reflejar las disponibilidades de agua en el suelo. Muy pronto, y como consecuencia de la escasez y poca fiabilidad de los datos de evaporación, los investigadores empezaron a considerar exclusivamente los datos de precipitación y temperatura, de las que en definitiva dependía muy principalmente la evaporación.

Dada la escasa información disponible, esta serie de instrumentos, que sintetizan la información suministrada por la estación meteorológica, permiten aproximarse al conocimiento de las variables fundamentales que, de forma más clara, afectan a la instalación y posterior desarrollo de la vida vegetal.

En todos los casos se obtuvieron índices a los que, por observación de la vegetación natural, se les asignaron límites empíricos de significado fitológico más o menos generalizable y expositivo . En ningún caso suponen o significan las raíces de una ecuación o los valores límites, entre los que puede vegetar una o varias especies vegetales porque independientemente de los factores cuyos datos se combinan en el índice aplicado, pueden existir, y de hecho existen, otros factores ecológicos que hacen variar los límites fijados. Por tanto, debe considerarse como un mero "indicador de las características del biotopo".

La diversidad de instrumentos fitoclimáticos existentes y la necesidad de proceder a un análisis integrado del medio lleva a plantearse cuál es la metodología más adecuada. La propuesta que en esta publicación se realiza se centra en el Método de los Diagramas Bioclimáticos creado por Montero de Burgos y González Rebollar (1984), entendiendo que es uno de los más adecuados y completos para el estudio de las interrelaciones existentes entre los elementos del medio natural.

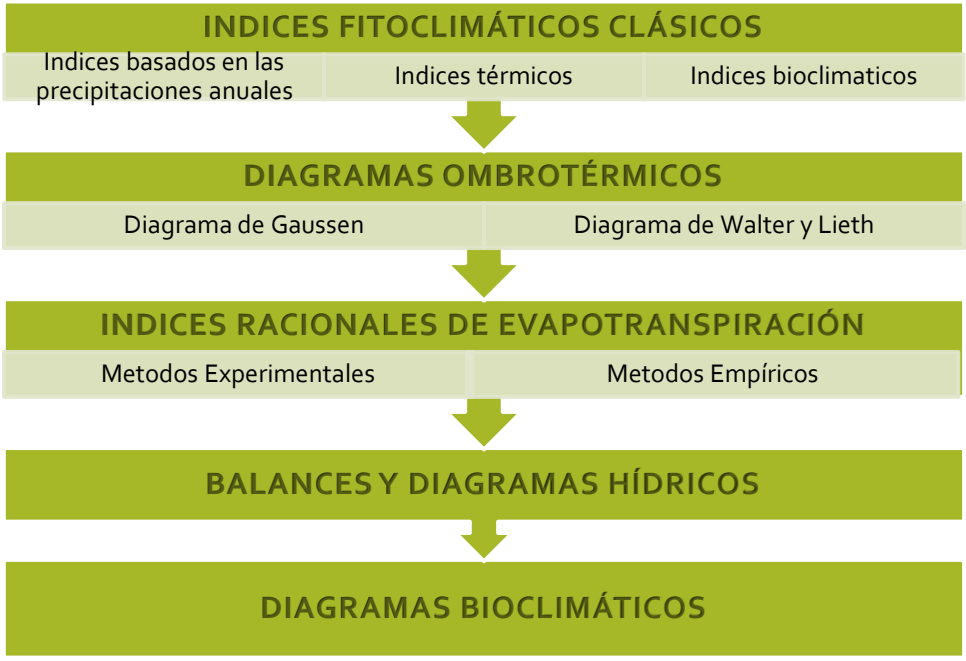


Tabla I. Principales índices y diagramas fitoclimáticos.

2

Método de los Diagramas Bioclimáticos de Montero de Burgos y González Rebollar

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española
de Geografía

MÉTODO DE LOS DIAGRAMAS BIOCLIMÁTICOS DE MONTERO DE BURGOS Y GONZÁLEZ REBOLLAR

Se trata de un método de investigación geobotánico que utiliza el análisis de datos paramétricos. Su fundamento se basa en la combinación de: (i) la información de la textura de las formaciones superficiales geomorfológicas (expresadas mediante la Capacidad de Campo o agua disponible para las plantas hasta la saturación del suelo); (ii) la cobertura vegetal/profundidad de las raíces (Thornthwaite, 1955, 1957) que influye en la escorrentía, y (iii) la pendiente de las morfologías sobre las que se sustente la vegetación (figura 2).

Figura 2. Ladera del valle de El Escorial. Sierra de Alcaraz, mayo 2011
Fotografía: Concepción Fidalgo

Dicha pendiente favorecerá la escorrentía subsuperficial, que pasará a ser superficial cuando el suelo se sature tras alcanzar la capacidad de campo. Este papel del suelo es fundamental para entender los balances hídricos y los balances bioclimáticos.

Fueron concebidos con una finalidad eminentemente forestal y aplicada al ámbito mediterráneo, no obstante, han sido aplicados en cerca de mil estaciones repartidas por los medios naturales fríos, templados, subtropicales y tropicales en América, África, y Eurasia (Cámara et al, 2020), y con ello se ha podido comprobar su validez, al constatar su relación con las formaciones vegetales, según los periodos de paralización hídrica y/o térmica, o la ausencia de estas.

2.1 Fundamentos básicos

La idea fundamental reside en una concepción del fitoclima o clima vegetal como un elemento que no está constituido única y exclusivamente por elementos climáticos, sino que según Rivas Goday y Fernández Galiano (1952, p.514) comprende "todos los factores climáticos, topográficos y edáficos, es decir…todos los factores del medio".

El punto de partida es obviamente los datos climáticos, si bien hay que tener presente la existencia de dificultades importantes en la información meteorológica disponible, sobre todo si se trata de áreas de montañas. Dificultades que van desde la no existencia de estaciones meteorológicas, o, lo que es lo mismo, a una escasa red y una mala distribución de estas, hasta la poca representatividad de algunos datos meteorológicos debido a numerosas causas perturbadoras.

A ello se suma como elemento muy importante la consideración de que "….los factores climáticos medidos por los meteorólogos ejercen una acción manifiesta sobre la vegetación allí donde no se ven alterados por las condiciones del relieve y el suelo" (Walter, 1977, p. 24). Es pertinente recordar la reflexión de Walter centrando la atención en los aspectos que inciden en el crecimiento y en el desarrollo de las plantas: "para las plantas es completamente indiferente que, por ejemplo, las condiciones térmicas favorables estén determinadas por el macroclima o por la localización del biotopo en una ladera resguardada orientada hacia el sur. Tampoco tiene importancia para las plantas que la humedad necesaria del suelo se consiga gracias a una distribución favorable de las precipitaciones, a una evaporación reducida debió a una orientación hacia el norte o a la estructura del suelo y a la proximidad del agua freática, lo principal es que la planta no carezca de agua". En la misma línea Montero de Burgos (1974) afirma que lo que biológicamente importa de un clima, no es tanto la cuantía de las precipitaciones ni las temperaturas medias, etc., sino más bien la variabilidad de las respuestas biológicas a ese clima según factores edáficos, topográficos…

Evidentemente la topografía y en concreto la pendiente del terreno y la orientación del biotopo (figura 3) son determinantes de primer orden, como lo es también el componente edáfico. De la pendiente afirma Strahler (1984) que actúa directamente sobre la velocidad del drenaje de la precipitación.

Figura 3. Oposición entre la ladera de umbría y solana. Valle del Badiel (Guadalajara) , 2005
Fotografía: Juan Antonio González

"En pendientes pronunciadas la escorrentía superficial es rápida, y el agua no queda disponible mucho tiempo. En pendientes suaves puede penetrar en el suelo, siendo de este modo útil a la vida vegetal".
Y continúa "los fondos de valle tienden a ser húmedos debido a que en ellos es donde converge la escorrentía superficial y donde se hallan los cursos de agua; los interfluvios, picos y crestas tienden a estar más secos a causa del rápido drenaje a que dan lugar las pendientes…"

Por su parte el suelo tiene, como función ecológica fundamental, absorber, retener y suministrar agua. El factor edáfico resulta fundamental a la hora de determinar los volúmenes hídricos que el suelo puede contener, así como qué proporción de esa agua se encuentra disponible para las plantas (Domingo et al., 2006).

En cuanto a los elementos climáticos es clara la ausencia de información sobre algunas variables de indudable interés fitoclimático como la intensidad y duración de la radiación solar, el estado del aire, el viento, etc. Ello hace necesario centrar el estudio, en la mayor parte de los casos, en los datos de temperatura y precipitaciones.

La temperatura es un factor determinante en los procesos vitales que tienen lugar en el protoplasma celular. Dado que, ecofisiológicamente hablando, las plantas son organismos poiquilotermos, y por tanto incapaces de crear un ambiente térmico interior, el dato de temperatura que suministra la estación meteorológica ha de considerarse un indicador válido de la actividad vegetativa. "La temperatura del aire circundante nos da un indicio de las condiciones de temperatura determinantes existentes en el plasma" (Walter, 1977, p. 4)

La situación es más compleja en el caso de las precipitaciones puesto que el dato meteorológico no refleja realmente las condiciones hídricas del medio "La hidratura del plasma no depende directamente de las relaciones de agua existentes fuera de la célula…Siempre que las plantas terrestres consigan mantener en un nivel bajo la concentración del jugo celular de la vacuola, el plasma estará fuertemente hidratado independientemente de la humedad de la atmósfera circundante" (Walter, 1977, p. 4).

Ahora bien, salvo casos muy especiales de adaptación xerófila, las plantas no disponen de más agua que las que les llega con la precipitación; no obstante, no es el único, ni a veces el principal, determinante de los niveles hídricos disponibles, los cuales dependen de factores tales como: la capacidad de almacenamiento del suelo, las pérdidas de evapotranspiración, la topografía, etc.
En función de todo lo manifestado anteriormente la valoración de las características del entorno en que se desarrollan las comunidades vegetales requiere la necesidad de tomar en consideración las disponibilidades hídricas, presentes en el medio para su aprovechamiento por las plantas, y ellas dependen de:

precipitación – evapotranspiración + capacidad de retención de agua en el suelo +/- la escorrentía (condicionada por la pendiente topográfica).

En el caso de una pendiente pronunciada la escorrentía resta agua por drenaje oblicuo al suelo y en el caso de un valle la escorrentía suma efectivos hídricos que llegan al fondo de valle suponiendo un aporte a sumar al total pluviométrico. Así en la Figura 4 se advierte un proceso de la recolonización vegetal tras una intensa roturación que se inicia en aquellas vaguadas favorecidas por una mayor disponibilidad hídrica fruto de un aporte suplementario.

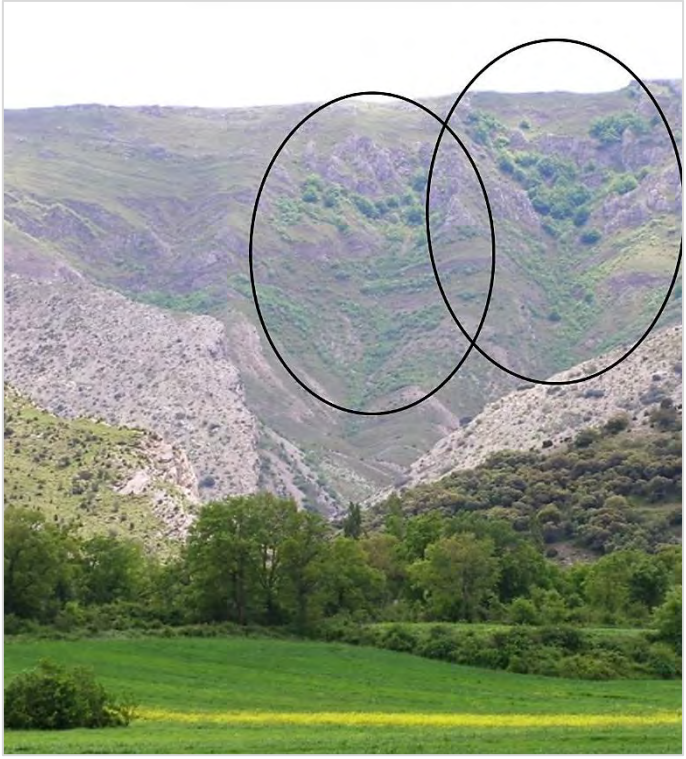


Figura 4. Recolonización vegetal. Flanco oriental de la Sierra de la Tesla, Burgos. Fotografía: Concepción Fidalgo.

El método de los Diagramas Bioclimáticos de Montero de Burgos y González Rebollar (DBC) se ha erigido en un instrumento de gran valor en el ámbito biogeográfico, partiendo de los datos puramente climáticos suministrados por la estación meteorológica.

Fueron publicados en 1974, y con posterioridad a esa fecha sus autores han realizado modificaciones tratando de alcanzar una mayor rigurosidad por ejemplo con el establecimiento de un nuevo diagrama bioclimático basado no en la temperatura, sino en la radiación, que constituyen una variable fitoclimática esencial, aunque no de utilización fácil por el escaso número de estaciones meteorológicas que la suministran. También se han elaborado adaptaciones de esta metodología por parte de investigadores (entre los que se encuentran los autores de esta publicación) fruto de su aplicación al estudio de casos concretos.

Este método ofrece mayor precisión desde el punto de vista biogeográfico que otro tipo de diagramas existentes, puesto que en él se integran los factores fitoclimáticos más importantes:

- En primer lugar, el clima a través de los datos de precipitación mensual, temperatura media mensual y evapotranspiración media mensual, a los que habría que añadir los datos de evapotranspiración residual y disponibilidades hídricas elaboradas a partir de los anteriores.
- En segundo lugar, se tiene en cuenta el suelo ya que una de las variables principales es la capacidad de retención hídrica, que permite cuantificar, junto con las precipitaciones medias mensuales, los valores de las disponibilidades hídricas.
- Y en tercer lugar el relieve a través de los fenómenos de la escorrentía, que modifica las precipitaciones existentes de forma real para la actividad vegetal.

Elías y Ruiz (1977, p.7) en su obra Agroclimatología de España al aplicar la clasificación de Papadakis afirman que consideran su trabajo como "una caracterización agroecológica a nivel macroclimático y en ningún momento se ha pretendido descender a una escala meso o microclimática, teniendo en cuanta la influencia de factores tales como el relieve o la topografía". De acuerdo con ello puede afirmase que con la utilización de los DBC se desciende al nivel de meso o microclima.

Al integrar los diferentes elementos del fitoclima, permite cuantificar fases bien diferenciadas del ciclo biológico anual de la vegetación. Así, la finalidad más importante de este método es la cuantificación climática de los distintos periodos de actividad vegetal.

Para ello se basan en los datos de temperatura y de agua realmente disponible, como elementos climáticos determinantes de la actividad vegetal. Además, el factor hídrico sufre ciertas modificaciones en función de las condiciones topográficas y de la capacidad de retención del suelo.

En condiciones ideales los cálculos han de realizarse teniendo en cuenta el valor de la pendiente y la capacidad edáfica de retención, pero, dado que no siempre se cuenta con estos valores se parte de una serie de supuestos de capacidad de retención hídrica por parte del suelo (CR) y de escorrentía, basada en la pérdida de recursos hídricos en función de la pendiente (W). Los supuestos permiten recrear las diferentes situaciones del entorno al que se aplican los datos termopluviométricos suministrados por una estación meteorológica concreta.

A modo de ejemplo se ha procedido a la combinación de estas dos variables sobre un total de 10 hipótesis distintas (Tabla II).

En primer lugar, se ha estimado la cuantificación bioclimática en el supuesto CR=0 mm y W=0%, es decir recreando una situación irreal, condicionada exclusivamente por los datos climáticos puros en donde ni el suelo ni la pendiente ejercen ningún tipo de influencia. Ello permitirá una evaluación fitoclimática de los simples datos del clima. Posteriormente se ha establecido valores distintos para la CR (0, 100 y 150 mm) y la W (% de pendiente que indican pérdidas por escorrentía lateral) (0, 15 y 30%).

Además de recrear la realidad (bondad que presenta el método de los Diagramas Bioclimáticos frente a otras metodologías), la simulación de distintas situaciones permite establecer el papel que el suelo o la escorrentía tienen en la cuantificación bioclimática (Fidalgo y González, 2004).

Tabla II. Hipótesis establecidas en el estudio fitoclimático.

Capacidad de retención en mm. (CR)	Escorrentía en % (W)
0	0
0	15
0	30
50	0
50	15
50	30
100	0
100	15
150	0
∞ (CRT)	0

Fuente: Elaboración propia.

Las hipótesis CR=0mm/W=15% y CR=0mm/W=30% son el reflejo de las situaciones de ladera, mientras que los valores de W=0% reproducen las situaciones teóricas del llano y los de W=30% corresponden a situaciones máximas de ladera. El estudio de hipótesis en donde la pendiente va aumentando sucesivamente para cada caso va a permitir una evaluación de cómo se comporta el clima frente a mayores escorrentías. Por otra parte, en ambas hipótesis se considera nula capacidad de retención edáfica, supuesto claramente razonable para pendientes fuertes (30%), menos real para menores pendientes.

El límite superior fijado para W se ha establecido siguiendo el criterio de García Salmerón (1980, pp. 112) quien estima que, en los montes de la zona mediterránea española, "la escasa calidad del suelo no permite valores de CR mayores de 100 mm y, por otro lado, la cifra de 30% como valor de la escorrentía parece un valor medio adecuado para las pendientes más frecuentes, régimen pluviométrico y cubierta vegetal". (Figura 5). Si bien puede considerarse excesivo un valor del 30%, González Rebollar (1984, p. 410 y 411) establece también un límite superior de W en el 30% y el de la CR en 150 mm.

Por su parte la hipótesis de capacidad de retención de 50 mm se ha calculado para distintas pendientes (0,15 y 30%) si bien es evidente que las dos primeras se ajustan de manera más clara a la realidad.

Para una mayor capacidad de retención por parte del suelo (CR=100 mm), obviamente se ha reducido los valores de escorrentía a tan solo dos supuestos (0 y 15%) pero, como ya hemos indicado anteriormente, es más razonable considerar que altas capacidades de retención como esta se alcanzaran con mayor probabilidad en situaciones de llano, con muy escasa o incluso nula pendiente.

Finalmente, la hipótesis CR=150 mm y W=0% equivaldría a la situación ideal en donde el potencial climático se aprovecha en toda su amplitud. Con este supuesto se identifica la vegetación potencial. Se estima que capacidades de retención superiores a 150 mm son totalmente irreales.

Si bien las hipótesis contempladas son suficientes, no obstante, se propugna como más acordes con la realidad, para el supuesto W=0%, CR=0mm, CR=100mm y CR=150mm, y para el supuesto W=30%, CR=0 mm, pudiendo considerarse en algunos casos, estimaciones de W=15% o de CR=50 mm.
A las hipótesis anteriores se suma:

- CR 150, W + 15%. En ella hay un incremento del valor pluviométrico con el porcentaje ganado por la escorrentía que llega hasta el fondo de valle, es el reflejo de la situación donde se acumula la escorrentía procedente de las laderas.
- Capacidad de retención ilimitada, lógicamente en escorrentías del 0%. Con esta situación se calcula la denominada Capacidad de Retención Típica (CRT), parámetro para determinar la máxima capacidad de retención posible en climas que no se saturen en situaciones de CR=100 mm (Fidalgo, 1988). En esta hipótesis se considera que el suelo es capaz de absorber sin límite el sobrante hídrico, no hay pérdidas.

La cuantificación del valor de la CRT muestra las máximas posibilidades que el clima ofrece para la actividad vegetal, todas esas posibilidades pueden ser aprovechadas puesto que el suelo permite una retención ilimitada. Según los autores del método se definiría como aquella capacidad "a partir de la cual, al aumentarla, la respuesta de los índices bioclimáticos es nula. Se refiere desde luego a hipótesis con valor W=0" (Montero de Burgos y González Rebollar, 1974, p. 53). Es una constante fitoclimática de cada estación. Ha de considerarse que:

- Para valores de CR>CRT el diagrama bioclimático permanece invariable.
- Valores muy altos de CRT (>150 mm) apuntan a dificultades a la hora de alcanzar la vegetación potencial; es decir, se necesitaría un suelo con una altísima CR (situación difícil de lograr) para poder aprovechar todas las posibilidades que el clima ofrece y por lo tanto alcanzar la supuesta vegetación clímax.
- Valores altos de CR (siempre inferiores a 150 mm) muestran una mayor variedad de situaciones fitoclimáticas y por ende mayores posibilidades diferentes, cara al desarrollo de series vegetales.
- Valores bajos de CRT (o dicho de otro modo situaciones en donde con suelos con poca CR el clima se satura, indicativo de poca potencialidad climática) recrean situaciones de poca variabilidad fitoclimática, por el contrario,

Para determinar la CRT pueden plantearse dos supuestos distintos:

- ∑ P < ∑ E (no se logra que IBR=IBP o bien IBL<IBP)[3] la CRT se corresponde con el mayor sobrante mensual hídrico en la diferencia entre la disponibilidad hídrica y la evapotranspiración (D-E) evidentemente en la hipótesis CR= ∞ mm
- Si ∑ P > ∑ E (IBR=IBP) la CRT es la capacidad de retención con la que se satura el clima.

Cuando un fitoclima presente valores bajos de la CRT indica situaciones monótonas, con escasa diversidad de "tipos". Por el contrario, valores altos indican fitoclimas muy diversos en sus series espaciotemporales; valores muy altos de la CRT (>150 mm) apuntan dificultades importantes para alcanzar la vegetación potencial en dicha estación. En definitiva, como puede apreciarse, la hipótesis CR=∞mm y W=0% es en realidad CR=CRT y W=0%

Como ya se ha indicado, dado que en la práctica no siempre es posible conocer los datos concretos y reales de CR y W, se parte de hipótesis que tratarán de reconstruir no solo la situación de un punto concreto sino toda la "lógica fitoclimática de la estación" (González Rebollar, 1984, p. 408) (Figura 4).

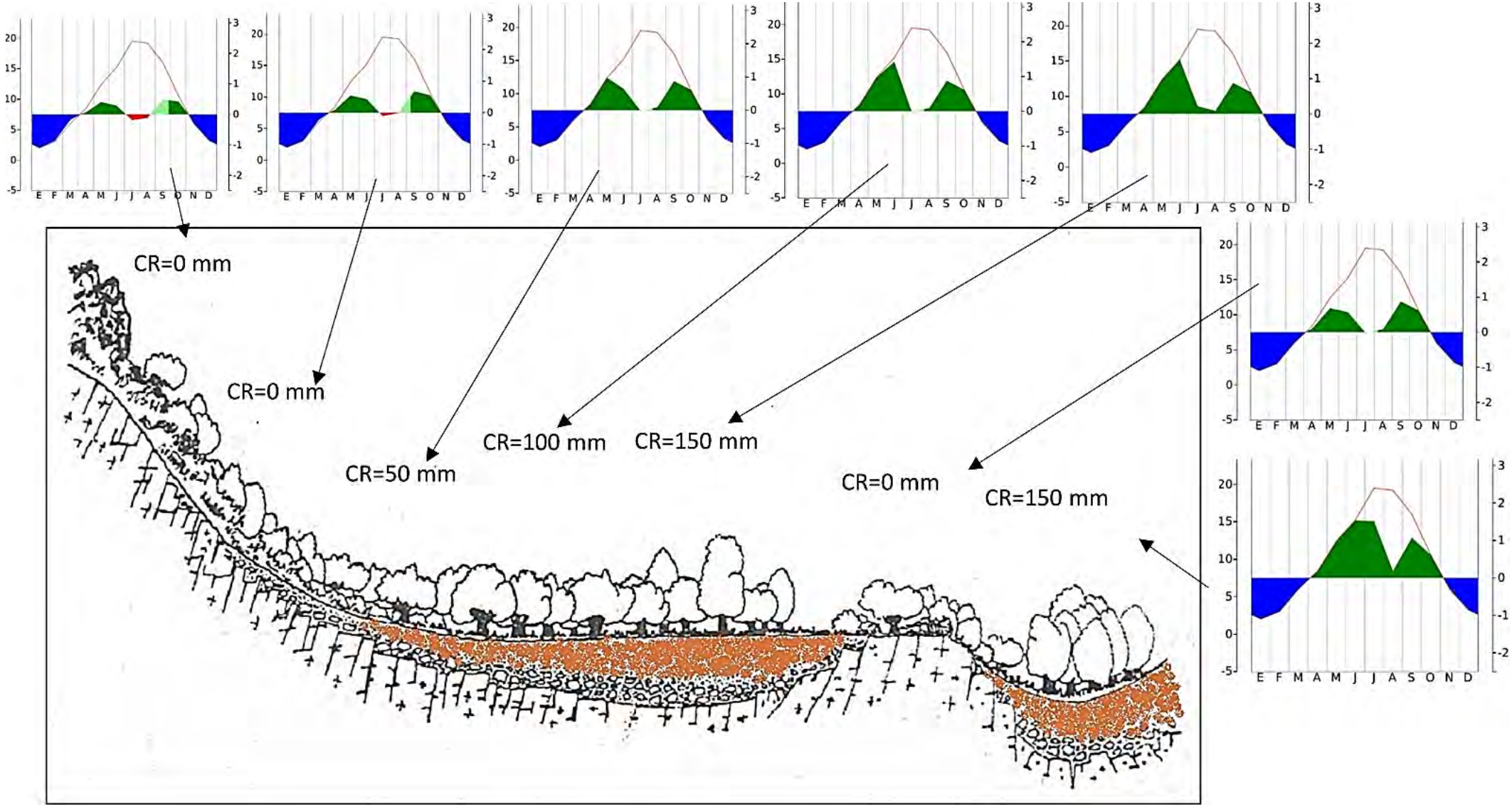
Figura 5.

[3] IBR son las siglas de Intensidad Bioclimática Real, IBP = Intensidad Bioclimatica Potencial (dependiente de la temperatura) e IBL= Intensidad Bioclimática Libre. Véase cálculo de las intensidades bioclimáticas a partir de la página 43.

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española
de Geografía

Figura 6. Adaptación de los datos de clima a los diferentes valores de capacidad de retención edáfica (CR) y pendiente (W).



Fuente: Elaboración propia a partir de González Rebollar, 1984

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española de Geografía

En la elaboración de los diagramas se pueden distinguir 3 niveles o pasos sucesivos:

- cálculo del balance hídrico
- cálculo de las diferentes intensidades bioclimáticas
- representación gráfica de dichas intensidades a través del correspondiente diagrama bioclimático.

Estos pasos o fases, incluso de manera independiente, son extraordinariamente útiles para entender el funcionamiento de un territorio.

2.2 Cálculo del balance hídrico

El balance hídrico se considera el primer paso en la caracterización del medio. Se proponen dos posibles métodos para su cálculo: el elaborado por los autores del método de los Diagramas Bioclimáticos y el concebido por Thornthwaite, ampliamente conocido.

Generalmente se ha considerado solo como un paso inicial para llegar a las Intensidades Bioclimáticas, unidades y protagonistas del método de los Diagramas Bioclimáticos, sobre todo en el marco de la ciencia forestal. En el ámbito geográfico el balance cobra una mayor importancia al ofrecer una visión integral de todos los factores del medio.

2.2.1 Método de Montero de Burgos y González Rebollar

Se parte de los datos de precipitaciones suministrados por la estación meteorológica y del valor mensual de la ETP. Teóricamente el balance hídrico puede iniciarse en cualquier mes y mediante un proceso repetitivo de carácter cíclico, se continúa hasta que los resultados se reiteren de forma indefinida[4] . A partir del momento en que esto ocurre, el balance se considera "cerrado", terminado. En la Tabla III se reproducen las columnas donde se alojan los diferentes cálculos a realizar.

Tabla III. Modelo para la realización del cálculo del Balance hídrico de Montero y González

Mes	P	E	e	s=(e-D)	∑c	c=(D-e)	∑s	Q	S	D	x
Enero											
Febrero											
Marzo											
Abril											
Mayo											
Junio											
Julio											
Agosto											
Septiembre											
Octubre											
Noviembre											
Diciembre											

Fuente: Elaboración propia

Los datos de precipitación son, obviamente, los proporcionados por la estación meteorológica y para el cálculo de la ETP, los autores de los diagramas recomendaron el método de Penman, considerado como el más completo. Ahora bien, dado que para aplicarlo sería necesaria una información

[4] Para evitar repetir cálculos conviene empezar por un mes en el que no haya superávit del mes anterior, como generalmente ocurre en el área mediterránea en agosto o septiembre.

meteorológica con la que no se cuenta en todas las estaciones se propuso el método híbrido de Penman y de Blaney y Criddle y también se planteó la utilización de la K[5] de la estación completa. Según A. Carballeira et al. (1983) la utilización de la K serviría para situaciones espaciales similares y próximas, circunstancia que no se cumple eligiendo tal y como indican Montero de Burgos y González Rebollar, la K de la estación de la capital de la provincia, con una situación geográfica que no tiene por qué ser semejante a la de la zona estudiada[6] .

A partir del valor de la evapotranspiración potencial (E) se halla la evapotranspiración residual (e) que puede definirse como la evapotranspiración potencial a savia parada. "e" representa las exigencias mínimas que hay que cubrir y E el límite máximo aprovechable.

Esta evapotranspiración residual es 1/5 de la E. Si las lluvias o la humedad del suelo no bastan para cubrir las necesidades de las plantas, estas responden a tal circunstancia pasando por estados sucesivos: en primer lugar, se produce una disminución de la asimilación clorofílica, cerrándose los estomas y, en segundo lugar, se asiste ya a la deshidratación del protoplasma.

Es decir, hay que tener en cuenta que:

- entre la máxima actividad vegetativa de la planta y su muerte, hay un punto de simple detención vegetativa, sin efectos fisiológicos todavía negativos. En ese momento de la detención de la savia por la sequía hay una evapotranspiración potencial determinada;
- cuando la sequía continúa la transpiración disminuye, pero lentamente; si se mantuviese la situación, la savia seguiría parada;
- y si las aportaciones aumentasen sobre el anterior límite, la actividad vegetativa se iniciaría de nuevo. Entre ambos umbrales, el estado deficitario no puede denominarse de sequía sino de "subsequía"

La relación entre E y e es constante E/e=k. Mediante revisión bibliográfica y diversos controles experimentales se estima que el valor de k es 5, luego e= 0,2E.

El siguiente paso será calcular las disponibilidades hídricas (D) mensuales que se considera como una variante más real que las simples precipitaciones, ya que según los autores (Montero de Burgos y González Rebollar, 1974, p. 24) "…las lluvias son y se anotan discontinuas, aunque en su representación gráfica con los promedios mensuales dé la sensación de continuidad. La continuidad de su presencia en la acción vegetativa se deriva de su retención por los suelos, agrícolas o forestales".

A partir no de las precipitaciones sino de las disponibilidades hídricas, se tiene en cuenta el aprovechamiento real de esa entrada de recursos hídricos, que va a depender de dos factores fundamentalmente: de la capacidad de retención del suelo (CR) y de la escorrentía superficial (W).

Así, la capacidad de retención puede ser definida como "la parte del saldo, D-E en mm de agua que, de un periodo de tiempo (un mes) puede pasar al siguiente y que se supone constante en determinada situación ecológica" (Montero de Burgos y González Rebollar (1974 p. 39).

Por otra parte, las disponibilidades hídricas reales de agua, en el suelo, varían con la pendiente, en función de la cubierta vegetal, etc. Es decir, hay o puede haber una escorrentía superficial que origina que parte de las precipitaciones detectadas en el observatorio meteorológico, no tengan trascendencia fitológica. Esta circunstancia se refleja en un coeficiente de escorrentía (W) que indica el tanto por ciento de agua que no se aprovecha por esta razón.

---

[5] Constante o coeficiente K utilizada para el cálculo de la ETP teniendo en cuenta la iluminación total mensual de una estación, considerando su latitud y con días de 12 horas. En la obra Diagramas Bioclimaticos (1974, p. 61) se recomienda como norma general, el tomar las constantes K de la capital de la provincia, donde esté situado el punto de estudio. Con las constantes K así determinadas, puede calcularse la evapotranspiración potencial de cada mes, mediante la fórmula: E= (0,457 T + 8,13) K

[6] Por ello, aun cuando se considera que la ETP calculada por el método de Penman es más correcta se propone (ejemplos presentados) determinar la ETP según Thornthwaite.

González Rebollar (1984, p. 406) lo denomina "coeficiente corrector de las lluvias", puesto que considera que la escorrentía lateral es tan solo uno de los supuestos que pueden interferir el aporte de las precipitaciones, pero no el único.

El efecto originado por estos dos factores intenta ser captado en la realización del balance hídrico a través de la transferencia del sobrante hídrico de un mes a otro, en cuantía que varía según la calidad del suelo de la estación manifestada en su capacidad de retención.

A la hora de realizar el balance hídrico habrá que tener en cuenta la relación D/E tomando en consideración esa capacidad de retención del suelo (CR) que determinará si las precipitaciones son o no iguales a las disponibilidades hídricas (D), solo la precipitación (P) es igual a las disponibilidades hídricas reales (D) cuando la CR=0 mm[7] .

Cuando la evapotranspiración (E) es menor que las disponibilidades hídricas (D) la actividad vegetativa puede ser plena, no hay limitaciones por falta de agua.

Así, se entiende por disponibilidades las existencias teóricas de agua en cada periodo, resultado de sumar a las precipitaciones reales, el posible sobrante del mes anterior, limitado, si ha lugar, por la capacidad de retención (CR) a la que no puede superar.

El cálculo del sobrante es, por tanto:
$D= P + S_m -1$ ($S_m -1$= superávit del mes anterior)

si $S > CR \rightarrow D= P + CR$
si $S < CR \rightarrow D= P + S$

La relación entre estos valores puede presentar los siguientes casos:

- D<e. Hay sequía. Aparece un déficit de agua (e-D), que se sumará a aquellos otros acaecidos antes. Este déficit global tendrá que ser compensado posteriormente, puesto que mientras subsista habrá retraso en la actividad vegetativa.
- D> e. No hay sequía. Aparece superávit de agua (D-e) que se consume de forma diferente según que se trate o no de meses influidos por sequías anteriores.

Es decir, si la compensación ha concluido aparece un sobrante, S, que puede emplearse para la nueva actividad vegetativa y que se determina:

$$S = \frac{D - E}{D - e} . Q$$

Esta forma de determinar el sobrante hídrico sólo se aplica en el caso del mes en que se compensa la sequía. Es decir, si D>E, el sobrante es igual a D-E. El excedente pasará al mes siguiente en la medida que permita la capacidad de retención del suelo (CR).
Por tanto:

a. si $D_m > e_m$ entonces la D_m +1 del mes siguiente considerará que $S_m = 0$
b. si $D_m < e_m$, entonces se pasa a la columna de agua disponible (D_m) y en el mes en que se da esta condición se anota el resultado de: $S_m = e_m - D_m$

Los resultados de (s) se acumularán en la columna Σ**s** con los resultados de meses anteriores si los hubiera. En el mes en que (s_m) se haga negativo, o sea $D_m > e_m$, se pasa a la columna $c_m = D_m - e_m$ y se comienza con la compensación.

[7] Primer ejemplo propuesto, páginas siguientes

Periodo de compensación: En el mes de sequía que se cumpla que $D_m > e_m$ se pasa a la columna $c_m = D_m - e_m$ y en la Columna de Σc_m se introduce la acumulación del superávit:

$$\Sigma c_m = \Sigma (D_m - e_m)$$

hasta compensar los déficits acumulados anteriores Σs en un mes dado (m). El mes en que se produce es en el que se culmina la compensación, y se pasa, en ese mismo mes al cierre de la compensación (Q).

El superávit se destina sobre todo a compensar el déficit que pudiera existir, solo cuando esta compensación se haya realizado se dispondrá de una determinada cantidad de agua (Q) para una nueva actividad vegetativa. En ese momento se inicia la actividad vegetativa, que tendrá un cierto retraso (en un primer momento el agua sobrante se destina a recuperar la capacidad de campo del suelo), para medir ese periodo de actividad (inferior al mes completo, puesto que parte de él se ha consumido en la compensación de la sequía) se utiliza la fórmula (Columna de Q en dicho mes (m) en el que la compensación se produzca):

$$Q = \Sigma c - \Sigma s = \text{superávit} = \text{sobrante disponible}$$

En la Columna de (x) en el mes (m), viene dado por:

$$xm = \frac{Q}{Dm - em}$$

Siendo x= periodo de actividad en tanto por uno de mes. Es el periodo de actividad vegetativa sin condicionamiento de sequía, que supone el (%) del mes (m) en el que no hay que compensar ya la sequía y, entonces, IBR = IBL, es decir, la actividad vegetativa ya no está condicionada.

El sobrante en ese mes (m) de la compensación se calculará por:

$$S_m = (D_m - ETP_m) * Q / (D_m - e_m)$$

Este S_m se convierte en el sobrante que se suma a P_m+1 para dar D_m+1 en el mes siguiente (m+1), continuando con las operaciones. Si, excepcionalmente, $S_m < 0$ entonces $S_m = 0$.

2.2.1.1 Ejemplos de cálculo bajo distintas hipótesis para una misma estación climatológica (Atienza, Guadalajara).

1º supuesto: CR=0 mm y W=0% (Tabla IV)

Datos a utilizar | 1º cálculo | 2º cálculo | 3º cálculo

Mes	P	E	e	s=e-D	Σc	c=D-e	Σs	Q	S	D	x
Enero	69	10	2			67				69	
Febrero	70	12	2,4			67,6				70	
Marzo	50	25	5			45				50	
Abril	58	40	8			50				58	
Mayo	62	75	15			47				62	
Junio	59	106	21,2			37,8				59	
Julio	25	141	28,2	3,2	3,2	-3,2				25	
Agosto	20	132	26,4	6,4	9,6	-6,4				20	
Septiembre	45	97	19,4			25,6	25,6	16		45	0,62
Octubre	49	51	10,2			38,8				49	
Noviembre	76	20	4			72				76	
Diciembre	56	10	2			54				56	

Fuente: Elaboración propia

4º cálculo | 5º cálculo

En este supuesto, con nula capacidad de retención por parte del suelo y con escorrentía igual a 0%, la precipitación es igual a la disponibilidad hídrica y, por lo tanto, no hay sobrante. En los meses de julio y agosto hay sequía (D<e), el déficit (e-D) arroja una cifra global (∑) de 9,6 que se compensa en el mes de septiembre. En dicho mes el superávit (D-e) es 25,6 que se destinará por un lado a compensar el déficit anterior y por otro a una nueva actividad vegetativa (Q). Ese periodo de actividad corresponde al 0,62 de mes (x), es decir, teóricamente la compensación se producirá el día 12 de septiembre (0,62 del mes de septiembre que tiene 30 días).

2º supuesto: CR=0mm y W=30% (Tabla V).

Mes	p	E	e	s=e-D	∑s	c= D-e	∑c	Q	S	D	x
Enero	48,3	10	2			46,3				48,3	
Febrero	49	12	2,4			46,6				49	
Marzo	35	25	5			30				35	
Abril	40,6	40	8			32,6				40,6	
Mayo	43,4	75	15			28,4				43,4	
Junio	41,3	106	21,2			20,1				41,3	
Julio	17,5	141	28,2	10,7	10,7	-10,7				17,5	
Agosto	14	132	26,4	12,4	23,1	-12,4				14	
Septiembre	31,5	97	19,4			12,1	12,1			31,5	
Octubre	34,3	51	10,2			24,1	36,2	13,1		34,3	0,36
Noviembre	53,2	20	4			49,2				53,2	
Diciembre	39,2	10	2			37,2				39,2	

Fuente: Elaboración propia

En este segundo ejemplo (hipótesis CR= 0 mm y W= 30%) el procedimiento de cálculo es idéntico al ejemplo anterior. La única diferencia estriba en que el dato de precipitación que se utiliza equivale al 70% del facilitado por la estación meteorológica puesto que se estima que un 30% se pierde por escorrentía. A esta precipitación modificada le llamaremos precipitación disponible: p = Ce*P donde Ce = 1-(W/100)

Se produce un pequeño sobrante que podrá ser aprovechado por la vegetación siempre que no lo impida la E: $S_m = D_m - E_m$

3º supuesto: CR= 100 mm/W= 30% (Tabla VI)

Mes	P	E	e	s=e-D	∑s	c=D-e	∑c	Q	S	D	x
Enero	69	10	2			167			159	169	
Febrero	70	12	2,4			167,6			158	170	
Marzo	50	25	5			145			125	150	
Abril	58	40	8			150			118	158	
Mayo	62	75	15			147			87	162	
Junio	59	106	21,2			124,8			40	146	
Julio	25	141	28,2			36,8				65	
Agosto	20	132	26,4	6,4	6,4	-6,4				20	
Septiembre	45	97	19,4			25,6	25,6	19,2		45	0,75
Octubre	49	51	10,2			38,8				49	
Noviembre	76	20	4			72			56	76	
Diciembre	56	10	2			110			102	112	

Fuente: Elaboración propia.

En este caso D ≠ P puesto que la CR permite un sobrante que en algunos meses habrá de sumarse a las precipitaciones. El balance debe empezarse en el mes de agosto (no hay sobrante ese mes luego D=P). Dicho mes presenta déficit que es compensado teóricamente el 8 de septiembre (x= 0,75 de mes). A partir del mes de noviembre hay sobrante (D>E) que habrá de sumarse a las precipitaciones de los meses siguientes para calcular las disponibilidades hídricas reales.

4º supuesto: CR= ∞/ W=0% (Tabla VII)

Mes	P	E	e	s=e-D	∑s	c=D-e	∑c	Q	S	D	x
Enero	69	10	2			169			161	171	
Febrero	70	12	2,4			228,6			219	231	
Marzo	50	25	5			264			244	269	
Abril	58	40	8			294			262	302	
Mayo	62	75	15			309			249	324	
Junio	59	106	21,2			286,8			202	308	
Julio	25	141	28,2			198,8			86	227	
Agosto	20	132	26,4			79,6				106	
Septiembre	45	97	19,4			25,6				45	
Octubre	49	51	10,2			38,8				49	
Noviembre	76	20	4			72			56	76	
Diciembre	56	10	2			110			102	112	

Fuente: Elaboración propia.

Por último, la hipótesis de capacidad de retención ilimitada sirve para determinar la CRT. Dado que la suma de las precipitaciones es 639 mm y la de las evapotranspiraciones 719 mm (∑ P < ∑ E), la CRT corresponde al mayor sobrante mensual= 262 mm en el mes de abril.

A modo de recapitulación final, los símbolos utilizados en el balance son:

e-D → se utiliza solo cuando este saldo es positivo
D-e→ se utiliza solo cuando este saldo es positivo
c →compensación hídrica
s → sobrante hídrico
∑ → suma acumulada de los valores precedentes
Q → cantidad disponibles, después de compensar la sequía
x → tanto por uno del mes correspondiente, que tiene IBL, cuando se trata del mes en que se compensa la sequía
S → sobrante hídrico del mes
CR → capacidad de retención (en mm)
W → escorrentía (%)

Una vez realizado el balance hídrico puede determinarse a partir de él la situación hídrica de las diferentes estaciones diferenciándose los siguientes estados:

a. Periodo deficitario (D<E), aquel en el que las precipitaciones son inferiores a la evapotranspiración. Ahora bien, si en vez de tener en cuenta sólo las precipitaciones, se parte de las disponibilidades hídricas, el periodo deficitario, es decir, aquel en el que las disponibilidades hídricas del suelo no son suficientes para cubrir las pérdidas derivadas de la evapotranspiración, queda reducido. Se retrasa el comienzo de dicho periodo deficitario en función del excedente retenido en el suelo, que compensa los meses de menor cuantía de las precipitaciones.

Dentro de este periodo deficitario se pueden establecer matizaciones entre:

a1) aquellos meses que, si bien, no alcanzan la situación óptima (es decir D<E), están por encima del mínimo vegetativo (D>e). Hay subsequía acumulada a finales de algunos meses, pero no condicionamiento posterior, no hay sequía
a2) aquellos meses o mes en los que sí se rebasa el umbral mínimo, (D<e) quedando afectadas las reservas del sistema suelo-vegetación más allá del umbral vegetativo, e hipotecando cualquier aporte posterior. Meses de sequía
a3) aquellos meses o mes que presentan unas disponibilidades hídricas idénticas a la precipitación (no hay más agua que la de las lluvias) y son suficientes para paliar la cuantía del mínimo vegetativo (P=D, D>e); por lo tanto, existe un superávit, ahora bien, se trata de un superávit relativo dado que dichas precipitaciones han de compensar la sequía anterior.

b. Periodo de excedentes (D>E), aquel en el que ya se ha superado la situación crítica o deficitaria.

Es posible diferenciar:

b1) aquel mes o meses en los que se recargan las reservas hídricas del suelo, pero sin rebasar el límite de la capacidad de retención,
b2) aquellos meses en los que las transferencias hídricas del suelo son superiores a la capacidad de retención. Por lo tanto, en todos esos meses se suponen unas pérdidas hídricas de diferente cuantía a efectos del balance-
b3) por último estaría el caso de aquellos meses en los que, a pesar de que las lluvias no superan las pérdidas por evapotranspiración potencial, el total almacenado en el suelo las convierte en excedentarias. Son periodos de descarga de las reservas acumuladas.

2.2.2 Método de Thornthwaithe

Frente al método de cálculo del balance hídrico de Montero de Burgos y González Rebollar que consideran una hipótesis de CR en función de la pendiente, y ese factor de ponderación era igual para todos los meses, se plantea la alternativa del uso de una escorrentía específica para cada mes en función de la capacidad de campo que viene dada por las condiciones texturales de la formación superficial y la estructura de la vegetación que soporta. La modificación queda argumentada en base a que para que se produzca la escorrentía, necesita que el suelo se sature, y esta condición es más importante que la existencia o no de pendiente. Por ello se aplica la hipótesis de Thornthwaite para la escorrentía, considerando que esta es diferente para cada mes en función de la textura y la formación vegetal y se utiliza como factor ponderador a cada mes para calcular la precipitación útil. La precipitación útil (p) queda definida como la precipitación mensual ponderada con la escorrentía de ese mes. Es decir, equivale a las disponibilidades hídricas del método de Montero de Burgos y González Rebollar.

De esta manera, se relaciona el balance hídrico con el bioclimático, logrando la interacción entre formaciones superficiales y fenología de las formaciones vegetales, con sus implicaciones fenológicas y ecodinámicas, y alcanzando, de esta manera una aproximación geobotánica cuantificada.

2.2.2.1 Balance hídrico de Thornthwaite-Matter

Los diagramas de balance hídrico se basan en los datos aportados por las tablas de balance de Thornthwhaite y Matter, que parte de los siguientes presupuestos:

a. La profundidad del suelo donde tiene lugar las pérdidas de agua por evapotranspiración viene definida por la profundidad del sistema radical de la vegetación, de tal manera que la capacidad de almacenamiento en agua de esta zona, que es susceptible a la evapotranspiración, está definida por la *capacidad de campo* y el *punto de marchitez*.

Para la obtención del valor de la *capacidad de campo (CC)* se aplica la siguiente fórmula (Tabla VIII): CC = CR * Pr
siendo CR la capacidad de retención en mm/m y Pr la profundidad radicular en m.

Cuando el área tiene un contenido en humedad superior al correspondiente a la capacidad de campo, el exceso (agua gravitacional) lo pierde por gravedad, alimentando las aguas subterráneas y la escorrentía.

b. Si comparamos la precipitación (P) con la evapotranspiración potencial (ETP), se observa que existen meses a lo largo del año en los que P>ETP, y por lo tanto ETR=ETP. La diferencia con la precipitación (P) se utiliza:

1) para que el suelo tenga una humedad equivalente a su capacidad de campo

2) el sobrante, por percolación, irá a la capa freática o escurrirá en superficie.

Tabla VIII. Capacidad de retención según textura de la formación superficial

Textura del suelo	Capacidad de retención (agua utilizable) mm/m	Profundidad radicular m	Capacidad de campo (Agua total utilizable) mm
Cultivos de raíces someras			
Arenoso fino	100	0,50	50
Franco arenoso fino	150	0,50	75
Franco limoso	200	0,62	125
Franco arcilloso	250	0,40	100
Arcilloso	300	0,25	75
Cultivo de raíces de profundidad moderada (cereales)			
Arenoso fino	100	0,75	75
Franco arenoso fino	150	1,00	150
Franco limoso	200	1,00	200
Franco arcilloso	250	0,80	200
Arcilloso	300	0,50	150
Cultivos de raíces profundas (praderas, arbustos)			
Arenoso fino	100	1,00	100
Franco arenoso fino	150	1,00	150
Franco limoso	200	1,25	250
Franco arcilloso	250	1,00	250
Arcilloso	300	0,67	200
Árboles frutales (arbolado, dehesa)			
Arenoso fino	100	1,50	150
Franco arenoso fino	150	1,67	250
Franco limoso	200	1,50	300
Franco arcilloso	250	1,00	250
Arcilloso	300	0,67	200
Bosque cerrado			
Arenoso fino	100	2,50	250
Franco arenoso fino	150	2,00	300
Franco limoso	200	2,00	400
Franco arcilloso	250	1,60	400
Arcilloso	300	1,17	350

Fuente: Elaboración propia.

En los meses en que P<ETP, se cumple que ETP>ETR. Toda la ETP engloba a la precipitación caída en ese mes y a parte de la contenida en el suelo en el mes anterior. Para valorar la cantidad de agua que el suelo cede, se considera actuando sobre él una evapotranspiración real (ETR) equivalente a (ETP-P). El agua que se evapotranspira engloba a la totalidad de la precipitación (P) y parte de la contenida en el suelo (ST).

Para valorar la cantidad de agua que el suelo cede, se considera actuando sobre él la ETR. Experimentalmente se ha visto que esta cesión es inferior a la ETP considerada, siendo menor cuanto más seco es el suelo. Existe pues en el suelo, para cada mes una pérdida potencial acumulada (ppa) y una pérdida real. Para pasar de la perdida potencial a la real Thornthwaite aporta unas tablas (véase Anexo) en las que, para una capacidad de campo dada, se relacionan las pérdidas potenciales acumuladas con la humedad que queda realmente en el suelo. De la misma manera, puede deducirse la cantidad de agua que queda en el suelo, partiendo éste de un contenido de humedad inferior a la capacidad de campo, para diferentes pérdidas potenciales acumuladas.

La diferencia entre ETP y ETR se denomina *déficit de humedad* (Dh), Thornthwaite aporta para ello las Tablas del Anexo en las que se hace referencia a suelos con diferentes capacidades de campo.

c. La *capacidad de almacenamiento del agua en el suelo* (ST) susceptible de evapotranspirarse, está definida por la denominada *capacidad de campo (CC).* El *exceso de humedad* (S) sólo aparece cuando P- ETP > 0

   De tal manera que queda definida como la diferencia positiva de P- (ETP + ΔST))

d. Si el *exceso de humedad* es superior a la *capacidad de campo* aquel se pierde por gravedad, alimentando el acuífero y la escorrentía, de manera que siempre y cuando exista (S), de manera general el 50% del sobrante del mes más el 50% de la escorrentía del mes anterior alimentan la escorrentía para el mes, según los resultados empíricos de Thornthwaite y Matter:

$$R_m = 0.5\ (S_m + R_{m-1})$$

Elementos del balance hídrico y proceso de cálculo:

t_m,	Temperatura media mensual en ºC
ETP,	Evapotranspiración potencial en mm
P,	Precipitación media mensual en mm
P-ETP,	Pérdidas o adiciones potenciales de humedad en el suelo
ppa,	Pérdidas potenciales acumuladas
ST,	Agua almacenada en el suelo
ΔST,	Cambios del agua almacenada en el suelo
ETR,	Evapotranspiración real
S,	Excedente de humedad
Dh,	Déficit de humedad
R,	Escorrentía total
DT,	Detención de humedad

2.2.2.2 Proceso de cálculo

Para la elaboración de los datos solo se precisa de las temperaturas medias mensuales (t_m) y los valores mensuales de precipitación (P) de las estaciones termopluviométricas, así como conocer la cubierta vegetal y la textura del suelo para determinar por las tablas la capacidad de campo. Para el procedimiento se ha seguido la regla de cálculo descritas en el manual de Hidrología de superficie de López Cadenas y Mintegui (1986). Para la ejecución del balance hídrico de forma automatizada el Prof. José Ramón Martínez Batlle, de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (República Dominicana) con R. Cámara desarrollaron una plantilla en Excel para su cálculo que se puede descargar en https://www.geografiafisica.org/2012/09/17/plantilla-para-el-calculo-del-balance-hidrico-y-el-diagrama-bioclimatico/.

En dicha web hay un documento de apoyo para la instalación y la introducción de datos: https://www.geografiafisica.org/wp-content/uploads/2013/11/guia_uso_hidrobio.pdf. Para su ejecución es imprescindible que exista el dominio C:\Program Files\Microsoft Office\Templates\Spreadsheet Solutions, y que se permitan en Excel la ejecución de macros.

a) Cálculo de la ETP.

$$ETP_m\ (mm) = 16\ (10t_m/I)^a$$

donde (I) es el índice de calor anual: $I = \Sigma^{12}\ (t_m/5)^{1,514}$
y (a) la constante local del índice (I): $a = 675\ (I*10^{-3})^3 - 77,1(I*10^{-3})^2 + 1792(I*10^{-5}) + 0,49329$.

El valor obtenido de ETP_m es corregido para cada mes según la latitud en que se encuentre la estación termopluviométrica observando la tabla siguiente por Dunne y Leopold (1978) (Tabla VIII). El cálculo de la ETP corregido de un mes se obtiene mediante un coeficiente que tenga en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud. Para ello se introduce el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas, que deberá multiplicar a la ETP para obtener la ETP según Thornthwaite (mm/mes) final:

$$ETP_m\ (corregida) = ETP_m \times L_i\ (mm/mes)$$

Donde: ETP_m : evapotranspiración mensual en mm
L_i : factor de corrección del número de días del mes (Nd_i) y la duración astronómica del día N_i (horas de sol):
$L_i = Nd_i/30 \times N_i/12$

Tabla IX. Factor de corrección de la ETP estándar en función de la latitud (Dunne y Leopold, 1978)

	EN	FB	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	OC	NV	DC
60ºN	0.54	0.67	0.97	1.19	1.33	1.56	1.55	1.33	1.07	0.84	0.58	0.48
50ºN	0.71	0.84	0.98	1.14	1.28	1.35	1.33	1.21	1.06	0.90	0.76	0.68
40ºN	0.80	0.89	0.99	1.10	1.20	1.25	1.23	1.15	1.04	0.93	0.83	0.78
30ºN	0.87	0.93	1.00	1.07	1.14	1.17	1.16	1.11	1.03	0.96	0.89	0.85
20ºN	0.92	0.96	1.00	1.05	1.09	1.11	1.10	1.07	1.02	0.98	0.93	0.91
10ºN	0.97	0.98	1.00	1.03	1.05	1.06	1.05	1.04	1.02	0.99	0.97	0.96
0º	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10ºS	1.05	1.04	1.02	0.99	0.97	0.96	0.97	0.98	1.00	1.03	1.05	1.06
20ºS	1.10	1.07	1.02	0.98	0.93	0.91	0.92	0.96	1.00	1.05	1.09	1.11
30ºS	1.16	1.11	1.03	0.96	0.89	0.85	0.87	0.93	1.00	1.07	1.14	1.17
40ºS	1.23	1.15	1.04	0.93	0.83	0.78	0.80	0.89	0.99	1.10	1.20	1.25
50ºS	1.33	1.19	1.05	0.89	0.75	0.68	0.70	0.82	0.97	1.13	1.27	1.36

Fuente: Elaboración propia a partir de Dunne y Leopold, 1978.

b) Cálculo de P - ETP
Los valores positivos (+) corresponde a adiciones potenciales de humedad y los negativos (-) a pérdidas potenciales de humedad.

c) Cálculo de la pérdida potencial acumulada al final de cada mes (ppa).

c.1) para todo mes que $(P\text{-}ETP)_m > 0$ entonces $ppa_m = 0$ (de forma general)
c.2) para todo mes que $(P\text{-}ETP)_m < 0$ entonces $ppa_m = ppa_{m-1} + (P\text{-}ETP)_m$ y en este caso se inicia el cálculo por el primer mes en que $(P\text{-}ETP)_m < 0$

d) Cálculo de agua capilar contenida en el suelo (ST).
Su límite superior es la capacidad de campo (CC) que ha de determinarse para cada estación termopluviométrica, cada formación superficial y cada formación vegetal.

d.1) para los meses en los que $(P\text{-}ETP)_m > 0$ entonces:

$$ST_m = ST_{m-1} + (P\text{-}ETP)_m$$

el cálculo se inicia por el primer mes en que $(P\text{-}ETP)_m > 0$ considerando como hipótesis solo para este mes que $ST_{m-1} = 0$

d.2) para los meses en que $(P\text{-}ETP)_m < 0$ los valores de (ST) se obtienen a partir de los de las ppa siguiendo las Tablas de ppa/ST de Thornthwaite (Anexo) para una capacidad de campo (CC) antes determinada para la estación, formación superficial y vegetal considerada. Los valores de la 1ª fila y columna son los de la (ppa) y el resto de las filas y columnas centrales los valores de (ST) que le corresponden. A cada ppa de un mes con pérdida potencial de humedad $(P\text{-}ETP)_m < 0$ le corresponde para una (CC) dada, un valor de (ST) en la tabla.

Es importante tener en cuenta la siguiente consideración: Observar el último mes en que $(P\text{-}ETP)_m > 0$.

- si ST > = CC, entonces ST = CC.

En este caso se continúa con el cálculo del resto de los meses ya explicado en el apartado d.2, hasta alcanzar el periodo en que $(P\text{-}ETP)_m > 0$ y se sigue el procedimiento indicado en d.1, solo que ahora ya se conoce el valor de ST_{m-1}.

- si ST < CC, se considera la hipótesis siguiente:

Se busca en las Tablas ppa/ST (según su CC) (Anexo) el valor de la ppa que le corresponde al de esta ST (en el centro de la tabla). Este valor de ppa se substituye en el balance para dicho mes (anteriormente era 0), y se calculan para los meses siguiente las nuevas ppa y los valores de ST que le corresponden, hasta llegar de nuevo al mes en que se inició la hipótesis.

Así se realizan sucesivos ciclos hasta que:

- se alcanza en dicho mes ST >= CC
- ST del primer mes de la hipótesis en el último ciclo realizado es igual al del ciclo anterior

En estos casos el ciclo queda cerrado y los valores del balance para (ppa) y (ST) son los obtenidos en el último ciclo.

Ejemplo (Resultado en la Tabla X):

CC = 300 mm (Tabla 9 del Anexo)

(1) Se inicia el cálculo rellenando la ppa del primer mes seco, es decir, aquel en el que (P-ETP) < 0, en nuestro ejemplo mayo.

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	84	91	83	45	-1	-40	-44	-25	-15	33	50	91
ppa	0	0	0	0	-1 (1)					0	0	0
ST												

(2) se rellena la ppa hasta el último mes seco (en nuestro caso septiembre) según la fórmula $ppa_m = ppa_{m-1} + (P\text{-}ETP)_m$,

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	84	91	83	45	-1	-40	-44	-25	-15	33	50	91
ppa	0	0	0	0	-1	-41	-85	-110	-125 (2)	0	0	0
ST												

(3) Se inicia el cálculo de ST por el último mes en que P-ETP < 0 (mes de septiembre), buscando el valor que le corresponde a ST en la tabla (buscar por primera columna y primera fila, los valores centrales de la tabla donde se cruza el valor de la primera columna con la primera filan son los ST para esa ppa), para una ppa de 125 (buscar en la tabla correspondiente a RETENCION DEL AGUA DEL SUELO – 300 mm, tabla nº8, ya que CC es igual a 300 mm.

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	84	91	83	45	-1	-40	-44	-25	-15	33	50	91
ppa	0	0	0	0	-1	-41	-85	-110	-125	0	0	0
ST									197 (3)			

(4) Se llega en ST al último mes en que P-ETP>0 que es ST=135, según la fórmula $ST_m = ST_{m-1} + (P\text{-}ETP)_m$

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	84	91	83	45	-1	-40	-44	-25	-15	33	50	91
ppa	0	0	0	0	-1	-41	-85	-110	-125	0	0	0
ST	300	300	300	300(4)					197	230	285	300

Al alcanzarse la capacidad de campo en diciembre el ciclo se considera cerrado. Los valores definitivos de ST serán:

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	84	91	83	45	-1	-40	-44	-25	-15	33	50	91
ppa	0	0	0	0	-1	-41	-85	-110	-125	0	0	0
ST	300	300	300	300	299	261	225	207	197	230	285	300

Que han sido buscados en la tabla RETENCION DEL AGUA DEL SUELO – 300 mm, tabla nº8, del Anexo para cada valor de ppa en los meses de mayo a agosto, y se alcanzan los valores expuestos en la Tabla IX.

Si no se alcanza la capacidad de campo, y se procede entonces a la hipótesis, considerando que se sustituye la ppa de ese mes por el valor que le corresponde a una ST. Para ello se expone aquí un ejemplo alternativo, para una capacidad de campo de 200 (tabla 7 del anexo)

(1) Se inicia el cálculo rellenando la ppa del primer mes seco, es decir, aquel en el que (P-ETP) < 0, en nuestro ejemplo febrero.

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	23
ppa	0	-19(1)						0	0	0	0	0
ST												

(2) se rellena la ppa hasta el último mes seco (en el ejemplo julio), según la fórmula $ppa_m = ppa_{m-1} + (P\text{-}ETP)_m$,

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	23
ppa	0	-19	-49	-132	-207	-252	-259(2)	0	0	0	0	0
ST												

(3) Se inicia el cálculo de ST por el último mes en que P-ETP < 0 (mes de julio), buscando el valor que le corresponde a ST en las tablas, para una ppa de 259 (buscar en la tabla correspondiente a RETENCION DEL AGUA DEL SUELO – 200 mm, tabla nº7 del anexo, ya que CC es igual a 200 mm.

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	23
ppa	0	-19	-49	-132	-207	-252	-259	0	0	0	0	0
ST							54(3)					

Se llega en ST al último mes en que P-ETP>0, que es ST=135, según la fórmula $ST_m = ST_{m-1} + (P\text{-}ETP)_m$

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	23
ppa	0	-19	-49	-132	-207	-252	-259	0	0	0	0	0
ST	135(4)						54	68	82	93	104	127

(4) En el ejemplo no alcanza la capacidad de campo, y se procede entonces a la hipótesis, sustituyendo la (ppa) de ese mes por el valor que corresponde a una ST = 135 que es ppa = 78. Este valor se ha buscados en la tabla RETENCION DEL AGUA DEL SUELO – 200 mm, tabla nº7 del anexo, en la primera columna los valores de decenas y centenas, y en la primera fila los valores de unidades.

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P- ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	23
ppa	-78(5)											
ST												

(5) Se procede a continuación a rellenar los valores de ppa, según la fórmula $ppa_m = ppa_{m-1} + (P\text{-}ETP)_m$, hasta el último mes en que P – ETP < 0

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	23
ppa	-78	-97	-127	-210	-285	-330	-337(6)					
ST												

(6) Para ese mes, julio, al igual que se hizo en la vuelta anterior, se busca qué valor le corresponde de ST a una ppa de 337 (ver punto 3), que en este caso es 36.

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	23
ppa	-78	-97	-127	-210	-285	-330	-337	0	0	0	0	0
ST							36(7)					

(7) (Se procede a continuación a rellenar los valores de ST según la fórmula $ST_m = ST_{m-1} + (P\text{-}ETP)_m$, tal como se hizo en el punto (4), hasta llegar a un valor de ST para enero, último mes con P – ETP > 0, de 117.

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	23
ppa	-78	-97	-127	-210	-285	-330	-337	0	0	0	0	0
ST	117(8)						36	50	64	75	86	109

(8) como la ST para este mes sigue sin alcanzar la capacidad de campo, ni se repite el valor de ST para ese mes con respecto al ciclo anterior, que era 135, se continua el ciclo, buscando el valor de ppa en la tabla que corresponde a ST=117, tal como se hizo en el punto (5), que para este caso es ppa = 110.

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	23
ppa	-110(9)											
ST	117											

(9) Se rellenan los valores de ppa, igual que se hizo en (6) hasta llegar al último mes en que P -ETP < 0.

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	23
ppa	-110	-119	-149	-232	-307	-352	-359(10)	0	0	0	0	0
ST												

(10) Se procede al igual que en el punto (8).

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	23
ppa	-110	-119	-149	-232	-307	-352	-359	0	0	0	0	0
ST	113(11)						32	46	60	71	82	105

(11) No se alcanza la Capacidad de Campo ni se repite el valor de ST para ese mes con respecto al ciclo anterior, que era 117. El valor de ppa, para ese último mes húmedo, que le corresponde a un ST= 113, es ppa = 113 (ver tabla). Por lo que se repite de nuevo el ciclo, tal como se ha explicado en los pasos (5), (6), (7) y (8), alcanzándose ahora el valor de ST=111 para el último mes en que P –ETP > 0.

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	23
ppa	-113	-132	-162	-245	-320	-365	-372	0	0	0	0	0
ST	111(12)						30	44	58	69	80	103

(12) No se alcanza la una vez más la Capacidad de Campo, ni se repite el valor de ST para ese mes con respecto al ciclo anterior que era 113. El valor de ppa, para ese último mes húmedo, que corresponde a un ST= 111, es ppa = 116 (ver tabla). Por lo que se repite de nuevo el ciclo, tal como se ha explicado en los pasos (5), (6), (7) y (8), alcanzándose ahora el valor de ST=111 para el último mes en que P –ETP > 0.

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P-ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	23
ppa	-116	-135	-165	-248	-323	-368	-375	0	0	0	0	0
ST	111(13)						30	44	58	69	80	103

(13) No se alcanza, una vez más, la Capacidad de Campo, pero esta vez sí se repite el valor de ST para ese mes con respecto al ciclo anterior, que era 111. Al repetirse dos veces consecutivas el mismo valor de ST para el último mes en que (P-ETP) > 0 el ciclo se considera cerrado. Los valores definitivos de ST serán:

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	
P-ETP	8	-19	-30	-83	-75	-45	-7	14	14	11	11	
ppa	-114	-133	-163	-246	-321	-366	-373	0	0	0	0	
ST	111	102	88	58	39	31	30	44	58	69	80	

Que han sido buscados en la tabla nº7 del Anexo "Retención del agua del suelo" – 200 mm, **,** para cada valor de ppa en los meses de febrero a julio.

e) Cálculo de cambios de la humedad almacenada en el suelo (ΔST) (se sigue con el cálculo para la obtención de datos de la tabla IX)

$$\Delta ST = ST_m - ST_{m-1}$$

f) Cálculo de la evapotranspiración real (ETR_m)

a) si $P_m > ETP_m$ entonces $ETR_m = ETP_m$

b) si $P_m < ETP_m$ entonces $ETR_m = P_m + |\Delta ST|$

g) Cálculo del déficit de humedad (Dh_m).

$$Dh_m = ETR_m - ETP_m$$

h) Cálculo del exceso de humedad o excedente (S_m).

Sólo cuando $P_m - ETP_m > 0$ y si $ST_m = CC$, entonces $S_m = P_m - (ETR_m + \Delta ST)$

i) Cálculo de la escorrentía de agua (R).

Sólo existirá escorrentía en aquellos meses en que P – ETP > 0 y se cumpla que la ST ha alcanzado la capacidad de campo. Cuando estas dos condiciones se den se produce R_m. Para el primer mes que se alcance la Capacidad de Campo, y por lo tanto exista escorrentía, esta se calculará (solo para este primer mes):

$$R_m = 0.5(S_m + R_{m-1})$$

Si existe sobrante en todos los meses será necesario realizar un ciclo para que los datos se retro alimenten. El ciclo se terminará cuando se repitan los valores.

Para el cálculo del diagrama bioclimático de Montero y González, a partir de Thornthwaite, según Cámara (2019), el cálculo de la precipitación útil (p) del balance bioclimático se obtiene para cada mes según la escorrentía mensual de dicho periodo extraída del balance hídrico de Thornthwaite:

$$p = Ce * P \quad \text{de tal manera que:} \quad Ce = 1 - (R\%/100).$$

siendo R% tanto por ciento de escorrentía respecto al agua precipitada

j) Calculo de la detención de humedad

Es la totalidad del agua existente en el suelo que permanece en superficie. Su valor medio para todo el año sería equivalente al agua existente en el subsuelo.

$$DT_m = ST_m + Eh_m + R_m - R_{m-1}$$

Tabla X. Resultado del balance hídrico de Thornthwaite. Ejemplo de tabla de balance hídrico extraído de López Cadenas y Mintegui (1986)

Mes	T	ETP	P	P - ETP	ppa	ST	⊠ST	ETR	Dh	S	R
EN	0.9	3	87	84	0	300	0	3	0	84	59
FB	1.2	2	93	91	0	300	0	2	0	91	75
MZ	5.9	19	102	83	0	300	0	19	0	83	79
AB	11.3	43	88	45	0	300	0	43	0	45	62
MY	17.5	93	92	-1	-1	299	-1	93	0	0	31
JN	22.3	131	91	-40	-41	261	-38	129	-2	0	15
JL	24.7	156	112	-44	-85	225	-36	148	-8	0	8
AG	23.7	138	113	-25	-110	207	-18	131	-7	0	4
SP	20.2	97	82	-15	-125	197	-10	92	-5	0	2
OC	14	52	85	33	0	230	33	52	0	0	1
NV	7.6	20	70	50	0	280	50	20	0	0	1
DC	2.3	2	93	91	0	300	20	2	0	71	36
Total		756	1108	352				734	-22	374	374

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Cálculo de las Intensidades Bioclimáticas

El método de los diagramas bioclimáticos se basa en dos conceptos fundamentales: "disponibilidades hídricas" y "temperaturas básicas". Para la determinación del primero de estos dos conceptos se utiliza el balance hídrico que acaba de ser comentado.

En cuanto al segundo, la cuantificación de las temperaturas básicas o temperaturas umbrales, los autores de este método (Montero y González, 1974) fijan, para la actividad forestal, una temperatura mínima de 7,5 ºC, considerando este nivel como "máxima actividad vegetativa estable" y denominan Intensidad Bioclimática Potencial (IBP) al área comprendida entre la curva de temperaturas medias mensuales y la recta correspondiente a 7,5ºC, es decir a la suma de temperaturas por encima de este mínimo, expresada en unidades bioclimáticas (ubc), equivalente a 1 ubc=5ºC * 1 mes, siendo

$$IBP = \frac{t - 7{,}5\ ºC}{5}$$

donde t= temperatura media mensual

Dicha Intensidad Bioclimática Potencial (IBP) puede desglosarse en IBP cálida cuando la t>7,5 ºC e IBP fría con t< 7,5 ºC.

Se realiza a partir de la poligonal de temperaturas medias mensuales, y se define una temperatura mínima (7,5 °C), que es aproximadamente a partir de la que existe un amplio rango térmico en donde tienen existencia los montes arbolados, y a partir del cual se comienza a dar la actividad vegetativa de las plantas, considerando que no existen otras limitaciones edáficas o climáticas.

La IBP depende exclusivamente de la temperatura. Hasta este momento, se considera que la humedad es suficiente para que las plantas desarrollen su actividad vegetativa. Esta situación en climas mediterráneos solo es asumible en los meses más húmedos del año, en los que las disponibilidades agua superan las demandas de la evapotranspiración potencial.

Posteriores investigaciones del profesor Montero de Burgos se centraron en el establecimiento de un nuevo Diagrama Bioclimático basado en la radiación, ya comentado, y no en la temperatura; ello posibilitaba la incorporación de una variable fundamental como es el ángulo de orientación del biotopo.

Una vez obtenidas las disponibilidades hídricas (D), la evapotranspiración potencial (E) y la residual (e) (véase apartado anterior dedicado al balance hídrico) es posible estimar los coeficientes de pluviosidad (Cp) y, a partir de ellos, abordar el cálculo de las diferentes intensidades bioclimáticas.

Con el coeficiente de pluviosidad o coeficiente de disponibilidades hídricas se puede cuantificar en primer lugar el valor de la Intensidad Bioclimática Real (IBR) o actividad vegetativa real.
Se calcula mediante el cociente entre las diferencias de D o E respecto a e.

$$Cp = \frac{D - e}{E - e}$$

Se establece así la proporción, en tanto por uno, del agua que se emplea en la actividad vegetativa respecto a las exigencias de la actividad completa o total, una vez descontadas de ambas, la evapotranspiración residual.

- cuando D=E, es decir cuando las disponibilidades hídricas igualan a las exigencias de la evapotranspiración potencial Cp=1;
- al contrario, cuando D=e o lo que es lo mismo cuando las disponibilidades hídricas equivalen a la evapotranspiración residual Cp=0

El cálculo de las intensidades bioclimáticas a partir del coeficiente de pluviosidad (Cp) se realiza de la forma siguiente:

- Si Cp>1: indica mayor disponibilidad hídrica de la necesaria para la plena actividad vegetativa o lo que es lo mismo no existe limitación hídrica (D>E) y la producción o actividad vegetal se ve limitada únicamente por la temperatura. Entonces IBR=IBP, es decir la intensidad bioclimática potencial se corresponde con la producción real.
- Cuando 1>Cp>0, la limitación hídrica es parcial (D<E pero D>e), se está en el periodo comprendido entre el máximo de actividad vegetativa posible y el momento de paralización. La producción real se reduce con respecto a la intensidad bioclimática potencial. Ahora la IBR=Cp * IBP.
- Si Cp<0 la limitación hídrica es total, no se cubren las necesidades mínimas y, por lo tanto, se produce paralización vegetativa. Por consiguiente, el valor de IBR es negativo y recibe el nombre de Intensidad Bioclimática Seca (IBS), pudiendo ser considerada como una medida de sequía desde el punto de vista bioclimático. IBS=IBP * Cp.

La intensidad Bioclimática Real (IBR) puede ser desglosada en dos, dado que existe una diferencia evidente entre la actividad vegetativa otoñal y la primaveral. Dicho de otra forma, habrá una determinada época del año en donde la actividad vegetativa estará condicionada por una sequía anterior (la estival), ya que, fitológicamente, tras una sequía, es necesaria una recuperación de la humedad perdida en exceso por la vegetación[8]. Existe, por lo tanto, una sequía que ha de ser compensada. Dicha compensación se simula tomando como base la evapotranspiración residual, cuyo déficit acumulado ha de ser resarcido antes de que se reinicie la actividad vegetativa en otoño.
Surge así en la IBR dos intensidades bioclimáticas:

- Una intensidad Bioclimática Libre de la influencia de la sequía (IBL). IBL=IBR o bien IBL=IBR * x (para el cálculo de x véase el balance hídrico).

[8] Esa recuperación será mayor en el caso de la masa arbórea ya que el crecimiento o la actividad vegetal de la masa de bosque se inicia, después de la sequía, con cierto retraso respecto al de la cubierta herbácea.

- Una intensidad Bioclimática Condicionada por la sequía anterior (IBC) que solo puede ser aprovechada por la vegetación inferior, como la herbácea. IBC= IBR-IBL.

Así pues, la IBL es representativa, potencialmente, de la presencia de arbolado, y la falta de IBL en un diagrama resulta indicador de la imposibilidad de existencia de bosque en la estación que representa. "Una IBL pequeña, menor de 1,5 ubc., coincide con vegetación de tipo arbustivo o con arbolado de lento crecimiento" (Montero de Burgos y González Rebollar, 1974, p. 50). La IBC indica la falta de actividad vegetativa en la vegetación arbórea.

En trabajos posteriores (Montero de Burgos 1984) establece otra Intensidad Bioclimática a la que se denomina subseca (ISS) que sería el resultado de:

$$ISS = IBP - IBR$$

Tabla XI. Ejemplo: Cálculo de los índices bioclimáticos en el 1º supuesto: CR=0 mm y W=0%

Mes	D-e	E-e	Cd	T	T-7.5	B (IBP)	b (IBR; IBF o IBS)	x	b_c (IBC)	b_L (IBL)
Enero	67	8	8.38	3.5	-4	-0.80	-0.80			
Febrero	67.6	9.6	7.04	4.2	-3.3	-0.66	-0.66			
Marzo	45	20	2.25	6.5	-1	-0.20	-0.20			
Abril	50	32	1.56	9.3	1.8	0.36	0.36			0.36
Mayo	47	60	0.78	13.7	6.2	1.24	0.97			0.97
Junio	37.8	84.8	0.45	18.3	10.8	2.16	0.96			0.96
Julio	-3.2	112.8	-0.03	22.6	15.1	3.02	-0.09			
Agosto	-6.4	105.6	-0.06	22.6	15.1	3.02	-0.18			
Septiembre	25.6	77.6	0.33	19.5	12	2.40	0.79	0.62	0.58	0.21
Octubre	38.8	40.8	0.95	12.7	5.2	1.04	0.99			0.99
Noviembre	72	16	4.50	6.9	-0.6	-0.12	-0.12			
Diciembre	54	8	6.75	3.6	-3.9	-0.78	-0.78			

Fuente: Elaboración propia.

Columna de $E_m - e_m$ y $D_m - e_m$: se completa con los valores obtenidos del balance

$$ETP_m - e_m \text{ y } D_m - e_m$$

Columna de Cd:
En esta columna se calcula el coeficiente de disponibilidad hídrica que resulta del cociente de las dos anteriores columnas:

$$Cd_m = (D_m - e_m)/(E_m - e_m)$$

Columna de T_m - 7,5
Se realiza el cálculo que encabeza la columna T_m - 7,5

Columna de B
Se calcula aquí la intensidad bioclimática potencial (IBP), de tal manera que:

$$IBP_m = (T_m - 7{,}5)/5$$

Columna de b
Se obtiene la intensidad bioclimática real (IBR) cuyo valor total es la suma de los valores positivos de la columna b:

$$IBR_m = IBP_m * Cd_m$$

Si excepcionalmente IBR > IBP entonces hacer IBR = IBP
Cuando la b se halle en sequía (*paralización vegetativa por causas hídricas*) incorporará el signo negativo, al igual que en periodo de paralización por heladas (*paralización vegetativa por causas térmicas*), durante el cual la B también es negativa. Así, la IBS (intensidad bioclimática seca) será

la suma de los valores negativos en b cuando B es positivo, y la IBF (intensidad bioclimática fría) será la suma de los valores negativos en b si B también es negativo.

Columna de bl
Representa la IBL. Se calcula antes, aunque su orden lógico es el que figura en la tabla. Solo existe cuando los valores de (b) son positivos y bc = 0; su valor es equivalente al de (b) excepto en el mes en que la columna (x) tiene valor, el mes de compensación, en el que: $bl_m = x_m * b_m$

Columna de bc
Representa la intensidad bioclimática condicionada (IBC) que aparece a partir de que los valores de b en la sequía o en la helada se vuelven positivos, tomando a partir de entonces los mismos valores de (b) hasta la compensación. Sólo se da en período de sequía y en el de heladas. En el mes de compensación: $bc_m = b_m - bL_m$

2.3.1 Cálculo de las temperaturas básicas

La Temperatura Básica de cada Intensidad Bioclimática (Tm) se define como la media ponderada de las temperaturas medias y las Intensidades Bioclimáticas de cada mes. Es, por lo tanto, la expresión de la temperatura más característica de cada periodo, bioclimáticamente hablando. Representa un promedio térmico ponderado.

Conocer las temperaturas básicas permite establecer correlaciones entre ellas y la presencia de determinadas especies. "Por ejemplo si una especie concreta tiene su máxima actividad vegetativa a la temperatura Ta, es decir si su óptimo térmico se corresponde con la temperatura ambiental Ta, es claro que esa especie vegetará mejor en climas en que la temperatura más frecuente de las IBP parciales se acerque a ese valor" (Montero de Burgos y González Rebollar 1974, p. 22).

Cada temperatura mensual queda afectada por un coeficiente que es el valor de su propia IB. Así, las temperaturas de mayor repercusión biológica, de mayor IB, contribuyen al cálculo de promedio, en mayor medida que otras, incluso del mismo orden, pero de mucha menor Intensidad Bioclimática. La fórmula para cualquier periodo es

$$Temp.\,Básica = \frac{suma\ de\ productos\ T * IB\ mensuales}{suma\ de\ IB\ mensuales}$$

Así puede diferenciarse entre:

Temperatura Básica potencial cálida $\frac{\sum TB\ (positivas)}{\sum B\ (positivas)}$

Temperatura Básica potencial fría $\frac{\sum TB\ (negativas)}{\sum B\ (negativas)}$

Temperatura Básica real $\frac{\sum Tb.(mensuales)}{\sum b}$

Temperatura Básica libre $\frac{\sum TbL\ \ (mensuales)}{\sum bL}$

Temperatura Básica condicionada $\frac{\sum Tbc\ (mensuales)}{\sum bc}$

Temperatura Básica seca $\frac{\sum Tbs\ (negativas)}{\sum bs\ (negativas)}$

La Temperatura Básica de la IBR (TbIBR) es la temperatura bioclimática que define ese clima, y, por lo tanto, la de las especies que se encuentran en el sector donde se desarrolla con dicho clima, en la cual alcanzan su máximo vegetativo.

Tabla XII. Ejemplo Cálculo de las Temperaturas Básicas para la estación de Atienza para el supuesto CR=100mm y W=0%.

ESTACION	T.B.P. cálida ºC	T.B.P. fría ºC	T.B.R. ºC	T.B.L. ºC	T.B.C. ºC	T.B.S. ºC
Atienza	19,36	4,10	16,88	16,80	19,5	22,6

Fuente: Elaboración propia
TBP cálida= Temperatura Básica potencial cálida
TBP fría= Temperatura Básica potencial fría
TBR = Temperatura Básica real
TBL = Temperatura Básica libre
TBC = Temperatura Básica condicionada
TBS = Temperatura Básica seca

2.3.2 Coeficientes de sequía y subsequía

Se calculan a partir de las Intensidades Bioclimáticas y reflejan la limitación de la producción potencial vegetal en función de los déficits hídricos, a dos niveles, antes de la paralización vegetativa (subsequía) y rebasado este nivel (sequía).

Según Montero de Burgos y González Rebollar (1974) la transferencia de la Intensidad Bioclimática Potencial (IBP) a la Intensidad Bioclimática Libre (IBL), cuando hay limitaciones de humedad, se puede medir a través del coeficiente de pluviosidad (Cp).

Cuando:

- Cp> 1 se dispone de más agua de la necesaria, no existe limitación hídrica de la producción (máxima actividad vegetativa).
- 1>Cp>0 se está en el periodo comprendido entre el máximo de actividad y el momento de la paralización vegetativa por limitación hídrica (subsequía).
- Cp<0 se ha rebasado el punto de paralización vegetativa (sequía).

A partir de lo expuesto definen ambos coeficientes como

- Coeficiente de subsequía $CSS = \frac{IBP-IBL}{IBP}$
- Coeficiente de sequía $CS = \frac{IBP-IBS}{IBP} - 1$

Si un mes presenta IBS se calculará el coeficiente de sequía y en su defecto, el coeficiente de subsequía (CSS), que oscilará entre 0 y 1, definiendo así el grado de subsequía. El CS será superior a la unidad según el grado de sequía (son valores mensuales).

Tabla XIII. Ejemplo Cálculo de los Coeficientes de Sequía y Subsequia para la estación de Atienza para el supuesto CR=100mm y W=0%

ESTACION	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
Atienza	CP>1	CP>1	CP>1	CP>1	CP>1	CP>1	CSS= 0,67	CS=0,16 CSSS=1,06	CSS=0,75	CSS=0,05	CP>1	CP>1

CS= Coeficiente de sequía. CSS= coeficiente de subsequía

Fuente: Elaboración propia

No hay que olvidar que la finalidad de este método es eminentemente forestal y, por lo tanto, es muy utilizado en la preparación del suelo para las reforestaciones, elección de especies, etc. Así en la elección de especie los factores que intervienen en la decisión serían entre otros: el factor sequía, representado por la IBS del periodo cálido y que va a actuar como un factor limitante a la estabilidad de las especies; y el factor térmico representado por la Tm de la IBL. La Tm libre es utilizada en el estudio de áreas naturales como indicador diferencial de las distintas especies arbóreas. Ello se debe a que dichas especies localizadas en una estación con IBS cálida menor al valor limitante, es decir, satisfechas sus necesidades mínimas de agua, tienen en la temperatura a la cual realizan sus funciones a plena actividad vegetal un factor decisivo o "determinante" (García Salmerón, 1980 p.30).

2.3.3 Principales índices para el estudio del ámbito climático de una especie

Según Montero de Burgos (1984) serían

- IBS como medida de sequía. Se establece la correlación entre la Intensidad Bioclimática Seca y el máximo de sequía que puede soportar determinada especie vegetal. Aunque el diagrama detecte sequía debe estudiarse la ISS (Intensidad Bioclimática Sub-Seca)
- IBF, como medida del frio, es decir del grado de paralización vegetativa.
- IBL, como medida de la productividad forestal, de origen climático. Se puede obtener la correlación entre la IBR o la IBL y la producción de biomasa de distintas especies (arbóreas o subarbóreas).
- TmL, temperatura básica de la IBL. Determinando la relación existente entre ella y el óptimo de temperatura a la que vegeta una especie concreta.
- La irregularidad climática medida a través del coeficiente de variación de las lluvias anuales, que matizará el valor estadístico de un índice del diagrama, que es un promedio climático.
- La CRT como medida de la dificultad de alcanzar la clímax climácica de la estación.

Los diagramas bioclimáticos son también un índice válido para determinar la productividad potencial forestal. Así, a partir de la unidad básica de media de las Intensidades Bioclimáticas (ubc o unidad bioclimática), se establece que cada especie vegetal tiene una determinada capacidad para transformar su materia en unidades bioclimáticas. Dicha capacidad se mide mediante el "coeficiente de transformación bioclimática" que indica la cantidad de materia vegetal que se producen en una determinada especie por cada ubc. Así se establece como medidas de productividad:

- La *Intensidad Bioclimática Potencial* IBP, que mide la productividad de un clima en regadío. El crecimiento de una especie con pleno aprovechamiento de suelo sin limitaciones de humedad ni de otros factores será proporcional a la *IBP cálida* de cada año, que será la actividad vegetativa máxima posible en un clima determinado.
- La *Intensidad Bioclimática Real* IBR, que mide la productividad en secano. Se corresponde con la actividad vegetativa real en un clima, determinada por la evapotranspiración y los procesos edáficos.
- Y, como ya se ha indicado, la IBL, que establece la productividad forestal.

2.4 Representación gráfica: El diagrama bioclimático

2.4.1 Antecedentes

La representación gráfica de los diagramas bioclimáticos obliga al análisis de otros que han sido muy utilizados en las diferentes investigaciones realizadas sobre el medio natural: los denominados diagramas ombrotérmicos. Están en la base de la metodología desarrollada posteriormente por Montero y González y gozan de un amplio predicamento entre la comunidad científica. Raro es el trabajo de investigación o el proyecto de ordenación del territorio que a la hora de caracterizar el clima de un determinado ámbito no recurre al diagrama de Gaussen.

En la consideración de la idoneidad del método del diagrama bioclimático y, sin querer agotar la lista de diagramas existentes, se hará una breve reflexión sobre dos de los diagramas más utilizados (Gaussen y Walter y Lieth), y se establecerá una comparación entre ambos a fin de seleccionar aquel que tenga una mayor cantidad de información aplicable al estudio fitoclimático.

En aras a primar la aplicabilidad docente de esta publicación, no en el caso del diagrama de Gaussen por ser de amplia divulgación, pero sí en el de Walter, se expondrán los pasos a seguir para su realización y su comprensión[9].

2.4.1.1 Diagrama de Gaussen (1953)

Los fitogeógrafos franceses Gaussen y Bagnoul utilizaron simultáneamente las curvas de las precipitaciones y las temperaturas como expresión sinóptica que resume de un solo golpe de vista las características del clima. En el eje de las abscisas se disponen los meses y en el de ordenadas las precipitaciones mensuales y las temperaturas medias, empleando para estas una escala doble que para las primeras. Cuando ambas curvas se corten se producirá un periodo de sequía, un balance negativo del agua. Así, H. Gaussen propuso en 1952 un indicador extraordinariamente sencillo denominado índice xerotérmico y que define un mes como seco cuando la precipitación expresada en mm es inferior al doble de la temperatura media, expresada en ºC. Para este autor la pérdida posible de agua, en un mes determinado, es tanto mayor, cuanto más elevada es la temperatura media de dicho mes y crece proporcionalmente con ella. A partir de este indicador se construyen los diagramas (Figura 7).

Su principal innovación residió en la combinación de escalas que relaciona las dos variables en función de la aridez. Según experiencias realizadas sobre la interrupción del periodo vegetativo por la sequía en los países mediterráneos, se considera como crítico el valor 2 de la relación mensual del índice de Lang: p/t donde p es la precipitación mensual en mm y t la temperatura media mensual en ºC.

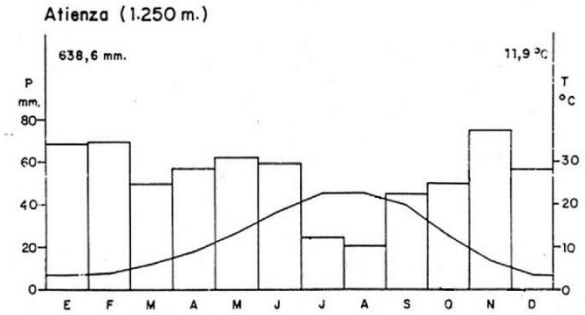


Figura 7. Diagrama de Gaussen de la estación de Atienza, Guadalajara

Fuente: Elaboración propia

Como mera aproximación al análisis crítico cabe señalar que este indicador, de extremada sencillez, es muy inexacto, no permite matización del grado de sequía estableciendo tan solo y, mediante un límite muy estricto, meses secos y húmedos.

2.4.1.2 Diagrama de Walter (1967)

Es un modelo de representación gráfica más completo que el elaborado a partir de las curvas ombrotérmicas de Gaussen. Como para él, los meses secos serán aquellos en que 2T>P, por lo tanto, la curva de temperaturas medias sobrepasa la de precipitaciones. Al mismo tiempo, se ha introducido una segunda línea auxiliar para las precipitaciones con la relación 10ºC=30 mm, lo que nos permite definir la subsequía como aquel periodo en que P<3T (Walter 1977; Rey, 1999). Además, se completa con datos sobre las temperaturas mínimas, medias y valores absolutos.

Los gráficos constan realmente de dos partes diferentes:

[9] En el momento actual existen diferentes programas que permiten una realización de estos diagramas lo que no exime de una comprensión de su lectura y de la información que aportan.

En primer lugar, el diagrama climático propiamente dicho en donde se trazan 3 curvas que corresponden a las temperaturas y a las precipitaciones mensuales (según las relaciones entre temperatura y precipitación de 1 a 2 -primera curva de precipitación- o de 1 a 3 -segunda curva de precipitación-.

Estas curvas han sido dibujadas en trazos distintos en el ejemplo que presentamos a fin de lograr una más clara diferenciación, así, con un trazo más grueso aparece la curva de temperatura, con un trazo más fino la primera curva de precipitaciones y con un trazo discontinuo la segunda curva de precipitaciones (figura 8).

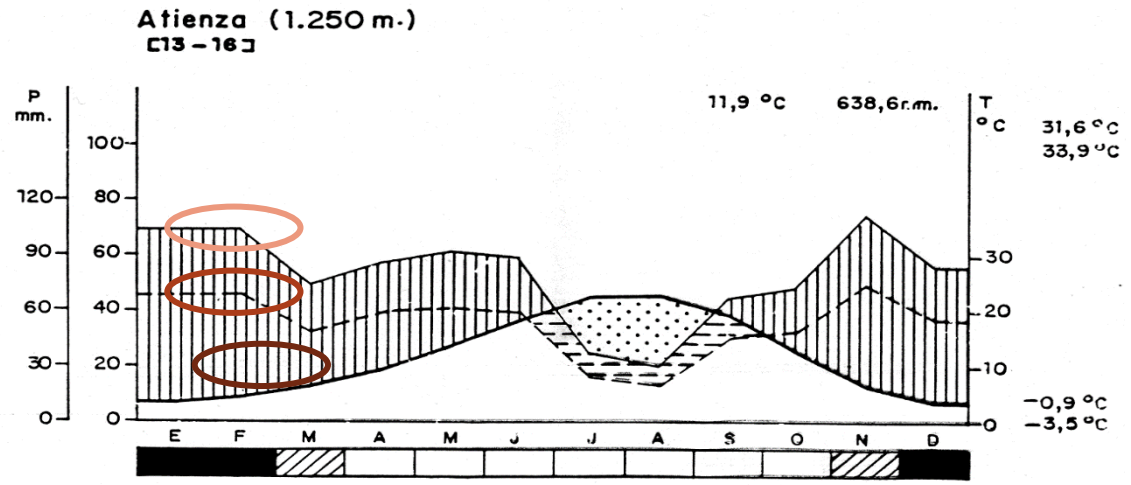
Figura 8. Trazado de los elementos básicos en el diagrama de Walter y Lieth

Disposición de los elementos en el sistema de coordenadas

- Eje de abscisas→ meses del año
- Eje de ordenadas→ se triplica quedando distribuidos en uno de ellos los valores de temperatura y en los otros dos los valores de precipitación

La relación entre la temperatura y la precipitación es 1 a 2 (primera curva de precipitaciones) y 1 a 3 (segunda curva de precipitaciones).

Datos a utilizar: Precipitaciones y temperatura medias mensuales para la representación de las curvas en el diagrama



Representación de elementos climáticos: precipitaciones y temperaturas se representan median un trazado lineal.

- La temperatura con un trazado grueso
- La precipitación 1 (escala doble a la de temperatura) mediante un trazo más fino
- La precipitación 2 (escala triple a la de temperatura), un trazo discontinuo

Fuente: Elaboración propia

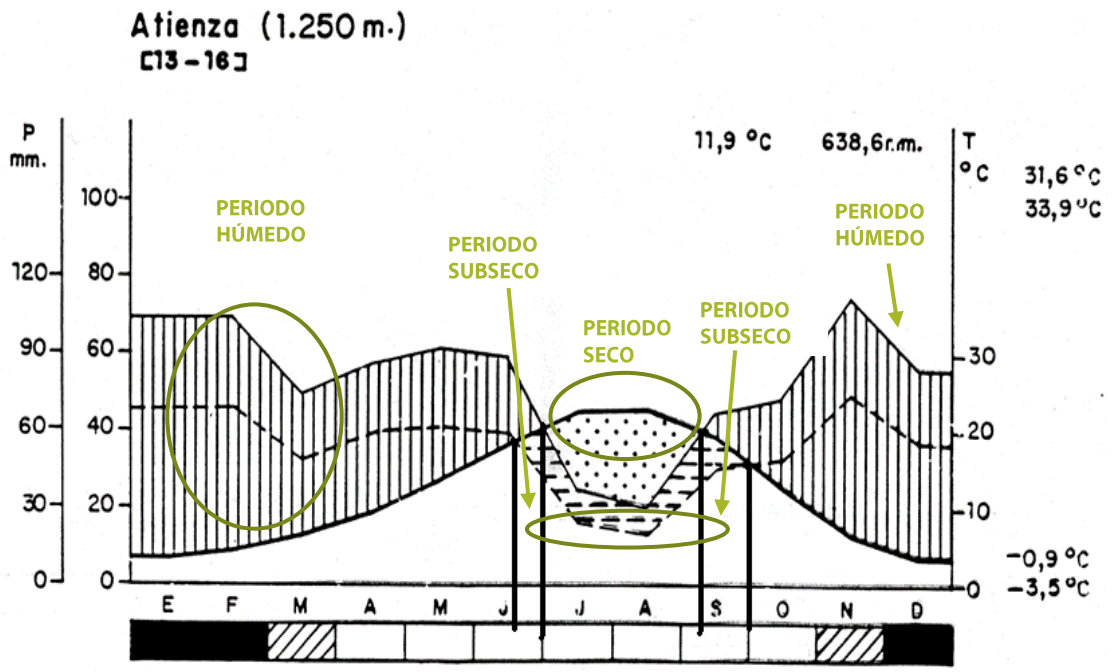
A partir de la comparación entre la curva de temperatura y la de precipitación se puede establecer en el diagrama 3 periodos (figura 9):

- <u>periodos húmedos</u> cuando las dos curvas de precipitación están por encima de la de temperatura→ trazos verticales
- <u>periodos áridos (secos)</u> cuando la 1ª curva de precipitación está por debajo de la de temperatura→ punteado grueso
- <u>periodos secos (subsecos)</u> cuando las dos curvas de precipitación están por debajo de la de temperatura y definido por el espacio existente entre dichas curvas de precipitación → trazos horizontales discontinuos

En segundo lugar, por debajo del diagrama climático aparece una franja con una longitud igual al eje horizontal del gráfico, con una altura de 5 mm y dividida en 12 rectángulos de 1 cm correspondientes a cada uno de los meses. En dichos rectángulos se define lo que Walter denominó dos tipos de periodos

fríos: aquellos meses con una mínima inferior a 0ºC representados por un color negro y aquellos otros con una temperatura mínima absoluta inferior a 0ºC, representados por un trazo oblicuo. La zona en blanco situada entre los meses con trazos oblicuos o negros representan el periodo libre de heladas. Así pues, el diagrama climático definido por Walter es la suma de estos dos gráficos.

Figura 10. Determinación de los periodos húmedo, seco y subseco en el Diagrama de Walter y Lieth



Fuente: Elaboración propia

El diagrama se complementa con una serie de indicaciones que aparecen en los márgenes de este (Figura 10) como son:

- En la parte superior:
  - nombre de la estación
  - su altitud
  - el periodo de observaciones
  - la temperatura media
  - el total de precipitación

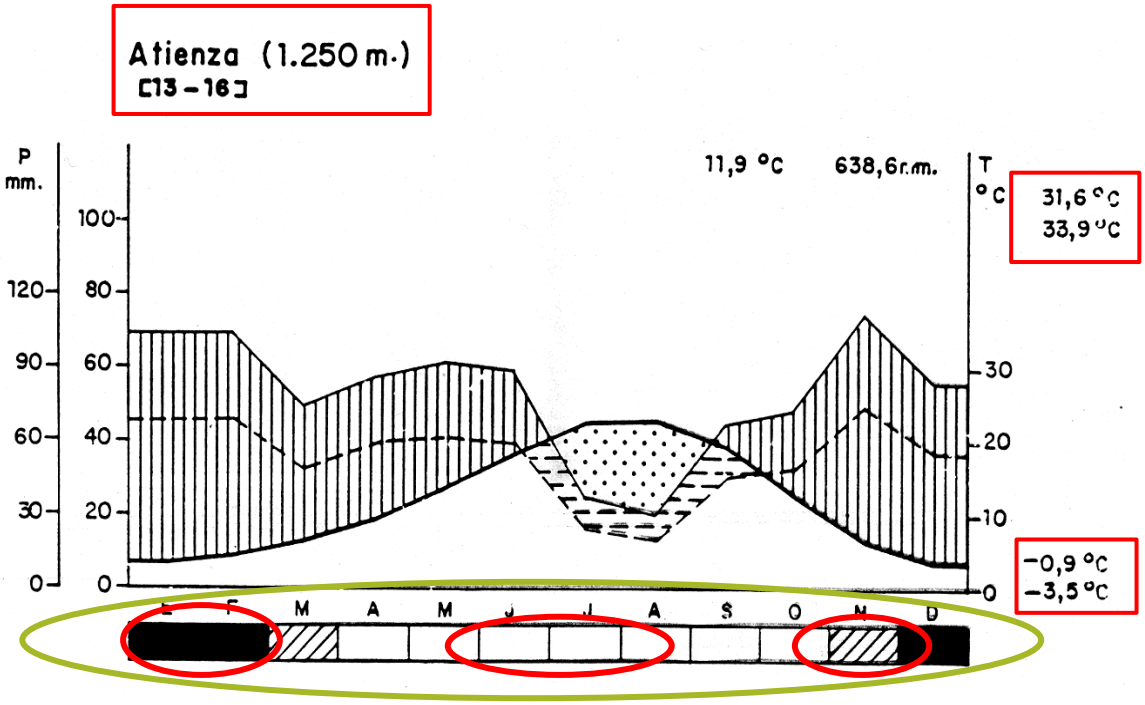
- A la derecha, en la parte baja:
  - la temperatura media de las mínimas del mes más frío
  - la temperatura mínima absoluta

- A la derecha, en la parte superior:
  - la temperatura media de las máximas del mes más caluroso
  - la temperatura máxima registrada

Este sistema de representación establece una serie de hipótesis que han de ser confirmadas experimentalmente mediante el análisis de la vegetación. Por otra parte, la estación del año definida como periodo árido señalada en el diagrama climático debe ser entendido únicamente como relativamente árida en comparación con las estaciones húmedas del clima en cuestión. Esto es así

porque se utiliza la curva de temperatura y no la de la evapotranspiración potencial y ambas no son evidentemente idénticas[10].

Figura 10. Diagrama de Walter y Lieth completo



Datos a utilizar: media de las mínimas diaria y media de las mínimas absolutas.	– periodos de helada segura: mes o meses en que la media de las mínimas diarias es inferior a 0º C → color negro. – helada probable: mes o meses en que la media de las mínimas diarias es > 0º C pero la media de las mínimas absolutas es inferior a 0º C → rayado – periodo libre de heladas → en blanco

Fuente: Elaboración propia

Además, permite extraer una importante información sobre 4 principales indicadores:

- intervalo de sequía: longitud, expresada en meses, del intervalo del eje de abscisas en el que la línea de precipitaciones se halla por debajo de la de temperaturas;
- intensidad de la sequía: cociente de dividir el área seca entre el área húmeda;
- intervalo de helada segura: número de meses en los que la media de las mínimas es inferior a 0ºC;
- intervalo de helada probable: número de meses en los que la media de las mínimas es superior a 0ºC, pero la mínima absoluta se mantiene inferior a 0ºC.

[10] A partir del diagrama de Walter, Rivas Martinez (1987 y sgs.) crea un climograma similar manteniendo las proporciones de los ejes. Es un índice algo más complejo al incluir un mayor número de datos como el periodo de actividad vegetal (PAV), indice de mediterraneidad, etc.

2.4.2 Diagrama de Montero de Burgos y González Rebollar: Representación gráfica

Como se ha hecho anteriormente, se va a diferenciar entre la representación cartográfica de los balances hídricos y el propio diagrama bioclimático donde se representan las intensidades bioclimáticas

2.4.2.1 Representación gráfica del Balance Hídrico de Montero de Burgos y González Rebollar

Inicialmente el método de Montero de Burgos y González Rebollar no contempla una representación gráfica exclusiva del balance hídrico más que como apoyatura al denominado Diagrama Bioclimático. Dado el interés geográfico del balance, ya comentado, se estimó conveniente elaborar un esquema gráfico capaz de reflejar toda la información que suministra (Fidalgo, 1989). Para su construcción se ha partido de dos modelos de representación fitoclimática bien conocidos: el balance hídrico de Thornthwaite y el diagrama de Walter y Lieth (figura 11).

Se representan mediante curvas, de manera simultánea, los valores de las disponibilidades hídricas con un trazado continuo, la E (evapotranspiración potencial) con una raya discontinua y la e (evapotranspiración residual) mediante un trazado de raya y punto sucesivos. Todas ellas sobre un eje de las abscisas donde se disponen los meses.

A semejanza de Walter y Lieth por debajo del diagrama se introduce una franja rectangular con una longitud igual al eje horizontal del gráfico y dividida en 12 rectángulos correspondientes a cada uno de los meses.

En primer lugar, se diferencia dos periodos:

1. Deficitario, cuando la curva de las disponibilidades hídricas está por debajo de las curvas de la E y de la e;

2. Excedentario, cuando la curva de disponibilidades hídricas se sitúa por encima de las otras dos.

El periodo deficitario puede definirse como aquel en el que las precipitaciones son inferiores a la evapotranspiración o aquel en el que las disponibilidades hídricas del suelo no son suficientes para cubrir las pérdidas derivadas de la evapotranspiración.

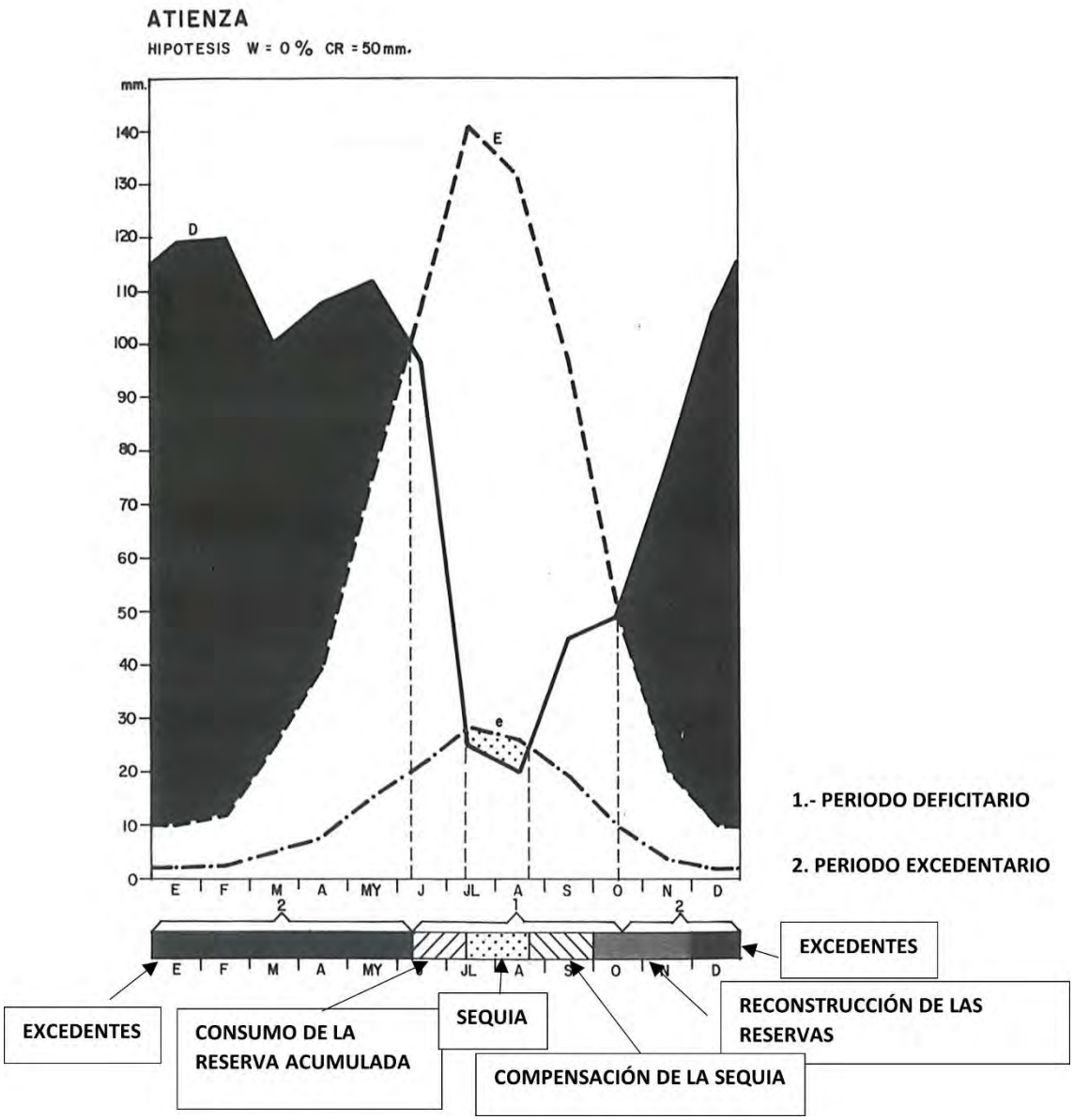
A su vez se subdivide entre:

- aquellos meses que, si bien no alcanzan la situación óptima (es decir D<E), están por encima del mínimo vegetativo (D>e). Hay subsequía acumulada a finales de algunos meses, pero no condicionamiento posterior, no hay sequía.

- los meses en los que sí se rebasa el umbral mínimo (D<e), quedando afectadas las reservas del sistema suelo-vegetación más allá del umbral vegetativo, e hipotecando cualquier aporte posterior. Meses de sequía.

- y los meses o mes que presentan unas disponibilidades hídricas idénticas a la precipitación (no hay más agua que la de las lluvias), capaces de paliar la cuantía del mínimo vegetativo (P=D; D>e), por lo tanto, existe un superávit; ahora bien, se trata de un superávit relativo dado que dichas precipitaciones han de compensar la sequía anterior.

Figura 11. Representación gráfica del balance hídrico de Montero de Burgos y González Rebollar.



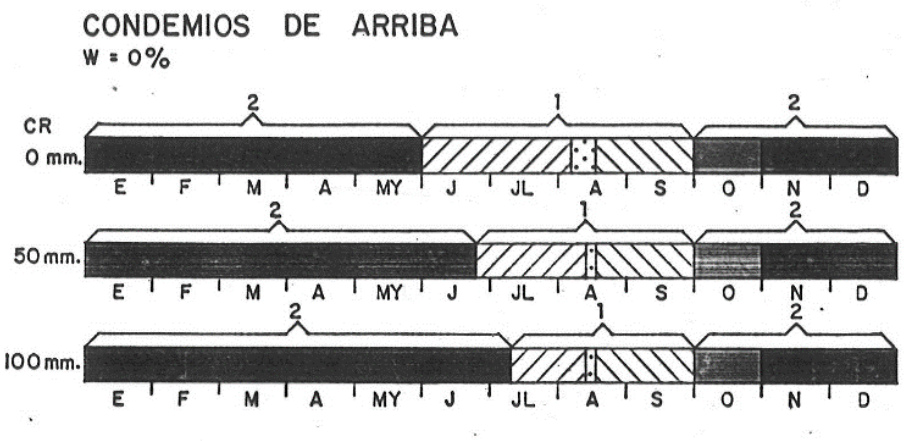
Fuente: Elaboración propia

El periodo deficitario disminuye a medida que la CR es mayor, y aumenta con valores superiores de W. Una mayor capacidad de retención supone el retraso de dicho periodo deficitario en función del excedente retenido en el suelo y compensa una serie de meses de menor cuantía de las precipitaciones. Del mismo modo una mayor escorrentía supone el adelanto en el comienzo y el retraso en el término del periodo (Figura 12).

Por su parte el periodo de excedente corresponde a aquel en el que las disponibilidades son superiores a la E, ya se ha recuperado la situación crítica o deficitaria.

También en este periodo es factible diferenciar entre aquel mes o meses en los que se recargan las reservas hídricas del suelo, pero sin rebasar el límite de la capacidad de retención y los meses claramente excedentarios sin ningún tipo de condicionante.

Figura 12. Representación de los periodos excedentario y deficitario ante diferentes valores de Capacidad de Retención (CR). Estación de Condemios de Arriba, Guadalajara.



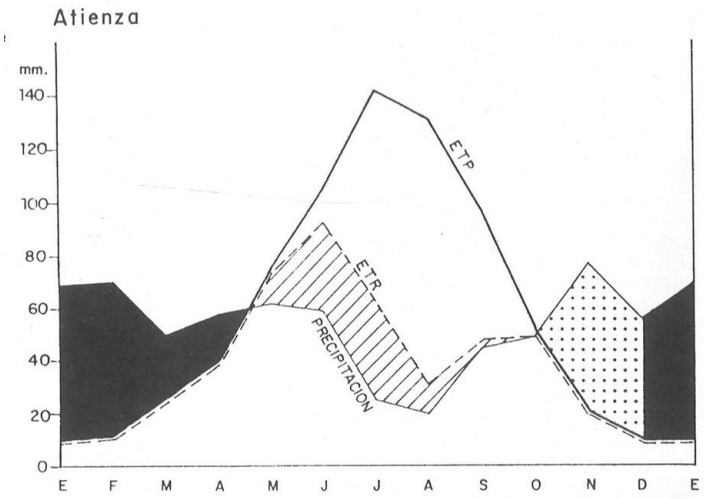
Fuente: Elaboración propia

2.4.2.2 Representación gráfica del Balance Hídrico de Thornthwaite (Figura 11)

A partir de estos supuestos se representa gráficamente los valores de pluviometría, ETP y ETR, de tal manera que quedan definidas las siguientes áreas en el balance:

- *Exceso de agua*: P>ETP la existente entre la P arriba y la ETP abajo. que constituye el excedente hídrico (S).
- *Déficit de agua*: ETP>ETR. El área demarcada entre ETP arriba y ETP abajo que es el déficit hídrico (Dh).
- Utilización de humedad del suelo: ETR>P. El área que se halla entre ETR arriba y P abajo
- *Recargo de humedad del suelo*: P>ETP después de un período de déficit, hasta que el sobrante (S) sea mayor que cero. Esta área en los meses en que S = 0 constituye el área de recargo de humedad edáfica.

Figura 13: Representación gráfica del balance hídrico de Thornthwaite



Fuente: Elaboración propia.

Para la representación gráfica se sitúan en el eje de las x los meses del año, y en el de las y) el volumen en milímetros. Se sitúan para cada uno de los meses del año la pluviometría (P), evapotranspiración real (ETR) y la evapotranspiración potencial (ETP)

2.4.2.3 El Diagrama Bioclimático, representación gráfica.

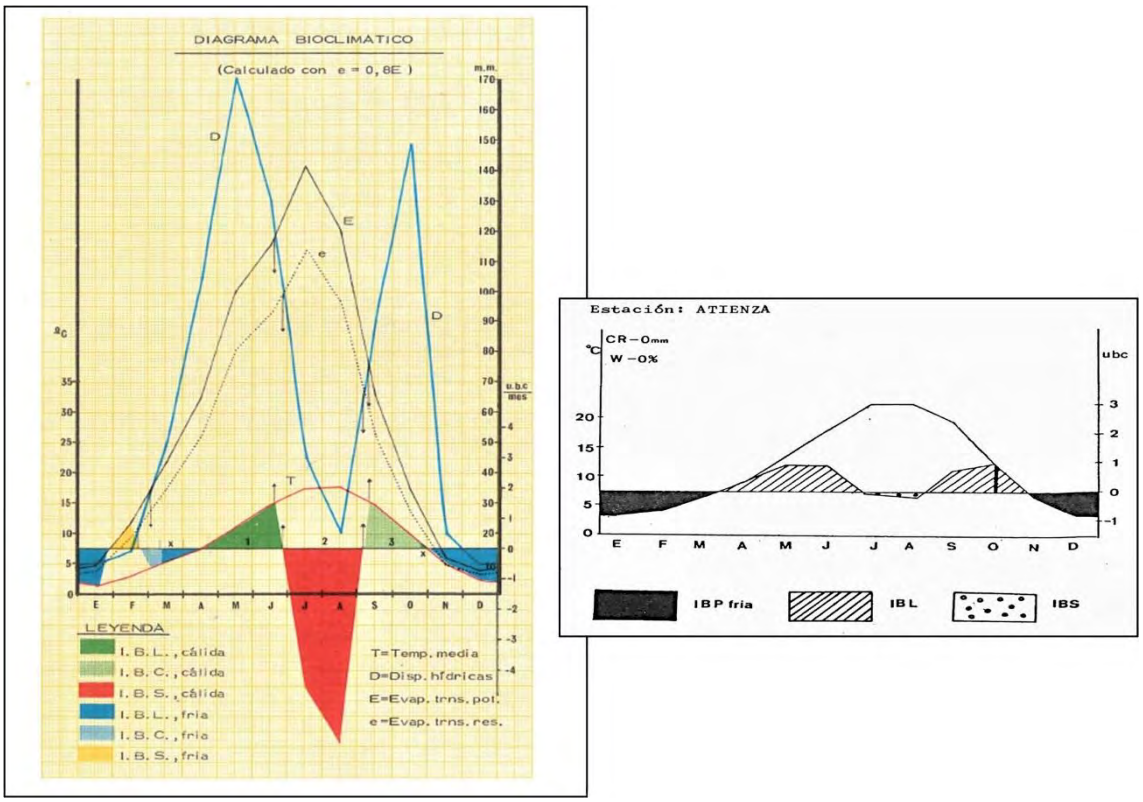
Es el resultado de llevar a un sistema de ejes coordenados: en abscisas los meses y en ordenadas las temperaturas, las disponibilidades hídricas y las Intensidades Bioclimáticas. En este diagrama los cruces de la curva de las disponibilidades hídricas (D) con las curvas de las dos evapotranspiraciones ya definidas (E y e) determinan el límite de la IBP (figura 14).

La escala de representación ha de cumplir que 1 ubc mensual = 5ºC y el origen de las ubc debe coincidir con los 7,5ºC.

El dibujo del diagrama, tal y como afirman sus autores (1974, p.71) "debe entenderse como aproximación intuitiva, normalmente suficiente del sustrato numérico que lo engendró".

Pueden existir errores al pasar de los números al grafico a la hora de realizar la unión de los puntos de cada IB, que forman una figura aproximada a un trapecio. Ahora bien, dado que existe un cierto grado de compensación gráfica, los errores relativos que puedan surgir de tomar el área del grafico o la auténtica son insignificantes.

Figura 14: Representación gráfica de los diagramas bioclimáticos de Montero de Burgos y González Rebollar.

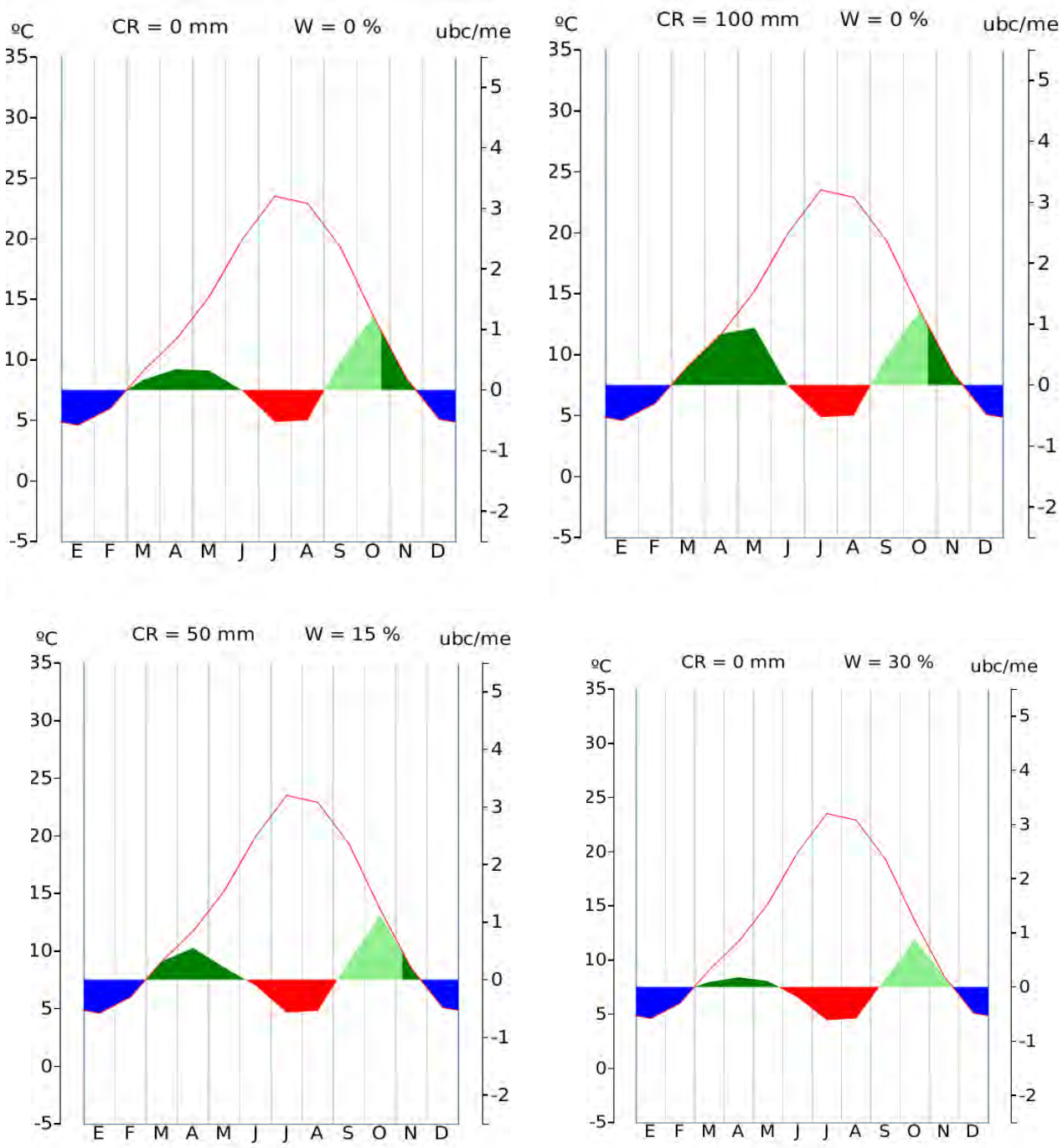


Fuente: A la izquierda representación gráfica del balance bioclimático de Montero y González (Diagramas Bioclimáticos 1974 p.70). A la derecha un gráfico de diagrama simplificado (Elaboración propia). Los cruces de las curvas de D, E y e determinan el periodo deficitario (la curva de D corta o está por debajo de la E. Y excedentario (la curva de D se sitúa por encima de las otras dos.

Aquí puede distinguirse entre meses de sequía (donde D<E y e) durante los cuales quedan afectadas las reservas del sistema suelo-vegetación, más allá del umbral vegetativo, hipotecando cualquier aporte posterior durante la subsequía (D<E pero D>e).

Tanto el cálculo de las intensidades bioclimáticas como la representación gráfica de los diagramas puede realizarse de una forma rápida a través de la página: http://diagramasbioclimaticos.com/.
A través de ella es factible el cálculo de diferentes hipótesis de trabajo de manera rápida y dinámica (figura 15).

Figura 15. Estación Madrid. Diferentes hipótesis o supuestos.



Color azul: Intensidad Bioclimática Fría. Color verde oscuro: Intensidad Bioclimática libre. Color verde claro: Intensidad Bioclimática Condicionada. Color rojo: Intensidad Bioclimática Seca.

Fuente: Elaboración propia. Cálculo realizado a partir de http://diagramasbioclimaticos.com/.

El análisis comparativo de los diagramas muestra la importancia de la CR o de la W. A igualdad en los datos de temperatura y precipitaciones, para una mayor capacidad de retención (0, 100, ∞) el área de la IBL aumenta del mismo modo que desaparece la IBS.

3

Aplicaciones de la metodología bioclimática al estudio de casos

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española
de Geografía

APLICACIONES DE LA METODOLOGÍA BIOCLIMÁTICA AL ESTUDIO DE CASOS

Desde el momento de la publicación del método de los Diagramas Bioclimáticos por sus creadores se han realizado múltiples aplicaciones del mismo que han puesto de manifiesto su validez a la hora de caracterizar el medio natural, de comprender la distribución de las comunidades vegetales o entender diferentes procesos desarrollados en distintos espacios.

A modo de ejemplo, se enumeran algunas de esas aplicaciones realizadas por los autores de este trabajo, en aras a demostrar la versatilidad del método:

- Análisis de recopilación y síntesis de los diferentes índices y metodologías fitoclimáticas conocidas (Fidalgo Hijano, 1988).

- Caracterización fitoclimática de ámbitos espaciales tan diferentes en características y dimensiones como la Serranía de Atienza (Fidalgo Hijano, 1984) o la Comunidad de Madrid (Fernández García, Fidalgo Hijano y Sancho García, 1996).

- Trabajos basados en la utilización del método para comprender la distribución de las comunidades vegetales, como es el caso del surco Mazarete-Molina de Aragón en las cuencas tobáceas de los ríos Gallo y Mesa (Guadalajara) (Fidalgo Hijano y González Martín, 2004) (figura 16). Este trabajo se planteó como objetivo esencial el estudio de los factores fitoclimáticos y su papel en la distribución de las unidades de paisaje en la zona a fin de establecer con precisión los factores naturales y/o antrópicos, pretéritos o actuales, que motivan los cambios de paisaje a lo largo del surco. Tras el trabajo realizado se puso de manifiesto la importancia del valor de la escorrentía, erigiéndose la pendiente en elemento fundamental que condiciona la caracterización fitoclimática, de modo que solo con distintos valores de W se aprecian modificaciones en la cuantificación bioclimática (Figura 17).

- Estudio y análisis de la tipología y distribución de diferentes comunidades vegetales:

    - El uso del método para establecer una tipología de los sabinares de *Juniperus thurifera*. La aplicación de los Diagramas Bioclimáticos permitió caracterizar los tipos de sabinares previamente establecidos en otras investigaciones, así como generar una nueva tipología en función de los rasgos fitoclimáticos (Carretero Hera y Fidalgo Hijano, 2005).

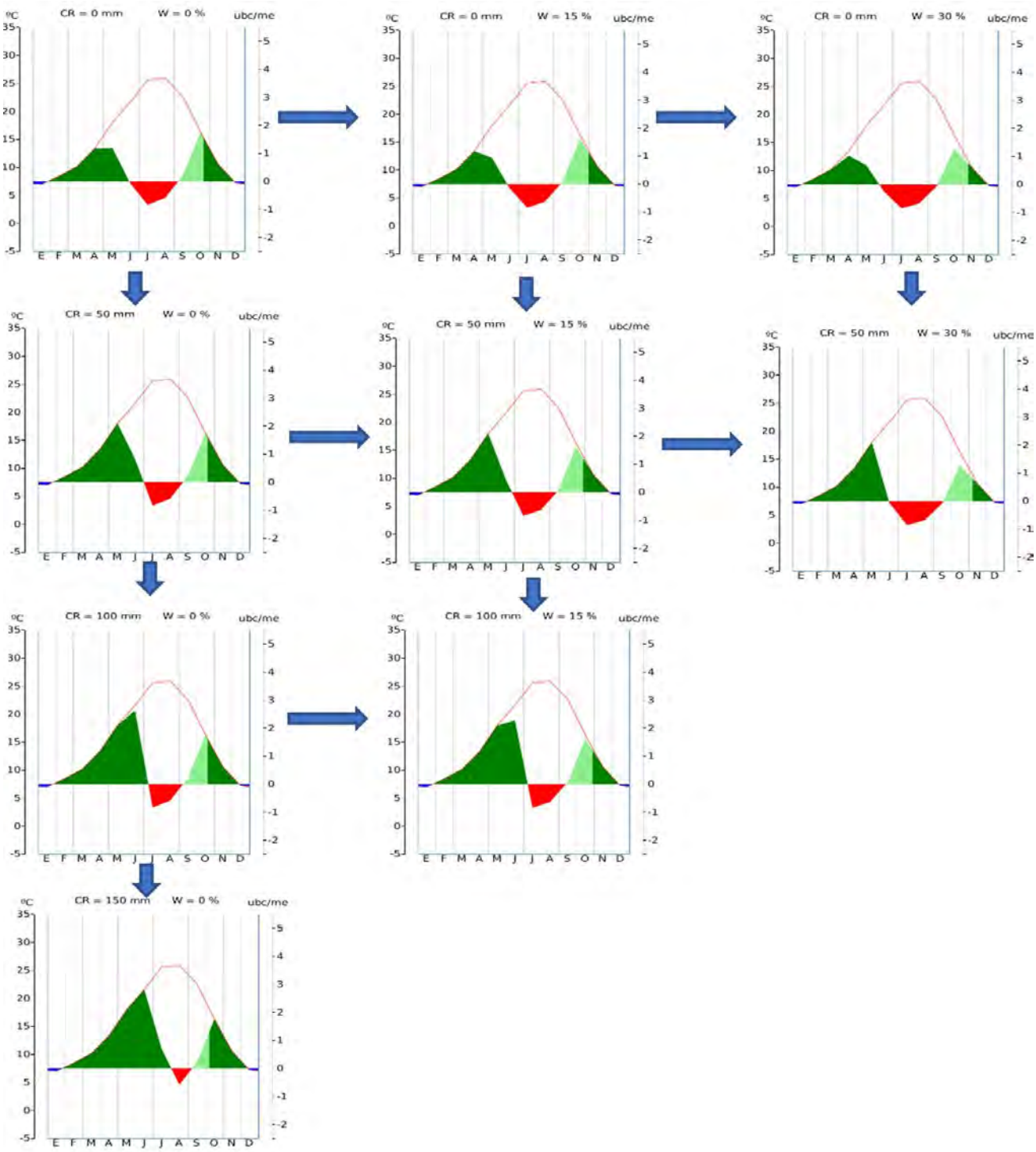
    - El estudio de los eucaliptales en Galicia, estableciendo los parámetros fitoclimáticos que regulan la expansión actual del Eucaliptus globulus en el territorio gallego (Fidalgo Hijano y Sancho García, 2002).

- Aplicación del método a los paisajes de montaña (Fidalgo Hijano, 1989; Fidalgo Hijano y Galán Gallego, 1992; Fidalgo Hijano, 1993).

- Finalmente se implementó el estudio de un modelo desarrollado tanto por Montero de Burgos (1990) como por González Rebollar y otros (2000) en aras a valorar la evolución experimentada por la vegetación ante el cambio climático. Sancho García y Fidalgo Hijano (2007) lo aplicaron a la cuenca madrileña del Alberche. Se validó el método fitoclimático para el análisis de la dinámica vegetal aplicándolo a un área caracterizada por una gran variedad biogeográfica, fruto de la combinación de la acción conjunta de los factores naturales y de la secular y múltiple acción antrópica.

Figura 16. Diferentes comunidades vegetales en las laderas del surco carbonatico Mazarete-Molina de Aragón (Guadalajara) . 2017.

Fotografía Juan Antonio González y Concepción Fidalgo.



La utilización de los diagramas bioclimáticos ha posibilitado el desarrollo de una metodología de regímenes bioclimáticos propuesta por Cámara et al. (2020) y aplicada a diferentes trabajos de investigación en España, Ucrania (Recio et al. 2020), Burkina Faso (Cámara y Yemboado, 2020), Brasil (Cámara et al., 2022), en sus distintos análisis de regímenes bioclimáticos actuales, del último máximo glaciar, y de escenarios de modelos de cambio climático. (Figura 18).

Figura 18. Paisajes del bosque monzónico en el Canal de Panamá (Balboa) (2003); Sabana Parque Nacional de Arly, Burkina Faso (2017). Selva húmeda karts de Samaná (República Dominicana) (2017). Caatinga Brasil (2017).

Fotografía Rafael Cámara.

Esta metodología ha permitido identificar 27 regímenes bioclimáticos en:

- la zona tropical solo con régimen variable hídrico con posible paralización vegetativa hídrica (7): ombrophyllo, mesophyllo, tropophyllo, xerophyllo, hiperxerophyllo, y dos casos particulares que representan el monzón ombrotropophyllo y ombroxerophyllo. Relacionado con los bosques tropicales muy húmedos a secos y desiertos tropicales.

- zona subtropical con régimen variable hídrico, pero con gran oscilación térmica (5), con el prefijo EURITERMO: ombrophyllo, mesophyllo, tropophyllo, xerophyllo, hiperxerophyllo. Relacionado con los bosques subtropicales mediterráneos y laurisilvas tipo régimen chino.

- zona templado-fría (5), con paralización vegetativa térmica de 1 a 5 meses y/o hídrica, con prefijo CRIO. Relacionado con bosques caducifolios y bosques mixtos de caducifolios y coníferas.

- zona subpolar (5) con paralización vegetativa térmica de 6 a 9 meses y/o hídrica, con prefijo MESOCRIO. Relacionado con bosque de coníferas y bosques mixtos de coníferas y caducifolios.

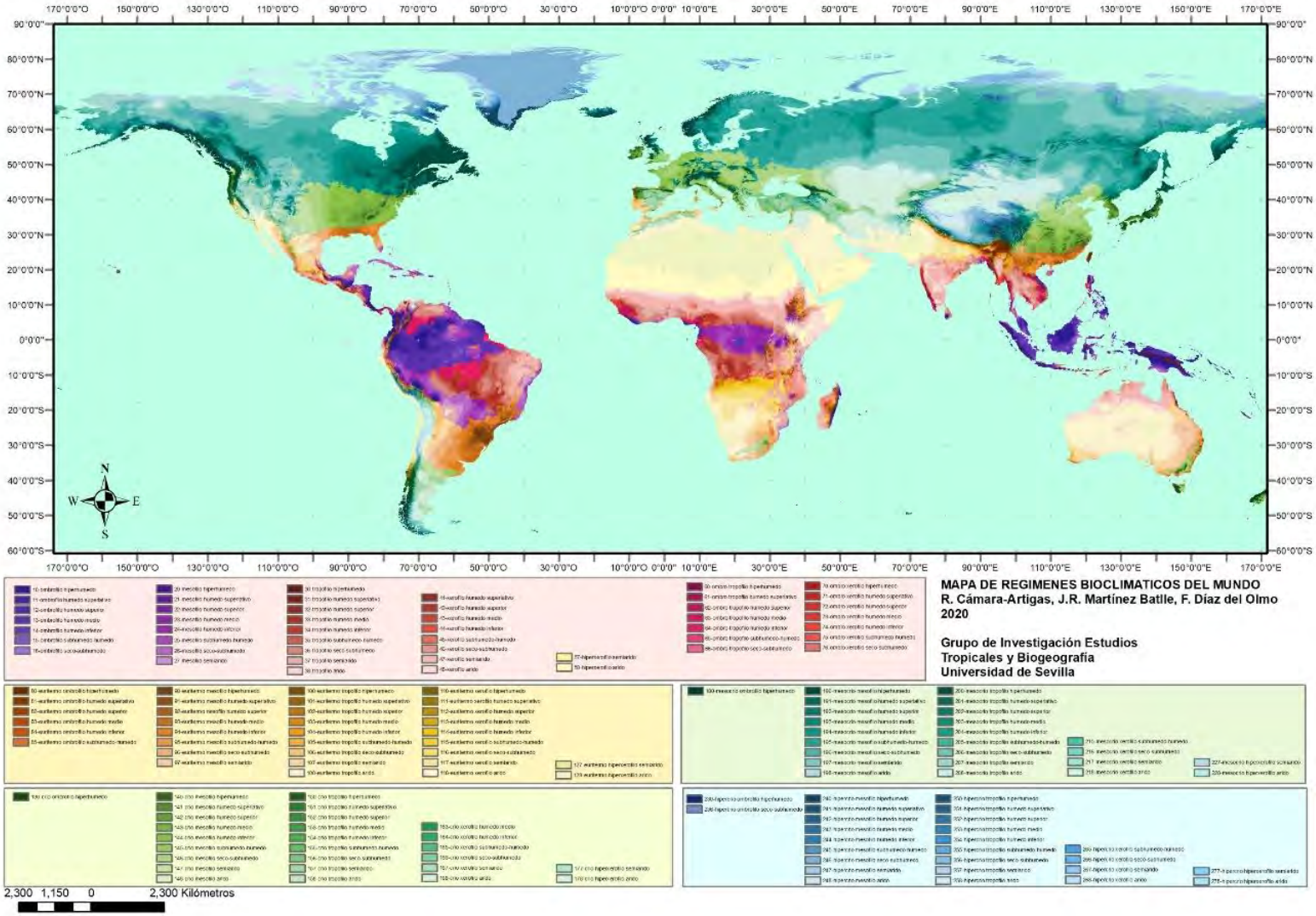
- zona polar (5) con paralización vegetativa térmica de 10 a 12 meses y/o hídrica, con prefijo HIPERCRIO. Relacionado con la tundra.

Se trata de una clasificación multiescalar que según las diferentes situaciones hídricas o térmicas permite individualizar y relacionarse con diferentes formaciones vegetales. Esta relación es importante, porque en el marco del Cuaternario y proyecciones de cambio climático, nos permite inferir cuáles eran las formaciones vegetales en condiciones climáticas del pasado, o serán las del futuro según los diferentes escenarios de cambio climático.

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española de Geografía

Figura 19. Cámara Artigas, R., Díaz del Olmo, F., & Martínez Batlle, J. R. (2020). TBRs, a methodology for the multi-scalar cartographic analysis of the distributionof plant formations.Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles,85, 2915, 1–38. https://doi.org/10.21138/bage.2915



GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española de Geografía

4

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

Allue Andrade, J. L. (1966). *Subregiones fitoclimáticas de España*. Editorial: Ministerio de Agricultura, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid.

Cámara R., Díaz del Olmo, F., Martínez Batlle, J.R. (2020*)*. TBRs, a methodology for the multi-scalar cartographic analysis of the distribution of plant formations*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. 85, 1-38.

Cámara R., Israel de Souza B., Porto de Lima R. (2022). Climatic changes and distribution of plant formations in the state of Paraíba, Brazil. *Geographical Research Letters* (48). http://doi.org/10.18172/cig.5044

Cámara R., Yemboado, N. (2020). Las sabanas como reservorio de carbono y sus escenarios RCP 2.6 y 8.5 ante el cambio climático: el caso del Parque Nacional de Arly (Burkina Faso) En: J. Farinós (Coord.), *Desafíos y Oportunidades de un mundo en transición: una interpretación desde la Geografía*. Universitat de Valencia y Tirant (pp. 67-82). Valencia

Carballeira A., Devesa; C. y Retuerto, R. (1983). *Bioclimatología de Galicia*. Fundación Pedro Barrié de la Maza. Conde Fenosa. La Coruña.

Carretero Hera, A. y Fidalgo Hijano, C. (2005). Caracterización fitoclimática de los sabinares albares. *Boletín de la A.G.E.*, 40, 201-222.

De Martonne, E. (1926). Aréisme et Indice d'aridité. *Comptes Rendus de L'Academy of Science*, París, 1395-1398.

Domingo Santos J. M., Fernández de Villarán San Juan, R., Corral Pazos de Provens, E., y Rapp Arrarás, Í. (2006). Estimación de la capacidad de retención de agua en el suelo: revisión del parámetro CRA. *Investigaciones Agrarias: Sistemas y Recursos Fo*restales, 15(1), 14-23.

Elías Castillo, F. y Ruiz Beltrán, L. (1977). *Agroclimatología de España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, España.

Fernández García, F., Fidalgo Hijano, C. y Sancho García, I (1996). Caracterización fitoclimática de la Comunidad de Madrid, *VII Coloquio de Geografía Cuantitativa*, Vitoria

Fidalgo Hijano, C. (1984). Avance de una caracterización fitoclimática de la Serranía de Atienza, *Estudios Geográficos*, 177, 433-453.

Fidalgo Hijano, C. (1988). *Metodología fitoclimática*. Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid, colección Cuadernos de Apoyo, nº 11, 123 pp.

Fidalgo Hijano, C. (1989): Balances hídricos en una zona de montaña. Su validez como instrumento fitoclimático, En VV. AA. *Los paisajes del agua*. Universidades de Valencia y Alicante, 41-80. Valencia.

Fidalgo Hijano, C. (1993). El estudio fitoclimático en montaña, *Cuadernos de la Sección de Historia-Geografía*, 20, 347-357, San Sebastián.

Fidalgo Hijano, C. y Galán Gallego, E. (1992). Aplicación del método de los Diagramas Bioclimáticos a la caracterización de pisos de vegetación, *Estudios Geográficos*, 207, 265-290, Madrid.

Fidalgo Hijano, C. y González Martín, J. A. (2004). Estudio fitoclimático del surco Mazarete-Molina de Aragón en las cuencas tobáceas de los ríos Gallo y Mesa (Guadalajara). En *Historia, clima y paisaje: estudios geográficos en memoria del profesor Antonio López Gómez*, 323-336. Ediciones de la Universidad de Valencia, Autónoma de Madrid y Alicante.

Fidalgo Hijano, C., y Sancho García, I. (2002). Estudio fitoclimático de los eucaliptales en Galicia. En VVAA., *Aportaciones geográficas en memoria del profesor I. Miguel Yetano Ruiz*, 227-238Servicio de Publicaciones Universidad de Zaragoza, Zaragoza.

Fidalgo, C., Cañada, R., Fernández, F., Galán, E. y Rasilla, D. (1999). Análisis de la variabilidad climática en la meseta sur a través de los diagramas bioclimáticos. En Raso Nadal J.M. y Martín Vide, J. (Edits). *La climatología española en los albores del siglo XXI,* A.E.C., Serie A, 1, 165-168.

García Salmerón, J. (1980) Los diagramas bioclimáticos y su utilización forestal. *Forêt Mediterranéenne*, I, 22, 105-133.

Gaussen, H. (1955). Détermination des climats par la méthode des courbes ombrothermiques. *Compte Rendus Hebdomadaires des Séances.* 240, 642–644. Académie des Sciences.

González Rebollar, J. L. (1984). Propuestas para el desarrollo de una fitoclimatologia dinámica: un ensayo en la provincia de León. *Estudios Geográficos*, 177, 401-432.

González Rebollar, J. L., Montero de Burgos, J. L. (1988). El paisaje vegetal a la luz de los modelos fitoclimáticos: métodos nuevos para viejas cuestiones. *Homenaje a Pedro Montserrat / Pedro Montserrat Recoder (hom.)*, 583-588.

González Rebollar, J.L. (1983). *El clima y la vegetación forestal de la España peninsular*, Tesis Doctoral inédita, E.T.S.I.M., Madrid.

González Rebollar, J.L. J. L. González Rebollar, J. J. Ibáñez, A. García-Álvarez y A. Ganuza (2000). Paisaje vegetal, cambio climático y degradación del suelo. Interpretación desde un modelo fitoclimático, *El Campo de las Ciencias y las Artes*, 137, 223-260, Servicio de Estudios BBVA.

Holdridge L. (1947). Determination of world plant formation from simple climatic data. *Science* 105, 267-268. https://doi.org/10.1126/science.105.2727.367

Holdridge, L. R. (1967). *Life Zone Ecology*. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa (1982) *Ecología Basada en Zonas de Vida*, 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA.

López Cadenas F. y Mintegui J.A. (1986). *Hidrología de superficie*. Tomo 1. Fundación Conde del Valle Salazar. Escuela Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.

Martonne, E. de (1926). L´indice d´aridité. *Bull Ass. Geógr. Fran.* (9) pp. 3-5.

Montero de Burgos, J. L. y González Rebollar, J. L. (1974). *Diagramas Bioclimáticos*. ICONA, Madrid, 379 pp.

Montero de Burgos, J.-L. (1987). La regresión vegetal y la restauración forestal, *Boletín de la Estación Central de Ecología*, ICONA. Madrid.

Montero de Burgos, J.-L. (1990). Evolución vegetal. Óptimo natural y óptimo forestal. *Ecología*, fuera de serie, 1, 309-319, ICONA, Madrid.

Montero de Burgos, J.L. y Montero de Juan J.L. (1984). *Contribución al estudio comparativo de diagramas bioclimáticos del eucalipto en Australia y España*, ICONA, 70 pp.

Papadakis, J. (1960). *Geografía agrícola mundial.* Salvat, 1960.

Pita Carpenter, A (1968). *Clima y vegetación arbórea. Aplicaciones a la Península Ibérica.* Editado por el Servicio Meteorológico Nacional nº 48. Sección de Meteorología Agrícola.

Prieto Jiménez, I., Fidalgo Hijano, C., González Martín, J. A. y Fernández; A. (2017). Análisis fitoclimático del valle del río Záncara (provincias de Cuenca y Ciudad Real). *Espacio, tiempo y forma.* Serie VI, Geografía, 10, 203-223.

Recio J.M., Kotovych, O.V., Díaz del Olmo, F., Gorban, V. A., Cámara R., (2020). Palaeoecological aspects of a Ukrainian Upper Holocene chernozem. En: *Ekolohiya ta Noosferolohiya*. 31 (2), 59-64.

Rey, J. M. (1999). Modelling potential evapotranspiration of potential vegetation. *Ecological Modelling*, 123, 141-159.

Rivas Goday S. y Fernández Galiano E. (1952). Preclímax y postclímax de origen edáfico. *Anales del Instituto Botánico Cavanilles*, 10, 455-517.

Sancho García, I (2003). *Estudio del paisaje en la cuenca del río Alberche a su paso por la comunidad de Madrid. Fitoclimatología y dinámica vegetal*, Tesis doctoral defendida en la Universidad Autónoma de Madrid

Sancho García, I. y Fidalgo Hijano, C. (2007) Modelo de interpretación fitoclimática de la dinámica vegetal. Aplicación a la cuenca madrileña del Alberche. *Estudios Geográficos*, LXVIII, 262, 295-320.

Strahler, A. N. (1984) *Geografía física.* Barcelona: Omega

Thornthwaite C. (1933). The climates of the earth. *Geographical Review* 23, 433-440. https://doi.org/10.2307/209629

Thornthwaite C. (1948) An approach toward a rational classification of the climate. *Geographical Review* 38: 55-89 https://doi.org/10.2307/210739

Thornthwaite, C. W., Mather, J. R. (1955): *The Water Balance.* Drexel Institute of Technology. Laboratory of Climatology. Publ. in Climatol, 8, 1-104.

Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R., Carter D.B. (1957*): Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance.* Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology. Publ. in Climatology, 10:181-311. https://www.researchgate.net/...water_balance.../Thornthwaite-Mather-1957.pdf

Tuhkanen, S. (1980). Climatic parameters and indices in plant geography**.** Acta Phytogeographica Suecica, 67: 1-108. http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:565410/FULLTEXT01.pdf

Walter, H. (1997). *Zonas de Vegetación y clima.* Omega, Barcelona, traducida por M. Costa de Vegetationszonen und Klima (1977), Eugen Ulmer, Stutgart.

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española
de Geografía

5

Anexo

Tablas de ppa/ST extraídas de López Cadenas y Mintegui (1986).

NOTA: donde pone ETP léase ppa. Los valores centrales de las tablas son ST.

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española de Geografía

Tabla 1

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 25 mm.

ETP	0. 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo.									
0	25	24	23	32	21	20	19	18	17	16
10	16	15	15	14	13	13	12	12	11	11
20	10	10	9	9	8	8	8	8	7	7
30	7	6	6	6	5	5	5	5	5	4
40	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
50	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
60	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
70	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1						

Tabla2

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 50 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo.									
0	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41
10	41	40	39	38	37	36	36	35	34	33
20	33	32	32	31	30	30	29	28	28	27
30	27	26	25	25	24	24	23	23	22	22
40	21	21	20	20	19	19	19	18	18	18
50	17	17	17	16	16	16	15	15	15	14
60	14	14	13	13	13	13	12	12	11	11
70	11	11	11	10	10	10	10	9	9	9
80	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8
90	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6
100	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5
110	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4
120	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
130	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
140	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
150	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
160	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
170	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
180	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
190	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
200	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
210	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
220	1	1	1	1						

Tabla 3

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 75 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo.									
0	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66
10	65	64	63	62	61	60	59	58	58	57
20	57	56	55	54	53	53	52	51	51	50
30	50	49	48	47	46	46	45	45	44	44
40	43	43	42	41	40	40	39	39	38	38
50	38	37	36	36	35	35	35	34	34	33
60	33	33	32	31	31	31	30	30	29	29
70	28	28	28	27	27	27	26	26	25	25
80	25	24	24	23	23	23	23	22	22	22
90	22	21	21	21	20	20	20	20	19	19
100	19	19	18	18	18	18	17	17	17	17
110	16	16	16	16	15	15	15	15	15	14
120	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13
130	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11
140	11	11	11	10	10	10	10	10	10	10
150	10	10	9	9	9	9	9	9	9	8
160	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7
170	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6
180	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
190	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5
200	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4
210	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
220	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
230	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
240	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
250	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
260	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
270	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
280	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
290	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
300	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
310	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
320	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
330	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
340	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
350	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
360	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 4

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 100 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo.									
0	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91
10	90	89	88	88	87	86	85	84	83	82
20	81	81	80	79	78	77	77	76	75	74
30	74	73	72	71	70	70	69	68	68	67
40	66	66	65	64	64	63	62	62	61	60
50	60	59	59	58	58	57	56	56	55	54
60	54	53	53	52	52	51	51	50	50	49
70	49	48	48	47	47	46	46	45	45	44
80	44	44	43	43	42	42	41	41	40	40
90	40	39	39	38	38	38	37	37	36	36
100	36	35	35	35	35	34	34	33	33	33
110	32	32	32	31	31	31	30	30	30	30
120	29	29	29	28	28	28	27	27	27	27
130	26	26	26	26	25	25	25	24	24	24
140	24	24	23	23	23	23	22	22	22	22
150	22	21	21	21	21	20	20	20	20	20
160	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18
170	18	17	17	17	17	17	16	16	16	16
180	16	16	15	15	15	15	15	15	14	14
190	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13
200	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12
210	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11
220	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
230	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
240	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
250	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7
260	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6
270	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
280	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5
290	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
300	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4
310	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
320	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
330	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
340	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tabla 4 continuación

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo.									
350	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
360	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
370	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
380	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
390	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
400	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
410	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
420	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
430	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
440	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
450	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
460	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
470	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
480	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
490	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 5

RETENCION DE AGUA POR EL SUELO.– 125 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo.									
0	125	124	123	122	121	120	119	118	117	116
10	115	114	113	112	111	110	109	108	107	106
20	106	105	104	103	102	102	101	100	99	99
30	98	97	96	95	94	94	93	92	91	90
40	90	89	88	87	86	86	85	84	84	83
50	83	82	82	81	80	80	79	79	78	77
60	76	76	75	74	74	73	73	72	72	71
70	70	70	69	69	68	68	67	67	66	65
80	65	64	64	63	63	62	62	61	61	60
90	60	59	59	58	58	57	57	56	56	55
100	55	55	54	54	53	53	53	52	52	51
110	51	51	50	50	49	49	49	48	48	47
120	47	47	46	46	45	45	45	44	44	43
130	43	43	42	42	41	41	41	41	40	40
140	40	40	39	39	39	38	38	38	38	37
150	37	37	36	36	36	35	35	35	35	34
160	34	34	33	33	33	32	32	32	32	31
170	31	31	31	30	30	30	30	30	30	29
180	29	29	29	29	28	28	28	27	27	27
190	26	26	26	26	26	25	25	25	25	25
200	24	24	24	24	24	23	23	23	23	23
210	22	22	22	22	22	22	22	21	21	21
220	21	21	21	21	20	20	20	20	20	20
230	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18
240	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17
250	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15
260	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14
270	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13
280	13	13	13	13	13	12	12	12	12	12
290	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11
300	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10
310	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9
320	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
330	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
340	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7

Tabla 5 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 125 mm.

ETP	0	5		0	5		0
			.Agua retenida por el suelo				
350	7	7	450	3	3	550	1
360	7	6	460	3	3	560	1
370	6	6	470	3	3	570	1
380	6	5	480	2	2	580	1
390	5	5	490	2	2	590	1
400	5	5	500	2	2	600	1
410	4	4	510	2	2	610	1
420	4	4	520	2	2	620	1
430	4	4	530	2	2	630	1
440	3	3	540	2	1	640	1

Tabla 6

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 150 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					Agua retenida por el suelo.					
0	150	149	148	147	146	145	144	143	142	141
10	140	139	138	137	136	135	134	133	132	131
20	131	130	129	128	127	127	126	125	124	123
30	122	122	121	120	119	118	117	116	115	114
40	114	113	113	112	111	111	110	109	108	107
50	107	106	106	105	104	103	103	102	101	101
60	100	99	98	97	97	97	96	95	94	93
70	93	92	92	91	90	90	89	89	88	87
80	87	86	86	85	84	84	84	83	83	82
90	82	81	81	80	79	79	78	77	77	76
100	76	76	75	75	74	74	73	72	72	71
110	71	71	70	70	69	69	68	68	67	67
120	66	66	66	65	65	64	64	63	63	62
130	62	62	61	61	60	60	60	59	59	58
140	58	58	57	57	56	56	55	55	54	54
150	54	53	53	53	52	52	52	52	51	51
160	51	51	50	50	50	49	49	48	48	47
170	47	47	47	46	46	46	45	45	45	44
180	44	44	44	43	43	43	42	42	42	41
190	41	41	41	40	40	40	40	39	39	39
200	39	38	38	38	37	37	37	37	36	36
210	36	36	35	35	35	35	35	34	34	34
220	34	34	33	33	33	33	33	32	32	32
230	32	31	31	31	31	31	30	30	30	30
240	30	29	29	29	29	29	28	28	28	28
250	28	27	27	27	27	27	26	26	26	26
260	26	26	25	25	25	25	25	24	24	24
270	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23
280	22	22	22	22	22	22	22	22	21	21
290	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20
300	20	19	19	19	19	19	19	19	18	18
310	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17
320	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16
330	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15
340	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14
350	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13
360	13	13	13	13	13	13	13	12	12	12
370	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11
380	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
390	11	11	11	10	10	10	10	10	10	10

Tabla 6 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO – 150 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
400	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9
410	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
420	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8
430	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
440	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7
450	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
460	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6
470	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
480	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5
490	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
500	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
510	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
520	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
530	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
540	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
550	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3
560	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
570	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
580	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
590	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
600	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2
610	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
620	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
630	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
640	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
650	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
660	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
670	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
680	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
690	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
700	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
710	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
720	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
730	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
740	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	5			0	5			0	5
750	1	1	790		1	1	830		1	1
760	1	1	800		1	1	840		1	1
770	1	1	810		1	1				
780	1	1	820		1	1				

Tabla 7

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 200 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
0	200	199	198	197	196	195	194	193	192	191
10	190	189	188	187	186	185	184	183	182	182
20	181	180	179	178	177	176	175	174	173	173
30	172	171	170	169	168	168	167	166	165	164
40	163	162	162	161	160	159	158	158	157	156
50	155	154	153	153	152	151	151	150	149	148
60	148	147	146	145	145	144	143	142	142	141
70	140	140	139	138	138	137	136	135	135	134
80	133	133	132	131	131	130	129	128	128	127
90	127	126	125	125	124	124	123	122	122	121
100	120	120	119	119	118	118	117	116	116	115
110	115	114	113	113	112	112	111	110	110	109
120	109	108	108	107	107	106	106	105	104	104
130	104	103	102	102	102	101	100	100	99	99
140	98	98	97	97	96	96	96	95	94	94
150	94	93	93	92	92	91	91	90	90	89
160	89	88	88	88	87	87	86	86	85	85
170	85	84	84	83	83	82	82	82	81	81
180	80	80	80	79	79	78	78	78	77	77
190	76	76	76	75	75	74	74	74	73	73
200	73	72	72	71	71	71	70	70	70	69
210	69	69	68	68	68	67	67	66	66	66
220	66	65	65	65	64	64	64	63	63	63
230	62	62	62	61	61	61	60	60	60	60
240	59	59	59	58	58	58	58	57	57	57
250	56	56	56	56	55	55	55	54	54	54
260	54	53	53	53	52	52	52	52	51	51
270	51	51	50	50	50	50	49	49	49	49
280	48	48	48	48	47	47	47	47	46	46
290	46	46	46	45	45	45	45	44	44	44
300	44	44	43	[illegible]	43	43	42	42	42	42
310	42	41	41	[illegible]	41	41	40	40	40	40
320	40	39	39	[illegible]	39	39	38	38	38	38
330	38	37	37	37	37	37	36	36	36	36
340	36	36	35	35	35	35	35	34	34	34
350	34	34	34	33	33	33	33	33	32	32
360	32	32	32	32	32	32	31	31	31	31
370	31	30	30	30	30	30	30	29	29	29
380	29	29	29	29	29	28	28	28	28	28
390	28	28	27	27	27	27	27	27	27	26

Tabla 7 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 200 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
400	26	26	26	26	26	26	26	25	25	25
410	25	25	25	25	25	24	24	24	24	24
420	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23
430	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22
440	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21
450	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
460	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19
470	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
480	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17
490	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16
500	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15
510	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14
520	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
530	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13
540	13	13	13	13	13	13	13	12	12	12
550	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
560	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11
570	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
580	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
590	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
600	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9
610	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
620	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8
630	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
640	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
650	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
660	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
670	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6
680	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
690	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
700	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
710	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5
720	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
730	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
740	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
750	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
760	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
770	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
780	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
790	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Tabla 7 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 200 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
800	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
810	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
820	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
830	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
840	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
850	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
860	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
870	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
880	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2
890	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
900	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
910	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
920	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
930	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
940	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
950	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
960	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
970	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
980	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
990	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
1000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1010	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1020	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1030	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1040	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1050	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	5			0	5			0	5
1060	1	1	1110		1	1	1160		1	1
1070	1	1	1120		1	1	1170		1	1
1080	1	1	1130		1	1	1180		1	1
1090	1	1	1140		1	1	1190		1	1
1100	1	1	1150		1	1				

Tabla 8

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 250 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
0	250	249	248	247	246	245	244	243	242	241
10	240	239	238	237	236	235	234	233	232	231
20	231	230	229	228	227	226	225	224	223	222
30	222	221	220	219	218	217	216	215	214	213
40	213	212	211	210	209	208	208	207	206	205
50	204	204	203	202	201	200	199	198	197	196
60	196	195	194	193	192	192	191	190	189	188
70	188	188	187	186	185	185	184	183	182	181
80	181	180	179	178	177	177	176	176	175	174
90	174	173	172	171	171	170	170	169	169	168
100	167	167	166	165	165	164	164	163	162	161
110	160	160	159	159	158	157	157	156	156	155
120	154	154	153	152	152	151	151	150	149	148
130	148	147	146	146	145	145	144	144	143	143
140	142	142	141	140	140	139	139	138	137	137
150	136	136	135	135	134	134	133	132	132	131
160	131	130	130	129	129	128	128	127	127	126
170	126	125	125	124	124	123	123	122	122	121
180	121	120	120	119	119	118	118	117	117	116
190	116	115	115	114	114	114	113	113	112	112
200	111	111	110	110	109	109	108	108	108	107
210	107	107	106	106	105	105	105	104	104	103
220	103	103	102	102	101	101	101	100	100	99
230	99	99	98	98	97	97	97	96	96	95
240	95	95	94	94	93	93	93	92	92	91
250	91	91	90	90	89	89	89	88	88	87
260	87	87	87	86	86	86	86	85	85	84
270	84	84	83	83	82	82	82	82	81	81
280	81	81	80	80	79	79	79	79	78	78
290	78	78	77	77	76	76	76	76	75	75
300	74	74	74	73	73	73	73	72	72	71
310	71	71	71	70	70	70	70	69	69	69
320	69	68	68	68	67	67	67	66	66	66
330	66	66	65	65	65	65	64	64	64	63
340	63	63	63	62	62	62	62	61	61	61

Tabla 8 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 250 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
350	61	61	60	60	60	60	59	59	59	58
360	58	58	58	57	57	57	57	56	56	56
370	56	55	55	55	55	55	54	54	54	54
380	54	54	53	53	53	53	53	52	52	52
390	52	52	51	51	51	51	51	50	50	50
400	50	50	49	49	49	49	49	48	48	48
410	48	48	47	47	47	47	47	46	46	46
420	46	46	45	45	45	45	45	44	44	44
430	44	44	43	43	43	43	43	42	42	42
440	42	42	42	42	41	41	41	41	41	41
450	41	41	40	40	40	40	40	40	40	40
460	39	39	39	39	39	38	38	38	38	38
470	37	37	37	37	37	37	37	36	36	36
480	36	36	36	35	35	35	35	35	35	35
490	34	34	34	34	34	34	34	34	33	33
500	33	33	33	33	33	32	32	32	32	32
510	32	32	32	32	31	31	31	31	31	31
520	31	31	30	30	30	30	30	30	30	30
530	29	29	29	29	29	29	29	29	28	28
540	28	28	28	28	28	28	28	28	27	27
550	27	27	27	27	27	26	26	26	26	26
560	26	26	26	26	26	26	26	25	25	25
570	25	25	25	25	25	24	24	24	24	24
580	24	24	24	24	24	24	24	23	23	23
590	23	23	23	23	23	23	23	23	22	22
600	22	22	22	22	22	22	22	22	21	21
610	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20
620	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
630	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19
640	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18
650	18	18	18	18	18	18	18	18	17	17
660	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
670	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16
680	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15
690	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
700	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14
710	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
720	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13
730	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
740	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12

Tabla 8 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 250 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
750	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
760	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11
770	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
780	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10
790	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
800	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9
810	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
820	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
830	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8
840	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
850	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
860	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7
870	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
880	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
890	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
900	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
910	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
920	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
930	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
940	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
950	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
960	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
970	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
980	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
990	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1000	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1010	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1020	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1030	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1040	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1050	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1060	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1070	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1080	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1090	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1100	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1110	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1120	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1130	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2
1140	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Tabla 8 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 250 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
1150	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1160	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1170	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1180	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1190	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1200	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1210	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1220	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1230	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1240	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1250	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	0	5			0	5			0	5
1260	2	2	1310		1	1	1400		1	1
1270	1	1	1320		1	1	1450		1	1
1280	1	1	1330		1	1	1500		1	1
1290	1	1	1340		1	1	1550		1	1
1300	1	1	1350		1	1				

Tabla 9

RETENCION DE AGUA POR EL SUELO.– 300 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
0	300	299	298	297	296	295	294	293	292	291
10	290	289	288	287	286	285	284	283	282	281
20	280	279	278	277	277	276	275	274	273	272
30	271	270	269	268	268	267	266	265	264	263
40	262	261	260	260	259	258	257	256	255	254
50	254	253	252	251	250	249	248	248	247	246
60	245	244	244	243	242	241	240	240	239	238
70	237	236	236	235	234	233	232	232	231	230
80	229	228	228	227	226	225	225	224	223	222
90	222	221	220	219	219	218	217	216	215	215
100	214	214	213	212	212	211	210	209	209	208
110	207	207	206	205	204	204	203	202	202	201
120	200	200	199	198	198	197	196	196	195	194
130	194	193	192	192	191	191	190	189	189	188
140	187	187	186	186	185	184	184	183	182	182
150	181	181	180	179	179	178	178	177	176	176
160	175	175	174	173	173	172	172	171	171	170
170	170	169	168	168	167	167	166	166	165	164
180	164	163	163	162	162	161	160	160	159	159
190	158	158	157	157	156	156	155	155	154	154
200	153	153	152	152	151	151	150	150	149	149
210	148	148	147	147	146	146	145	145	144	144
220	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139
230	138	138	138	137	137	136	136	135	135	134
240	134	133	133	132	132	132	131	131	130	130
250	130	129	128	128	128	127	127	126	126	126
260	125	125	124	124	124	123	123	122	122	121
270	121	121	120	120	119	119	119	118	118	117
280	117	117	116	116	115	115	115	114	114	114
290	113	113	112	112	112	111	111	110	110	110
300	109	109	109	108	108	108	107	107	106	106
310	106	105	105	105	104	104	104	103	103	103
320	102	102	102	101	101	101	100	100	100	99
330	99	98	98	98	98	97	97	97	96	96
340	96	95	95	95	94	94	94	93	93	93
350	92	92	92	92	91	91	91	90	90	90
360	89	89	89	88	88	88	88	87	87	87
370	86	86	86	86	85	85	85	84	84	84
380	84	83	83	83	82	82	82	82	81	81
390	81	80	80	80	80	80	79	79	79	78

Tabla 9 continuación

RETENCION DE AGUA POR EL SUELO.– 300 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
400	78	78	78	77	77	77	77	76	76	76
410	76	75	75	75	74	74	74	74	74	73
420	73	73	72	72	72	72	72	71	71	71
430	71	70	70	70	70	70	69	69	69	68
440	68	68	68	68	67	67	67	67	66	66
450	66	66	66	65	65	65	65	64	64	64
460	64	64	63	63	63	63	63	62	62	62
470	62	62	61	61	61	61	61	60	60	60
480	60	60	59	59	59	59	59	58	58	58
490	58	58	57	57	57	57	57	56	56	56
500	56	56	55	55	55	55	55	54	54	54
510	54	54	54	53	53	53	53	53	52	52
520	52	52	52	52	51	51	51	51	51	50
530	50	50	50	50	50	50	49	49	49	49
540	49	49	48	48	48	48	48	48	47	47
550	47	47	47	47	46	46	46	46	46	46
560	46	45	45	45	45	45	45	44	44	44
570	44	44	44	44	44	43	43	43	43	43
580	43	42	42	42	42	42	42	42	42	41
590	41	41	41	41	41	41	40	40	40	40
600	40	40	40	39	39	39	39	39	39	39
610	38	38	38	38	38	38	38	38	38	37
620	37	37	37	37	37	37	36	36	36	36
630	36	36	36	36	36	36	35	35	35	35
640	35	35	35	34	34	34	34	34	34	34
650	34	34	33	33	33	33	33	33	33	33
660	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
670	32	31	31	31	31	31	31	31	31	31
680	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
690	30	29	29	29	29	29	29	29	29	29
700	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
710	28	27	27	27	27	27	27	27	27	27
720	27	26	26	26	26	26	26	26	26	26
730	26	26	26	26	25	25	25	25	25	25
740	25	25	25	25	25	24	24	24	24	24
750	24	24	24	24	24	24	24	24	23	23
760	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
770	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
780	22	22	22	22	22	21	21	21	21	21
790	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20

Tabla 9 continuación

RETENCION DE AGUA POR EL SUELO.– 300 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
800	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
810	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19
820	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
830	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
840	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17
850	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
860	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16
870	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
880	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15
890	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
900	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14
910	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
920	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
930	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
940	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12
950	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
960	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
970	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11
980	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
990	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10
1000	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1010	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1020	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1030	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1040	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1050	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1060	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1070	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1080	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1090	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1100	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
1110	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
1120	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
1130	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
1140	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1150	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1160	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1170	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1180	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1190	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5

Tabla 9 continuación

RETENCION DE AGUA POR EL SUELO.– 300 mm.

ETP	0	5		0	5		0	5
	Agua retenida por el suelo.							
1200	5	5	1300	4	4	1400	3	3
1210	5	5	1310	4	4	1410	3	3
1220	5	5	1320	4	4	1420	2	2
1230	5	5	1330	3	3	1430	2	2
1240	5	5	1340	3	3	1440	2	2
1250	4	4	1350	3	3	1450	2	2
1260	4	4	1360	3	3	1460	2	2
1270	4	4	1370	3	3	1470	2	2
1280	4	4	1380	3	3	1480	2	2
1290	4	4	1390	3	3	1490	2	2

Tabla 10

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 350 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
0	350	349	348	347	346	345	344	343	342	341
10	340	339	338	337	336	335	334	333	332	331
20	330	329	328	327	326	325	324	323	322	321
30	321	320	319	318	317	316	316	315	314	313
40	312	311	310	309	308	307	306	305	305	304
50	303	302	301	300	299	299	298	297	296	295
60	294	294	293	292	291	290	289	288	287	286
70	286	285	284	283	282	282	281	280	279	278
80	278	277	276	275	274	274	273	272	271	270
90	270	269	268	267	266	266	265	264	263	263
100	262	262	261	260	259	259	257	256	256	255
110	255	254	253	252	251	251	250	250	249	248
120	248	247	246	245	244	244	243	243	242	241
130	241	240	239	238	237	237	236	236	235	234
140	234	233	233	232	231	231	230	229	228	227
150	227	226	226	225	224	224	223	223	222	221
160	221	220	220	219	218	218	217	217	216	215
170	215	214	214	213	212	211	211	210	209	208
180	208	208	207	207	206	205	205	205	204	203
190	203	202	202	201	200	200	199	199	198	197
200	197	196	196	195	194	194	193	193	192	191
210	191	190	190	189	189	188	188	187	187	186
220	186	185	185	184	183	183	182	182	181	181
230	181	180	179	179	178	178	178	177	176	176
240	175	175	174	174	173	173	173	172	171	171
250	170	170	169	169	168	168	167	167	166	166
260	166	165	165	164	164	163	163	162	162	161
270	161	161	160	160	159	159	158	158	157	157
280	156	156	155	155	154	154	154	153	153	152
290	152	152	151	151	150	150	150	149	149	148
300	148	148	147	147	146	145	145	144	144	143
310	143	143	142	142	141	141	140	140	140	139
320	139	139	138	138	137	137	137	136	136	135
330	135	135	135	134	134	134	133	133	133	132
340	132	132	131	131	130	130	130	129	129	128
350	128	128	127	127	126	126	126	125	125	124
360	124	124	123	123	122	122	122	122	121	121
370	121	121	120	120	120	119	119	119	118	118
380	117	117	117	116	116	116	116	115	115	115
390	114	114	114	113	113	112	112	112	111	111

Tabla 10 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 350 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
400	111	111	110	110	110	109	109	109	108	108
410	108	108	107	107	107	106	106	106	105	105
420	104	104	104	103	103	103	103	102	102	102
430	102	102	101	101	101	100	100	100	99	99
440	99	99	98	98	98	97	97	97	96	96
450	96	96	95	95	95	94	94	94	94	93
460	93	93	93	92	92	92	92	91	91	91
470	90	90	90	90	89	89	89	89	88	88
480	88	88	88	87	87	87	87	86	86	86
490	85	85	85	85	84	84	84	84	84	83
500	83	83	83	83	82	82	82	82	81	81
510	81	81	81	81	80	80	80	79	79	79
520	78	78	78	78	77	77	77	77	76	76
530	76	76	76	75	75	75	75	75	74	74
540	74	74	74	73	73	73	73	73	72	72
550	72	72	72	71	71	71	71	71	70	70
560	70	70	70	69	69	69	69	69	68	68
570	68	68	68	67	67	67	67	67	66	66
580	66	66	66	65	65	65	65	65	65	64
590	64	64	64	64	63	63	63	63	63	63
600	62	62	62	62	62	61	61	61	61	61
610	60	60	60	60	60	60	60	59	59	59
620	59	59	59	58	58	58	58	58	58	57
630	57	57	57	57	56	56	56	56	56	56
640	56	56	55	55	55	55	55	55	54	54
650	54	54	54	53	53	53	53	53	52	52
660	52	52	52	52	52	52	52	51	51	51
670	51	51	51	51	50	50	50	50	50	50
680	50	50	50	49	49	49	49	49	48	48
690	48	48	48	48	47	47	47	47	47	47
700	47	47	47	46	46	46	46	46	46	46
710	45	45	45	45	45	45	45	45	44	44
720	44	44	44	43	43	43	43	43	43	43
730	43	43	43	42	42	42	42	42	42	42
740	42	42	41	41	41	41	41	41	41	41
750	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
760	39	39	39	39	39	39	39	39	39	38
770	38	38	38	38	38	38	38	38	38	37
780	37	37	37	37	37	37	37	37	37	36
790	36	36	36	36	36	36	36	36	35	35

Los

Tabla 10 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 350 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
800	35	35	35	35	35	34	34	34	34	34
810	34	34	34	34	34	34	34	33	33	33
820	33	33	33	33	33	33	33	33	32	32
830	32	32	32	32	32	32	32	32	32	31
840	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30
850	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
860	30	30	30	29	29	29	29	29	29	29
870	29	29	29	28	28	28	28	28	28	28
880	28	28	28	28	27	27	27	27	27	27
890	27	27	27	27	27	27	27	26	26	26
900	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
910	26	26	26	25	25	25	25	25	25	25
920	25	25	25	25	24	24	24	24	24	24
930	24	24	24	24	24	24	24	24	24	23
940	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
950	23	23	23	23	22	22	22	22	22	22
960	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
970	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21
980	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20
990	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
1000	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19
1010	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
1020	19	19	19	18	18	18	18	18	18	18
1030	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
1040	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17
1050	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
1060	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16
1070	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
1080	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15
1090	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1100	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14
1110	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1120	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1130	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13
1140	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13

Tabla 10 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 350 mm.

ETP	0	5		0	5		0	5
	Agua retenida por el suelo							
1150	13	13	1300	8	8	1450	5	5
1160	12	12	1310	8	8	1500	5	5
1170	12	12	1320	8	8	1550	4	4
1180	12	12	1330	8	8	1600	4	4
1190	11	11	1340	8	8	1650	3	3
1200	11	11	1350	7	7	1700	3	3
1210	11	11	1360	7	7	1750	2	2
1220	10	10	1370	7	7	1800	2	2
1230	10	10	1380	7	7	1850	2	2
1240	10	10	1390	6	6	1900	2	2
1250	10	10	1400	6	6	1950	1	1
1260	9	9	1410	6	6	2000	1	1
1270	9	9	1420	6	6	2100	1	1
1280	9	9	1430	6	6	2200	1	1
1290	9	9	1440	6	6			

Tabla 11

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 400 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
0	400	399	398	397	396	395	394	393	392	391
10	390	389	388	387	386	385	384	383	382	381
20	380	379	378	377	376	376	375	374	373	372
30	371	370	369	368	367	366	366	365	364	363
40	362	361	360	359	358	357	357	356	355	354
50	353	352	351	350	349	348	348	347	346	345
60	344	344	343	342	341	340	339	338	337	336
70	335	335	334	333	332	331	330	329	328	327
80	327	326	325	324	323	323	322	321	320	319
90	319	318	317	316	315	315	314	313	312	311
100	311	310	309	308	307	307	306	305	304	303
110	303	303	302	301	300	300	299	298	297	296
120	296	295	294	293	292	292	291	290	289	288
130	288	288	287	286	285	285	284	283	282	282
140	281	281	280	279	278	278	277	276	275	275
150	274	274	273	272	271	271	270	269	268	268
160	267	267	266	265	264	264	264	263	262	261
170	261	260	260	259	258	257	257	256	255	255
180	254	254	253	252	252	251	251	250	249	248
190	248	248	247	246	245	245	244	244	243	242
200	242	242	241	240	239	239	238	238	237	236
210	236	236	235	234	233	233	233	232	231	231
220	230	230	229	228	228	227	227	226	225	225
230	224	224	223	223	222	222	221	221	220	219
240	219	218	218	217	216	216	216	215	215	214
250	213	213	213	212	211	211	211	210	209	209
260	208	208	207	207	206	205	205	204	204	203
270	203	202	202	201	200	200	200	199	199	198
280	198	197	197	196	196	195	195	194	194	193
290	193	192	192	191	191	190	190	189	189	188
300	188	188	187	187	186	186	185	185	184	184
310	183	183	182	182	181	181	181	180	180	179
320	179	179	178	178	177	177	176	176	175	175
330	174	174	174	173	173	172	172	172	171	171
340	170	170	169	169	168	168	168	167	167	166
350	166	166	165	165	164	164	164	163	163	162
360	162	162	161	161	160	160	160	159	159	158
370	158	158	157	157	156	156	156	155	155	154
380	154	154	153	153	152	152	152	151	151	150
390	150	150	149	149	148	148	148	147	147	146

Tabla 11 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 400 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
400	146	146	145	145	145	144	144	144	143	143
410	143	142	142	142	141	141	141	140	140	140
420	139	139	139	138	138	137	137	137	136	136
430	136	136	135	135	134	134	134	133	133	133
440	132	132	132	131	131	131	130	130	130	129
450	129	129	128	128	128	127	127	127	126	126
460	126	126	125	125	124	124	124	124	123	123
470	123	122	122	122	121	121	121	121	120	120
480	120	120	119	119	119	118	118	118	117	117
490	117	117	116	116	116	115	115	115	114	114
500	114	114	113	113	113	112	112	112	111	111
510	111	111	110	110	110	110	109	109	109	108
520	108	108	108	107	107	107	107	106	106	106
530	105	105	105	105	104	104	104	104	103	103
540	103	103	102	102	102	102	101	101	101	101
550	100	100	100	100	99	99	99	99	99	98
560	98	98	98	97	97	97	96	96	96	96
570	95	95	95	95	94	94	94	94	93	93
580	93	93	93	92	92	92	92	91	91	91
590	91	91	90	90	90	90	89	89	89	89
600	88	88	88	88	88	87	87	87	87	87
610	86	86	86	86	86	85	85	85	85	85
620	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83
630	82	82	82	82	82	81	81	81	81	81
640	80	80	80	80	80	79	79	79	79	79
650	78	78	78	78	78	77	77	77	77	77
660	76	76	76	76	76	75	75	75	75	75
670	74	74	74	74	74	73	73	73	73	73
680	72	72	72	72	72	71	71	71	71	71
690	70	70	70	70	70	70	69	69	69	69
700	69	68	68	68	68	68	68	68	67	67
710	67	67	67	67	66	66	66	66	66	66
720	65	65	65	65	65	65	64	64	64	64
730	64	64	64	63	63	63	63	63	62	62
740	62	62	62	62	61	61	61	61	61	61
750	61	60	60	60	60	60	60	60	60	59
760	59	59	59	59	59	58	58	58	58	58
770	58	58	58	57	57	57	57	57	57	56
780	56	56	56	56	56	56	55	55	55	55
790	55	55	55	54	54	54	54	54	54	54

Tabla 11 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 400 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
800	54	54	53	53	53	53	53	53	52	52
810	52	52	52	52	52	52	52	51	51	51
820	51	51	51	50	50	50	50	50	50	50
830	50	50	49	49	49	49	49	49	49	48
840	48	48	48	48	48	48	48	48	47	47
850	47	47	47	47	47	46	46	46	46	46
860	46	46	46	45	45	45	45	45	45	45
870	45	45	45	44	44	44	44	44	44	44
880	44	44	44	43	43	43	43	43	43	43
890	43	43	43	42	42	42	42	42	42	42
900	42	42	42	41	41	41	41	41	41	41
910	41	40	40	40	40	40	40	40	40	40
920	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
930	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
940	38	38	37	37	37	37	37	37	37	37
950	37	37	37	36	36	36	36	36	36	36
960	36	36	36	35	35	35	35	35	35	35
970	35	35	35	34	34	34	34	34	34	34
980	34	34	34	34	34	34	34	33	33	33
990	33	33	33	33	33	33	33	33	32	32
1000	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
1010	32	31	31	31	31	31	31	31	31	31
1020	31	31	31	30	30	30	30	30	30	30
1030	30	30	30	30	30	30	30	30	29	29
1040	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
1050	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
1060	28	28	28	27	27	27	27	27	27	27
1070	27	27	27	27	27	27	27	27	26	26
1080	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
1090	26	26	26	26	25	25	25	25	25	25
1100	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
1110	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
1120	24	24	24	24	24	24	24	24	24	23
1130	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
1140	23	23	23	22	22	22	22	22	22	22
1150	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
1160	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21
1170	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
1180	21	21	20	20	20	20	20	20	20	20
1190	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Tabla 11 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 400 mm.

ETP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retenida por el suelo									
1200	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19
1210	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
1220	19	19	19	18	18	18	18	18	18	18
1230	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
1240	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17
1250	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
1260	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16
1270	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
1280	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
1290	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15
1300	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1310	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1320	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1330	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1340	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1350	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
1360	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
1370	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
1380	13	13	13	13	13	12	12	12	12	12
1390	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1400	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1410	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1420	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1430	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
1440	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
1450	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
1460	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10
1470	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1480	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1490	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1500	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1510	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9
1520	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1530	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1540	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Tabla 11 continuación

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO.– 400 mm.

	0	5		0	5		0	5
			Agua retenida por el suelo					
1550	9	9	1750	6	5	1950	2	2
1560	8	8	1760	5	5	2000	2	1
1570	8	8	1770	5	5	2050	1	1
1580	8	8	1780	5	4	2100	1	1
1590	8	8	1790	4	4	2150	1	1
1600	8	8	1800	4	4	2200	1	1
1610	8	8	1810	4	4	2250	1	1
1620	8	8	1820	4	3	2300	1	1
1630	8	7	1830	3	3	2350	1	1
1640	7	7	1840	3	3	2400	1	1
1650	7	7	1850	3	3	2500	1	1
1660	7	7	1860	3	3	2600	1	1
1670	7	7	1870	3	3	2700	1	1
1680	6	6	1880	2	2	2800	1	1
1690	6	6	1890	2	2	2900	1	1
1700	6	6	1900	2	2	3000	1	1
1710	6	6	1910	2	2	3100	1	1
1720	6	6	1920	2	2	3200	1	1
1730	6	6	1930	2	2	3300	1	1
1740	6	6	1940	2	2	3400	1	1
						3500	1	1

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española
de Geografía

Concepción Fidalgo Hijano, doctora en Geografía, vinculada al Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid desde 1977 a través de una Beca de Formación de Personal Investigador del Ministerio de Educación. Es profesora universitaria desde 1979 y obtuvo la plaza de Catedrática de Geografía Física en 2011.
Fue Premio Extraordinario de Licenciatura en Filosofía y Letras y V Premio "Ciudad de Guadalajara". Ha efectuado su labor investigadora con notable regularidad en el seno de diferentes grupos de investigación y en el momento actual coordina el grupo de investigación "GEOHUMEDAL" reconocido por la UAM. Es autora de unos doscientos trabajos (revistas científicas, conferencias, congresos nacionales e internacionales, libros y capítulos de libros). Pertenece a diferentes Comités Científicos, colaborando en la organización de Reuniones Científicas.
Ha sido directora de varias tesis doctorales, participado en numerosos Proyectos de Investigación, así como miembro de múltiples Tribunales de Tesis Doctorales y de Provisión de plazas de Profesor Titular y Catedrático de Geografía Física en diversas universidades.
Posee 4 sexenios de investigación y 1 sexenio de transferencia.
Sus líneas de investigación se centran en: Estudio del medio Natural, Biogeografía, Biogeografía urbana, Evolución del Paisaje, Geografía Histórica, Edafogeografía y Fitoclimatología

Rafael Cámara Artigas, Doctor en Geografía Física por la Universidad de Sevilla en el año 1997 y Catedrático de Universidad por la Universidad de Sevilla. Ha sido Experto de Cooperación al Desarrollo en la Agencia Española de Cooperación Internacional en República Dominicana desde el año 1991 a 1994, ejecutando el Proyecto Parque Nacional Los Haitises. Desde 1994 es profesor de la Universidad de Sevilla, realizando una estancia de un año en 1998-99 en la Universidad Autónoma de Tamaulipas (México). Ha formado parte y liderado diversos proyectos de la AECID (2 como IP) como asesor científico de la Universidad de Sevilla en República Dominicana, Cuba, Costa Rica, México, Panamá, Colombia, Brasil, Mauritania, Guinea Ecuatorial y Burkina Faso, y ha colaborado como profesor en masters internacionales en Bolivia, Brasil y Argentina. Ha realizado estancias de investigación en las Universidades de Burdeos (Francia) y Eichstatt (Baviera, Alemania).
Se ha especializado en Cooperación Técnica al desarrollo en las líneas de Biogeografía (especialmente biogeografía Tropical), Bioclimatología, y Ordenación de recursos naturales.
Organizó en 2011 la XVII Jornadas de Campo de Biogeografía en Doñana, en 2014 el VIII Congreso Nacional de Biogeografía en Sevilla, en 2018 las 33 Jornadas de Campo de Geografía Física en Andalucía Occidental.
Ha publicado 35 publicaciones científicas en revistas, además de libros y capítulos de libros. Posee 2 sexenios de investigación y 1 de transferencia. Ha dirigido 12 tesis doctorales, 10 de ellas en ámbitos tropicales de México, Brasil, Burkina Faso y República Dominicana.
Actualmente es presidente del Grupo de Geografía Física de la AGE desde 2011.

La Fitoclimatologia constituye una disciplina a caballo entre el estudio del clima y el de los elementos vegetales. Algunos investigadores la denominan también Bioclimatología si bien el término Fitoclimatologia alude con mayor concreción a esa relación vegetación (Fito-) y clima (-climatología).

Dentro del ámbito fitoclimático la incorporación de los datos de clima al estudio vegetal requiere una síntesis que se ha plasmado en el desarrollo de índices y diagramas. Entre ellos la Metodología de los Diagramas Bioclimáticos (así denominados a pesar de ser un método diseñado para el estudio solo de los elementos vegetales) se erige en el más completo y capaz de considerar todos y cada uno de los factores que conforman el hábitat donde se desarrolla la vegetación. Es necesario que la comunidad científica, esencialmente la dedicada al ámbito de la Biogeografía, maneje este método y le dé el lugar que le corresponde.

GEOGRAFÍA FÍSICA

AGE
Asociación Española de Geografía