

# METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE UN MICROCLIMA

Pfª. Dª. Amaya Castro Izquierdo.

*Doctora en Ciencias Físicas. Laboratorio de Física de la Atmósfera. Universidad de León.*

Resumen de la conferencia pronunciada en la sede de la Sociedad Española de Hidrología Médica el 15 de noviembre de 2.001.

## RESUMEN

En una cura balnearia son influyentes los efectos que ejerce el clima sobre la salud. Es conveniente conocer si el entorno geográfico donde se ubica un balneario tiene un microclima, ya que entonces conoceremos con precisión las indicaciones o contraindicaciones climáticas del balneario. La bibliografía sobre determinación de microclimas es escasa. El presente artículo resume la conferencia pronunciada por la autora, en donde se expusieron los métodos aceptados científicamente para llegar a determinar si un balneario dispone o no de un microclima: la forma de abordar el estudio, la selección de observatorios, la estación de medida del balneario, el estudio de los datos, la elaboración y condiciones de las series de datos, así como el estudio comparativo de las series homogéneas de datos para llegar a conocer la posible existencia de un microclima.

**Palabras clave:** metodología, microclima, balneario

## RESUMÉ

Les effets climatologiques sur la santé sont influents dans les cures thermales. Il convient de savoir si l'environnement géographique où il se trouve une station thermale, jouit d'un micro-climat, afin de connaître exactement les indications et contre-indications climatiques de la station thermale. La bibliographie sur la détermination des micro-climats est limitée. Le présent article est un résumé de la conférence de l'auteur, où il a expliqué les

méthodes acceptées scientifiquement, pour déterminer si une station thermale se trouve oui ou non dans un micro-climat : la manière d'aborder l'étude, la sélection des observatoires, la station de mesure de la station thermale, l'étude des dates, l'élaboration et les conditions des séries de dates, ainsi que l'étude comparative des séries homogènes des dates, afin de connaître l'existence possible d'un micro-climat.

**Mots clés:** méthodologie, micro-climat, station thermale

## SUMMARY

There is a marked influence of the climatological effects on health, during a thermal treatment. It is convenient to know if the geographical environment where a Spa is situated, benefits of a micro-climate, so that we can be assured of the climatological indications and counter-indications of the thermal spa.

The bibliography on micro-climats is limited. The present article summarizes the conference that the author gave and where she explained the scientifically accepted methods to determine if a thermal spa has or not a micro-climate: the way to approach the study, the selection of the observatories, the measure station of the spa, the study of given facts, the elaboration and conditions of the series of facts, as well as a comparative study of the homogenous series, so as to know the possible existence of a micro-climate.

**Key words:** methodology, micro-climate, spa

## 1. INTRODUCCION

La microclimatología estudia las características especiales que adquiere el clima en áreas sumamente reducidas como puedan ser una parcela de terreno, un almacén donde el aire queda confinado, la capa de aire comprendida entre el suelo y la altura que alcanza la vegetación, etc.; o en áreas no tan reducidas como una ciudad, un bosque o un balneario.

En un clima, los datos climáticos obtenidos en los diversos observatorios de la misma región no tienen diferencias estadísticamente significativas. Todos los observatorios son representativos de la zona. En un microclima, los datos obtenidos del lugar de estudio son estadísticamente diferentes de los de otros observatorios relativamente próximos, es decir, que el lugar de estudio no es representativo de la zona. Así pues, la distinción entre microclima y clima es la representatividad. No existe un límite para la extensión de terreno que debe abarcar. Una zona geográfica que posea un microclima es tan sólo una zona no representativa de su entorno.

En consecuencia para determinar si existe o no un microclima en un balneario es necesario obtener datos climáticos del balneario y de varios observatorios próximos de su entorno, y demostrar que el clima del balneario es diferente al clima de los observatorios próximos.

Se debe comenzar sospechando de que pueda existir un clima diferente en el balneario al clima de su entorno, ya que poner en marcha un estudio climático por mera curiosidad puede suponer un gran esfuerzo baldío. La determinación de un microclima conlleva años de observación y un proceso estadístico complejo. Algunos estudios previos deberían ser el punto de partida y justificarían plenamente el estudio. Por otra parte la simple observación y opinión que los habitantes de la zona de estudio tienen acerca de algunas variables meteorológicas fácilmente observables como son la temperatura, precipitación, viento, humedad o nubosidad y que ellos consideran que son distintas en el balneario respecto a su entorno puede ser en algunos casos concretos el primer indicio de que existe un microclima. Suele ser mas frecuente encontrar microclimas en por ejemplo, pequeños valles, zonas de cultivos diferentes, bosques, playas o en suelos de naturaleza distinta a la de su entorno.

## 2. ELECCIÓN DE LOS OBSERVATORIOS Y ELEMENTOS CLIMÁTICOS

En primer lugar, hay que conseguir de datos de un observatorio ubicado en el balneario y también de los observatorios mas próximos. Todo ellos deben estar en la misma comarca histórico-geográfica y a la menor distancia posible del balneario. Podemos conocer la ubicación de observatorios a través del Instituto Nacional de Meteorología, Cuencas Hidrográficas, Aeropuertos o Particulares. A la vez en estos organismos nos pueden facilitar los datos

| <i>Elementos climáticos</i> |
|-----------------------------|
| Radiación solar             |
| Temperatura                 |
| Precipitación               |
| Humedad relativa            |
| Viento                      |
| Nubosidad                   |
| Visibilidad                 |
| Presión atmosférica         |
| Evaporación                 |

**Tabla 1. Elementos climáticos.**

climáticos de sus observatorios (pagando las tasas correspondientes). Si no disponemos de datos de observatorios próximos, el estudio no tendrá resultados estadísticamente significativos y no se debiera de hacer.

El problema surge cuando el balneario no dispone de un observatorio meteorológico con datos históricos. En este caso hay que proceder a instalar cuanto antes una estación meteorológica de medida propia, automática o manual.

Una vez localizados los observatorios hay que conseguir de ellos los datos del mayor número de elementos climáticos (tabla 1), y posteriormente se pueden hallar valores estadísticos medios, desviaciones estándar y algunos de los índices y coeficientes habituales para los estudios climáticos como pueden ser el coeficiente pluviométrico estacional, el índice de concentración estacional de la pluviometría de los que trataremos más adelante.

También puede ser interesante conocer la Insolación absoluta, la Insolación relativa, la Intensidad de precipitación o la evapotranspiración potencial.

## 3. SERIES CLIMÁTICAS

Los datos deben de recopilarse en series de 30 años o de múltiplos de 30, por ejemplo: 1.961-1.990, 1.901-1.990 siendo la serie de 30 años la recomendada por la Organización Mundial de Meteorología. Otras series que se pueden usar son las series de decenios, iniciando la serie en los años terminados en 1, por ejemplo: 1.961-1.970; series de 11 años por el ciclo de las manchas solares; series de 50 años. En todas las series conviene prolongarlas hacia atrás el número de años máximo posible.

## 4. RELLENO DE LAGUNAS

En las series de datos climáticos es frecuente que nos encontremos que falta algún dato por ejemplo: a un observatorio le faltan los datos de febrero de 1.984. Esta circunstancia se denomina existencia de una "laguna" o "hueco" en la serie. Entonces hay que proceder a rellenar todas las lagunas o huecos para completar la serie, es decir buscar el valor más aproximado al valor real. Esto se hace mediante muchos métodos. Uno de ellos es el método de Normal-Ratio (Paulhus y Kohler, 1952). En este método se eligen 3 o más "observatorios de referencia" próximos al observatorio problema y que contengan los datos que le faltan al observatorio problema. Se hace una correlación lineal entre la serie del mes de cada observatorio de referencia y la serie del observatorio problema. Se

eligen los 3 observatorios de mayor coeficiente de correlación. El promedio ponderado con la media de las tres series elegidas nos da el dato que nos falta:

$$P_x = \frac{M_x}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{P_i}{M_i}$$

- $P_x$  Dato a estimar (de un mes y año cualquiera del observatorio problema)  
 $M_x$  Media de los datos mensuales correspondientes al observatorio problema  
 $P_i$  Datos conocidos de los observatorios de referencia correspondientes a igual mes y año del dato a estimar  
 $M_i$  Media de los datos mensuales correspondientes a cada observatorio de referencia

| Años                                                                          | Observatorio<br>Nº 1 | Observatorio<br>Nº 2 | Observatorio<br>Nº 3 | Observatorio<br>Nº 4 | Observatorio<br>problema |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| 1961                                                                          | 164,8                | 312,7                | 252,6                |                      | 141,3                    |
| 1962                                                                          | 128,2                | 146,5                | 115,9                | 116,5                | 113,5                    |
| 1963                                                                          | 125,3                | 210,9                | 111                  | 191,8                | 187                      |
| 1964                                                                          | 29                   | 112,9                | 22                   | 47,6                 | 47                       |
| 1965                                                                          | 148,1                | 364,7                | 221                  | 83                   | 176,2                    |
| 1966                                                                          | 43,1                 | 131,7                | 92                   | 126                  | 63,6                     |
| 1967                                                                          | 53,4                 | 123,2                | 105                  | 93                   |                          |
| 1968                                                                          | 227,1                | 143,9                | 228                  | 543                  | 224,3                    |
| 1969                                                                          | 61,7                 | 226                  | 78                   | 113                  | 98,1                     |
| 1970                                                                          | 29,1                 | 36                   | 47                   | 64                   | 28,7                     |
| 1971                                                                          | 61,5                 | 111,5                | 41                   | 89                   | 42,3                     |
| 1972                                                                          | 62                   | 194                  | 163                  | 334                  | 162                      |
| 1973                                                                          | 101,6                | 194                  | 120                  | 243                  | 113,3                    |
| 1974                                                                          | 30,2                 | 62                   | 24                   | 56                   | 25,6                     |
| 1975                                                                          | 33,1                 | 64,5                 | 44                   | 70                   | 37,3                     |
| 1976                                                                          | 138,8                | 302                  | 183                  | 35                   | 166,5                    |
| 1977                                                                          | 198,7                | 476,5                | 266                  | 46                   | 207,8                    |
| 1978                                                                          | 368,2                | 908                  | 771                  | 1327                 | 379,4                    |
| 1979                                                                          | 72,5                 | 240                  | 176                  | 183                  | 77,6                     |
| 1980                                                                          | 62                   | 0                    | 142                  | 14                   | 65,8                     |
| 1981                                                                          | 414,2                | 597                  | 455                  | 437                  | 323,6                    |
| 1982                                                                          | 112,4                | 319                  | 211                  | 260                  | 110                      |
| 1983                                                                          | 181                  | 281                  | 238                  | 343                  | 205                      |
| 1984                                                                          | 63,5                 | 149,5                | 106                  | 0                    | 96,3                     |
| 1985                                                                          | 157,5                | 0                    | 217                  | 305                  | 167,4                    |
| 1986                                                                          | 75                   | 161                  | 92                   | 110                  | 64                       |
| 1987                                                                          | 150                  | 162                  | 120                  | 123                  | 98                       |
| 1988                                                                          | 8                    | 0                    | 67                   | 58                   | 8,9                      |
| 1989                                                                          | 265                  | 0                    | 267                  | 25                   | 201,4                    |
| 1990                                                                          | 37                   | 18,5                 | 59                   | 90                   | 35,7                     |
| Coefficientes de correlación lineal                                           | 0,93005855           | 0,76880244           | 0,89525479           | 0,73429486           |                          |
| Precipitaciones de los tres observatorios elegidos en Dic/1967                | A                    | B                    | C                    |                      |                          |
|                                                                               | 53,4                 | 123,2                | 105                  |                      |                          |
| Medias del mes de Dic/1967 de los tres observatorios elegidos en esos 30 años | E                    | F                    | G                    |                      |                          |
|                                                                               | 122,9                | 207,9                | 171,6                |                      |                          |
| Valor promedio ponderado                                                      | 72,7                 |                      |                      |                      |                          |

Tabla 2. Relleno de lagunas según método de Paulhus y Kohler. Correlaciones lineales y promedio ponderado.

El la tabla 2 mostramos un ejemplo. Observamos como al observatorio problema el falta el datos de precipitación del mes de Diciembre del año 1967. En este ejemplo se eligen 4 observatorios próximos donde esa precipitación sí es conocida y con cuyas series se hacen las correlaciones lineales correspondientes.

Una vez rellenadas las lagunas o huecos se construyen la serie anual y las series de las cuatro estaciones (tabla 3) a partir de los datos de los meses correspondientes: Primavera con marzo, abril y mayo; Verano con junio, julio y agosto; Otoño con septiembre, octubre, noviembre y la serie del Invierno con diciembre, enero y febrero.

| Años       | Primavera | Verano | Otoño | Invierno | Anual  |
|------------|-----------|--------|-------|----------|--------|
| 1961       | 257       | 34,9   | 284,1 | 319,4    | 895,4  |
| 1962       | 353,7     | 9,8    | 188,9 | 199,3    | 751,7  |
| 1963       | 307,4     | 88,7   | 376,5 | 479      | 1251,6 |
| 1964       | 221,4     | 85,8   | 167,4 | 243,5    | 718,1  |
| 1965       | 228,2     | 28     | 322   | 310,3    | 888,5  |
| 1966       | 312,1     | 176    | 291,5 | 664,6    | 1444,2 |
| 1967       | 252       | 57,5   | 260,1 | 255,1    | 824,7  |
| 1968       | 367,4     | 59,7   | 308,4 | 478,5    | 1214   |
| 1969       | 381,4     | 90,6   | 386,3 | 520,6    | 1378,9 |
| 1970       | 185,4     | 110,7  | 147,4 | 525,5    | 969    |
| 1971       | 436,4     | 214,6  | 114,5 | 344      | 1109,5 |
| 1972       | 262,8     | 54,8   | 388,8 | 603      | 1309,4 |
| 1973       | 238,9     | 112,6  | 204,2 | 317,4    | 873,1  |
| 1974       | 149,8     | 144,3  | 189,2 | 407      | 890,3  |
| 1975       | 208,4     | 108,8  | 165,4 | 231,5    | 714,1  |
| 1976       | 129,5     | 161,5  | 391,6 | 323,5    | 1006,1 |
| 1977       | 190,6     | 173,6  | 161   | 549,9    | 1075,1 |
| 1978       | 279,4     | 37,3   | 81,9  | 738,4    | 1137   |
| 1979       | 306,9     | 49,7   | 323,9 | 529,6    | 1210,1 |
| 1980       | 250,9     | 64,5   | 190   | 214,5    | 719,9  |
| 1981       | 201,4     | 34,5   | 221   | 402,9    | 859,8  |
| 1982       | 78,1      | 85,3   | 351,6 | 267,4    | 782,4  |
| 1983       | 319,9     | 128,5  | 143,5 | 315,9    | 907,8  |
| 1984       | 256,8     | 134,1  | 320,1 | 259,4    | 970,4  |
| 1985       | 220,6     | 39,8   | 144,8 | 445,8    | 851    |
| 1986       | 128,1     | 49,5   | 238,6 | 358,4    | 774,6  |
| 1987       | 211,7     | 91,2   | 368   | 279,9    | 950,8  |
| 1988       | 186,5     | 133,2  | 182,2 | 261,1    | 763    |
| 1989       | 207,7     | 60,2   | 254,9 | 332,5    | 855,3  |
| 1990       | 131       | 50,3   | 209,7 | 163      | 554    |
| media      | 242,0     | 89,0   | 245,9 | 378,0    | 955,0  |
| desviación | 82,1      | 51,1   | 91,2  | 145,6    | 218,0  |
| máximo     | 436,4     | 214,6  | 391,6 | 738,4    | 1444,2 |
| mínimo     | 78,1      | 9,8    | 81,9  | 163      | 554    |

Tabla 3. Datos de precipitaciones medias de las 4 series estacionales y de la serie anual. Media, desviación estándar, valores máximos y mínimos de cada serie.



## 5. HOMOGENEIDAD DE LAS SERIES

Las series una vez completas deben ser estudiadas estadísticamente.

Hay que tener en cuenta que las series abarcan periodos de muchos años. En ese tiempo han podido haber cambios en el observatorio. Por ejemplo ha podido cambiar la ubicación del observatorio, su entorno físico, sus instrumentos de medida, etc. Estos cambios han podido afectar a los datos que recoge el observatorio. Para evaluar el efecto que estos cambios han tenido en los datos medidos se verifica la homogeneidad de las series. Se trata de determinar cambios o saltos bruscos en los datos registrados. Cambios más suaves en los datos se determinarán con estudios de homogeneidad pero con otros métodos como el test de secuencias de rachas, o el test de tendencias como el de Mann-Kendall, que nos permite determinar incluso el año del cambio o inicio de la tendencia en la variable meteorológica estudiada.

Una serie es homogénea cuando es muestra de una sola población de datos. Para verificar la homogeneidad se aplican diferentes métodos y entre ellos por las pocas restricciones que impone a las series ya que por ejemplo no exige la normalidad de las mismas destaca el Test no-paramétrico de homogeneidad de Kruskal-Wallis (Calvo, 1.987). Este test determina si ha habido saltos importantes en los datos y halla el valor del estadístico H examinando la hipótesis nula de que las K muestras independientes provengan de la misma población o de poblaciones similares. En nuestro ejemplo el número de muestras K vale 30, es decir 30 muestras con 12 datos cada muestra, una por cada mes. El estadístico H sigue aproximadamente la distribución  $\chi^2$  con tantos grados de libertad como número de muestras menos uno (g.l.=K-1). En nuestro caso para un nivel de significación de 0.05, H debe ser superior a 42.56 con 29 grados de libertad. Hay que examinar la homogeneidad de todos los observatorios utilizados y para facilitar el estudio estadístico se recurre a los paquetes informáticos habituales: SPSS STATISTICA, BMDP, SAS,...

La verificación de la homogeneidad de las series es fundamental para que el estudio sea válido. Los observatorios cuyas series no sean homogéneas deben de ser descartados. Si ningún observatorio tiene las series homogéneas, el estudio no se debe llevar a cabo.

## 6. ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE MEDIDA

Ya hemos comentado que el problema mayor estriba si ni en el balneario ni en un entorno muy cercano hay una estación con datos históricos. Una vez validados los observatorios próximos, tendremos que instalar una estación de medida u observatorio meteorológico en el balneario y tomar datos durante, al menos, cinco años. Hoy en día existen estaciones automáticas de uso generalizado que se sitúan en pequeñas torres habitualmente a 3, 7 y 10 metros de altura. Para su ubicación se deben evitar colinas escarpadas o barrancos, acantilados cercanos y la proximidad de fuertes desniveles. Se debe situar en la parte más llana de la zona y en un lugar en el que desde el observatorio no se puedan ver obstáculos con ángulos de observación superiores a 10°.

En el caso de no usar estaciones automáticas se instalará una garita meteorológica elevada a 1.5 m del suelo y se dotará con los siguientes instrumentos de medida, donde se indica el elemento climático que mide entre paréntesis :

- Sicrómetro (humedad relativa)
- Termómetros de máximas y mínimas (temperatura)
- Evaporímetro (evaporación)
- Barógrafo (presión)
- Termohigrógrafo (temperatura y humedad)

Además se instalará en una torre de 10 m. de altura un anemómetro y una veleta para conocer la velocidad y dirección del viento. La precipitación se determinará con un Pluviógrafo -a 1.5 m del suelo- y si es posible se instalará un Heliógrafo para conocer la insolación o número de horas de sol si esa observación se considera importante para nuestra zona de estudio.

La instrumentación hoy en día es muy variada y se elegirá en función del presupuesto y de los medios humanos disponibles.

## 7. DATOS OBTENIDOS

Cada aparato de medida proporciona una serie de datos pero por ejemplo el estudio de la temperatura y de la precipitación en un observatorio va más allá del mero registro de la mismas. Aquí indicamos algunos de los aspectos y valores de interés que podemos hallar y que nos servirán también para conocer el clima en el observatorio y para compararlos con los de los observatorios próximos.

### • TEMPERATURA DEL AIRE

Podemos determinar valores como la:

Tª máxima diaria

Tª mínima diaria

$$T^{\circ} \text{ media diaria } \quad \bar{T} = \frac{T_{\text{max}} + T_{\text{min}}}{2}$$

Tª media máxima mensual

Tª media mínima mensual

Tª media mensual ( a partir de las Tª medias diarias)

Tª medias estacionales

Tª media anual

Oscilación diaria = T<sub>max</sub> - T<sub>min</sub>

Oscilación media anual = Tª media mes más cálido - Tª media mes más frío

### • EVAPORACIÓN

Determinar los mm de agua evaporada al día. Se puede medir con el evaporímetro de Piché o el atmómetro de Livingstone. También con los tanques de evaporación. Estos son de varios tipos: tanques sobre el suelo, tanques enterrados, evaporímetros de nivel constante y tanques de evaporación GGI 3000.

### • HUMEDAD RELATIVA

Determinación de la humedad relativa en % una o varias veces al día.

### • EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

Es la cantidad máxima posible de agua que perdería el suelo por evaporación física y por evaporación vegetal, suponiendo que el suelo estuviera saturado de humedad y cubierto de vegetación. La evaporación real es menor que la potencial.

La evapotranspiración potencial se mide con lisímetros que pueden ser de pesada y de flotación (estos están rodeados de terreno con vegetación). Son instalaciones muy complejas y caras. Los observatorios habitualmente no los tienen instalados y solamente cuentan con ellos los grandes centros meteorológicos. Por ello se recurre a fórmulas matemáticas que utilizan variables fácilmente medibles, existiendo varias formas de evaluar la evapotranspiración potencial (fórmulas de Turc, de Penman, de Thornthwaite, ecuación de Thornthwaite y Holtzman, de Sutton-Castaños). La más utilizada es la de Thornthwaite y en la tabla 4 se muestra por ejemplo como se hallarla la evapotranspiración potencial con la ecuación de Sutton-Castaños.

$$E = 0.113 (E_{sa} - e) \left( \frac{U}{24} \right)^{0.78} \left( \frac{R_G}{R_O} \right)$$

|                 |                                            |                   |
|-----------------|--------------------------------------------|-------------------|
| E               | evaporación                                | g/cm <sup>2</sup> |
| E <sub>sa</sub> | tensión saturante a la Tª del suelo o agua | hPa               |
| e               | tensión efectiva a la Tª del suelo o agua  | hPa               |
| U               | recorrido del viento                       | km/día            |
| R <sub>G</sub>  | radiación global en el suelo               | W/m <sup>2</sup>  |
| R <sub>O</sub>  | valor medio de la radiación                | W/m <sup>2</sup>  |

**Tabla 4. Ecuación de Sutton-Castaños para determinar la evaporación.**

### • VIENTO: INTENSIDAD Y DIRECCIÓN

Se hallan rosas de vientos de 16 o 32 direcciones e intensidades de viento promedios para cada dirección.

### • PRECIPITACIÓN

Esta variable al igual que la temperatura admite hacer estudios más amplios ya que podemos determinar:

Precipitación diaria  
Precipitación mensual  
Precipitación estacional  
Precipitación anual  
Precipitación media mensual  
Precipitación media estacional  
Precipitación media anual

En relación con la precipitación puede ser importante conocer:

Nº días lluvia (nieve, granizo) al mes  
Nº días lluvia (nieve, granizo) en cada estación  
Nº días lluvia (nieve, granizo) al año  
Nº días precipitación > 0.1 mm  
> 1 mm  
> 10 mm  
> 30 mm

Rachas de precipitación (2, 3, 4, ... días seguidos)

Intensidad de precipitación : mm/hora

Además puede ser conveniente determinara algunos coeficientes o índices:

Coficiente pluviométrico estacional : Establece si una estación climática (primavera, verano, otoño, invierno) es más o menos lluviosa, o más o menos seca (tabla 5).

$$CP_e = \frac{365 \times P_e}{D \times P_a}$$

$P_e$  precipitación media estacional

$P_a$  precipitación media anual

$D$  nº de días de la estación climática

$CP_e = 1$  significa que en esa estación climática recibe la precipitación justa que le correspondería en una distribución equitativa del total anual.

**Tabla 5. Coeficiente Pluviométrico Estacional.**

*Índice de concentración estacional:* Se usa cuando las precipitaciones se concentran en unos pocos meses al año. Por ejemplo: si se originan en tres meses, definiremos un índice de concentración, donde en el numerador se suman las precipitaciones de los tres meses de mayor precipitación y en el denominador los restantes (tabla 6)

$$I_3 = \frac{\sum_{i=1}^3 P_i}{\frac{1}{3} \sum_{i=4}^{12} P_i}$$

$I_3$  debe ser claramente superior a la unidad para que tenga significado.

**Tabla 6. Índice de concentración estacional.**

*Índice de concentración acusada o índice de agresividad:* este índice se determina cuando las precipitaciones tienen un máximo muy acusado y breve, por ejemplo: en un solo mes (tabla 7)

$$K = \frac{P^2}{R}$$

$P$  precipitación del mes más lluvioso

$R$  precipitación total anual

**Tabla 7. Índice de concentración acusada o agresividad.**

## • RADIACIÓN SOLAR

Es la radiación solar que llega al suelo medida en cal/cm<sup>2</sup> día. Además se suele determinar:

*Insolación absoluta:* número de horas diarias de duración de la radiación solar.

*Insolación relativa:* Tanto por ciento de la radiación solar recibida en el día. Se calcula mediante la fórmula  $I = 100 - 10N$  donde  $I$  es la insolación relativa en % y  $N$  la nubosidad media en décimas.

## • NUBOSIDAD

Mide la fracción de cielo cubierto de nubes (tabla 8).

|                       |         |             |
|-----------------------|---------|-------------|
|                       | $N = 0$ | Despejado   |
| $1/8 \leq N \leq 3/8$ |         | Poco nuboso |
| $4/8 \leq N \leq 5/8$ |         | Nuboso      |
| $6/8 \leq N \leq 7/8$ |         | Muy nuboso  |
| $N = 8$               |         | Cubierto    |

**Tabla 8. Nubosidad.**

## 8. ESTUDIO ESTADÍSTICO, COMPARACIÓN DE LAS SERIES Y DETERMINACIÓN DEL CLIMA

Con todos estos datos recogidos de la estación de medida del balneario durante cinco años, y con los datos de los observatorios próximos se está en condiciones de hallar valores estadísticos (medias, medianas, desviaciones estandar,...) y algunos de los muchos índices climáticos para cada año o serie de años que se encuentran en la bibliografía y que se mencionan más adelante.

No nos debemos olvidar que previamente hay que elaborar tal y como se ha explicado anteriormente las series climáticas mensuales, rellenando las lagunas o huecos y comprobando si son homogéneas.

Posteriormente se comparan los datos de la estación del balneario con los de los observatorios validados mas próximos. La comparación se hace con cualquiera de los test usuales (test de Mann-Kendall, test de medias, test de varianzas, etc.) y se determina si las diferencias encontradas son significativas. A la vez se analiza si alguno de los factores del clima afecta especialmente a nuestra zona de estudio (vientos locales por la orientación, brisas marinas, continentalidad, islas térmicas, etc.) ya que en muchos casos tienen una gran importancia. Si las diferencias encontradas no son significativas no hay microclima. Si son significativas se determina el

clima del observatorio del balneario y se compara con el clima de los demás observatorios validados de la zona. Entonces es cuando se puede establecer si el balneario tiene o no tiene un microclima.

## 9. CLASIFICACION DE LOS CLIMAS

Se puede definir el clima como la sucesión de los diferentes tipos de tiempo que se producen en un lugar concreto de la tierra. La división de la tierra en regiones o zonas climáticas es difícil de determinar, ya que casi nunca se pasa de un clima a otro atravesando una frontera. Hay numerosas clasificaciones de los climas. Las cuatro clasificaciones mas utilizadas son:

- Clasificación de climas de Köppen
- Clasificación de climas de Thornthwaite
- Clasificación agroclimática de Papadakis
- Clasificación bioclimática de la UNESCO-FAO

Existen otras clasificaciones, muchas de ellas basadas en índices y coeficientes que permiten hacer una clasificación rápida y sencilla del clima del observatorio (Clasificación de Budyko, Índice de Lang o factor de pluviosidad de Lang (I), Índice de aridez de Martonne ( $I_m$ ), Índice termopluviométrico de Dantin Cereceda y Revenga Carbonell ( $i_{ar}$ ), Índice de Emberguer ( $i_e$ ), Coeficiente de aridez o de continentalidad de W. Gorczynski (g), Índice de aridez de Gaussen, Coeficiente de humedad de Angström, etc.)

En este resumen sólo se hará una mención especial a la clasificación de climas de KÖPPEN por ser la clasificación más utilizada universalmente, pudiéndose encontrar las demás en la bibliografía existente (Fernández, 1975).

### CLASIFICACION DE CLIMAS DE KÖPPEN

Su idea de partida es que la vegetación natural es un indicador del clima. Tiene en cuenta los elementos climáticos de precipitación y temperaturas, así como ciertas variaciones estacionales y la distribución de precipitaciones dentro del año. Para clasificar a los climas en este grupo Köppen establece el índice K (tabla 9).

|         |                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------|
| K=2T    | cuando el máximo de precipitación ocurre en invierno    |
| K=2T+14 | cuando la precipitación se reparte en el año            |
| K=2T+28 | cuando el máximo de precipitación tiene lugar en verano |
| Donde T | es la temperatura media anual en °C                     |

Tabla 9. Índice K.

Tiene 5 grupos de clima fundamentales y dentro de ellos subgrupos y variedades.

Grupos fundamentales :

- A: Clima tropical lluvioso
- B: Clima seco
- C: Clima templado húmedo
- D: Clima templado de invierno frío o Clima de bosque
- E: Clima polar o glacial

Los 5 grupos se subdividen en subgrupos:

- f: lluvioso todo el año, ausencia de periodo seco.
- s: presencia de estación seca en verano
- w: estación seca en invierno
- m: precipitación tipo monzónico

De la combinación de letras resultan 12 climas (tabla 10). Para matizar el régimen térmico se hace uso de una tercera letra, donde las más significativas son:

- a: donde la temperatura del mes más cálido es superior a 22°C ( $t_c > 22^\circ\text{C}$ )
- b:  $t_c < 22^\circ\text{C}$ , pero con temperaturas medias de al menos cuatro meses por encima de los 10°C
- c: menos de cuatro meses tienen temperatura media superior a 10°C
- d: el mes más frío está por debajo de los -38°C
- h: la temperatura media anual es superior a 18°C
- k: la temperatura media anual es inferior a 18°C

Para terminar, son numerosos los balnearios que tienen un microclima. Para asegurarse de que realmente disfruten de esta circunstancia debiera comprobarse la metodología por la que han llegado a esa conclusión. Hoy en día, los estudios climáticos permiten conocer con exactitud la presencia de un microclima.

### BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA:

- CALVO F. 1987. Estadística Aplicada. Ed. Deusto. 593 pp.
- CUADRAT J.M. Y PITA M.F. 1997. Climatología. Ediciones Cátedra. 496 pp.
- ESSENWANGER, O.M. 1986. World Survey of Climatology. Volume 1B. Elements of Statistical Analysis, Ed. Essevier, 264 pp.
- FERNÁNDEZ F. 1995. Manual de Climatología Aplicada. Clima Medio Ambiente y Planificación. Ed. Síntesis, 285 pp.



| TIPOS DE CLIMA DE KÖPPEN                                                                                                                                                                                                                              | FORMULA CLIMATICA                                                                                                                                                                                                                     | CARACTERISTICAS                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b><br><br>CLIMA TROPICAL LLUVIOSO<br><br>$t_f > 18^\circ\text{C}$<br>$P > 75 \text{ cm}$<br><br>No existe estación invernal<br>Precipitaciones abundantes                                                                                       | <b>Af</b> $P_{\min} > 60 \text{ mm}$<br>DE SELVA<br><br><b>Aw</b> $P_{\min} < 100 - P/25$<br>DE SABANA<br><br><b>Am</b> $60 > P_{\min} > 100 - P/25$<br>DE BOSQUE LLUVIOSO ó<br>MONZON                                                | Lluvia todo el año<br><br>Lluvia periódica,<br>invierno seco<br><br>Lluvias monzónicas                                                                           |
| <b>B</b><br><br>CLIMA SECO<br><br>$P < K$<br>La evaporación es superior a la<br>precipitación y no hay excedente<br>hídrico                                                                                                                           | <b>BS</b><br>DE ESTEPA (Semiárido)<br><br><b>BW</b><br>DE DESIERTO (Árido)                                                                                                                                                            | $P > K/2$<br><br>$P < K/2$                                                                                                                                       |
| <b>C</b><br><br>CLIMA TEMPLADO Y<br>HUMEDO<br><br>$-3^\circ\text{C} < t_f < 18^\circ\text{C}$<br>$t_c > 10^\circ\text{C}$                                                                                                                             | <b>Cw</b><br>TEMPLADO HUMEDO CON<br>INVIERNO SECO<br><br><b>Cs</b><br>TEMPLADO HUMEDO DE<br>VERANO SECO Y CALUROSO.<br>MEDITERRÁNEO<br><br><b>Cf</b><br>TEMPLADO HUMEDO SIN<br>ESTACION SECA (régimen de<br>precipitaciones uniforme) | $P_{\min}/P_{\max} < 1/10$<br><br>$P_{\min} < 30 \text{ mm}$ y además<br>$P_{\min}/P_{\max} < 1/3$<br><br>Demás casos                                            |
| <b>D</b><br><br>CLIMA TEMPLADO DE<br>INVIERNO FRIO (ó CLIMA DE<br>BOSQUE)<br><br>$t_f < -3^\circ\text{C}$<br>$t_c > 10^\circ\text{C}$                                                                                                                 | <b>Df</b><br>DE INVIERNO HUMEDO<br><br><b>Dw</b><br>DE INVIERNO SECO FRIO                                                                                                                                                             | Bosque frío sin estación seca.<br>Taiga con régimen de precipita-<br>ción uniforme<br><br>Bosque frío con invierno seco.<br>Taiga.<br>$P_{\min}/P_{\max} < 1/10$ |
| <b>E</b><br><br>CLIMA POLAR ó GLACIAL<br><br>$t_c < 10^\circ\text{C}$<br><br>No tienen estación cálida                                                                                                                                                | <b>ET</b><br>DE TUNDRA<br><br><b>EF</b><br>DE NIEVES PERPETUAS<br><br><b>EB</b><br>SECO DE ALTA MONTAÑA: DE<br>TUNDRA ó DE NIEVES PERPE-<br>TUAS                                                                                      | $t_c \geq 0^\circ\text{C}$<br><br>$t_c < 0^\circ\text{C}$                                                                                                        |
| P: precipitación total anual en mm. Pmin: precipitación mensual mínima en mm. t: temperatura media del mes más frío.<br>t: temperatura media del mes más cálido en °C. t: temperatura media de cualquier mes en °C. T: temperatura media anual en °C. |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                  |

Tabla 10. Clasificación climática de Köppen.