

CLIMA Y DÉFICIT HÍDRICO EN EL ECOSISTEMA ESTEPARIO DE LÉCERA, ESPAÑA

CLIMATE AND HYDRIC DEFICIT IN THE STEPPE ECOSYSTEM OF LÉCERA, SPAIN

Mario Blasco L.¹

Fecha de recepción: enero 26 de 2012

Fecha de aceptación: abril 15 de 2012

RESUMEN

Lécera (41°12' Lat N, 0°43' Long E, 530 msnm) es representativo de la estepa (alrededor de 10.000 km²) que ocupa la parte central del Valle del río Ebro, Zaragoza, España. La estepa de Lécera está situada sobre un sedimento del Terciario Miocénico (cálcico/gípsico). El promedio anual de los datos climatológicos es: 13,4 °C, lluvia 395,8 mm⁻¹ m⁻², humedad relativa 53,6 %, velocidad del viento 5,22 m⁻¹ sg⁻¹, radiación extraterrestre y radiación solar, 835 y 352,8 MJ m⁻² por mes⁻¹ respectivamente, y una insolación de 158,5 h⁻¹ por mes. De acuerdo con estos datos, el clima es semiárido, templado con influencia mediterránea (Mar Mediterráneo). Puede decirse que el cierzo, el viento fuerte y seco que barre toda la estepa, es un factor de desecación muy importante. R_{so} y la ecuación de FAO, Penman, Monteith, se utilizaron para medir, respectivamente, la evaporación y la evapotranspiración. La evaporación potencial neta alcanzó 1401,2 mm⁻¹ m⁻² por año, mientras que la evapotranspiración potencial neta equivalió a 1,508,8 mm⁻¹ m⁻² por año.

Palabras clave: evaporación, evapotranspiración

¹ Profesor Honorario Universidad de Nariño I.A., Ph.D. Socio Honorario Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Barcelona España.

ABSTRACT

The Lécera (41°12' Lat N, 0° 43' Long E, 530 m altitude) land is a representative part of the steppe (about 10,000 km.²) covering the central area of the river Ebro Valley, Zaragoza, Spain. The Lécera steppe is located over Tertiary Miocenic sediment (calcic/gypsic). The average climate data/year are: 13,4 °C, + 395.8 mm⁻¹ m⁻² rainfall, and 53,6% relative humidity, 5.22 m⁻¹sg⁻¹ wind speed, extraterrestrial radiation and solar radiation amounted 836 and 352,8 MJ m⁻² monthly respectively, insolation average was 158,6 h⁻¹ /month. According to those data, the climate is semiarid, temperate with mediterranean (Mediterranean Sea) influence. It can be said that *cierzo*, the dry and strong wind that sweeps the whole steppe, has a very important desiccation impact. Rso and FAO, Penman, Monteith equation were used to determine, respectively, evaporation and evapotranspiration. Net potential evaporation comes up to 1,401.2 mm⁻¹ m⁻².per year, and net potential evapotranspiration amounted to 1,508,8 mm⁻¹ m⁻² year, causing a very high hydric stress.

key words: evaporation, evapotranspiration

INTRODUCCIÓN

En general, se asume que la estepa rusa es la representación genuina de estos ecosistemas, como un espacio abierto, herbáceo, muy frío y húmedo, con suelos podzolizados (espodosoles). Es una apreciación alejada de la realidad. Izco (2004) presenta ejemplos de estepas boscosas en China y en las cercanías del Mar Rojo, con temperaturas desde frías a cálidas, mientras que las estepas de Asia Central son herbáceas, frías y secas.

Con relación al clima, los investigadores están de acuerdo en que sus cambios son consecuencia de las grandes catástrofes que, de tiempo en tiempo, afectan a nuestro Planeta (Olds, 2008). Entre las catástrofes bióticas ocurridas en épocas pretéritas, la más estudiada corresponde al límite superior del Cálcareo Jurásico (MacLeod y Keller, 1996), donde desapareció, prácticamente, todo vestigio de vida, como la publicitada extinción de los dinosaurios (en realidad su final estuvo en el Cretácico), a consecuencia de un conjunto de causas concurrentes como interacciones biológicas competitivas, volcanismo, cambio

en los niveles oceánicos, impacto de meteoritos como el caído hace 65 millones de años en Chicxukub (México), de 10 km de diámetro (Pickering, 2000), tal vez el mayor de todos ellos en esa época. Olds (2008) señala que han existido cuatro grandes glaciaciones, la última en el Terciario hace 15 millones de años, bajo cuya influencia nos encontramos. Con el Plioceno termina la época Terciaria. Se inicia el Cuaternario con el Pleistoceno 1x10⁶ años BP (Before Present), época en la que aparecen los humanos. Según Utrilla y Rodanes (1997), los primeros vestigios de ocupación humana en el Valle Medio del Ebro datan del período comprendido entre los 200000 y 40000 años BP, ocupación que desaparece entre los 37000 y 17000 años BP debido a las glaciaciones Würm III y IV, para reaparecer después hasta nuestros días. La temperatura media en los últimos 100000 años fue fría, bajo 0 °C durante los primeros 92000 años del Plioceno, para iniciar el calentamiento alrededor de los últimos 10000-12000 años BP (Muller y MacDonald, 2000).

La palinología demuestra que en la transición al Holoceno, hubo un aumento significativo

de temperatura. Así Parker (2000) encontró que la temperatura aumentó 7°C en 50 años y, en promedio, la temperatura fue 6°C más alta que la actual (la investigación se realizó en el Valle del Támesis, Inglaterra). Ese calentamiento, que afectó a todo el Planeta, originó una explosión biótica señalando el inicio de la agricultura.

En la Cordillera Ibérica (Lécera está en su piedemonte) la caracterización del período de transición entre Pleistoceno y Holoceno en las Sierras de Cebollera y Urbión, la realizó el grupo de investigadores integrado por Gil y colaboradores (2001). La palinografía detectó la oscilación climática entre el último máximo glacial y el actual interglacial. El último período glacial lo sitúan entre los 30000 y 20000 años BP, seguido de un período interglacial entre 20000 y 10000 años BP, inicio del Holoceno. En este período la temperatura va mejorando para las actividades humanas hasta alcanzar un óptimo, conocido como “óptimo medieval”, alrededor de los años 900 – 1200 de nuestra era (Balairón, 2000). A partir de ahí se inicia un enfriamiento paulatino que llega a mitad del siglo XIX (Balairón, 2000; Fagan, 2008). En 1850 comienza una nueva etapa de calentamiento en la cual nos encontramos hoy.

Menos datos hay sobre el régimen pluvial. El Valle del Ebro se formó en el Terciario Miocénico, cerrando sus cadenas montañosas la llegada de frentes húmedos, que explican la sequedad actual (Turégano y Freixo, 1973). No obstante, Toharia (1988) cita el “Libro de Montería” escrito en 1320, donde se afirma que España es un país húmedo y boscoso. La investigación dendroclimática de Saz (2003) presenta un panorama más bien seco en la mitad norte de España a partir del siglo XV. Las décadas finales de ese siglo, al igual que el XVI, son secas, recuperándose las lluvias en el siglo XVII, para volver a la sequedad en el

XVIII, período que se extiende hasta la década de los 80 del siglo XIX, que es más lluviosa. En el siglo XX resultaron especialmente secas las décadas 60, 70 y 80.

Esta clase de climas cálidos en verano, secos y ventosos son propicios para generar déficit hídrico, hecho que se presenta cuando las pérdidas por evaporación en superficies desnudas, o por evapotranspiración, en superficies con distinto grado de cobertura vegetal, superan a la cantidad de agua suministrada a tales superficies (Millar y Gardiner, 1998).

La FAO ha convocado diversas reuniones de especialistas con el objeto de encontrar la ecuación más precisa en la medición de la evapotranspiración. Los resultados obtenidos con los métodos empleados aparecen a continuación. Inicialmente ajustaron la ecuación de Makkink, luego el método de Blaney-Criddle, y la más reciente dio lugar al método FAO. Penman, Monteith (Allen, *et al.*, 2006), introduciendo en cada ajuste un mayor número de variables. Los investigadores consideran que al aumentar el número de variables a resolver, los métodos aumentan la precisión en el cálculo de la evapotranspiración (Faci, 1992). No obstante los valores para el ecosistema estepario del Valle Medio del Ebro, aun con los métodos de Thornthwaite y Blaney-Criddle, que emplean menos variables que aquellos ajustados por la FAO, dan valores ET altos (Longares, 1997), por encima de los 800 mm⁻¹.año.

Dentro de la Unión Europea, los ecosistemas esteparios solo se encuentran en España, como consecuencia de un clima seco, con elevadas temperaturas en verano, el viento y la deforestación que han sufrido esos espacios. Condiciones que dan como resultado procesos de evaporación y evapotranspiración elevados, los cuales

impiden un aprovechamiento agronómico más rentable, impulsando la despoblación por el influjo de áreas industriales y redes de servicios de economías más favorables.

Con las excepciones de flora y fauna, los estudios sobre los ecosistemas esteparios son un tanto escasos, en especial sobre variables físico químicas, lo cual motivó la presente investigación, referida a dos aspectos de importancia: clima y déficit hídrico, y la erosión de los suelos. En este documento se presentan los datos de clima y déficit hídrico que afectan a la estepa de Lécera, enclavada en el contexto estepario de la zona central del Valle del río Ebro.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Municipio de Lécera (Aragón, Zaragoza, España), cuyas coordenadas son 41°12'20" Latitud Norte y 0°43'25" Longitud Oeste. El territorio ocupa una extensión de 108 km², enclavado en la parte alta y dentro de los 10⁴ km² que, aproximadamente, ocupa el ecosistema estepario del Valle del Ebro. La altitud queda comprendida entre los 989 msnm de las Cucutas (Cordillera Ibérica) y los 405 msnm en el límite con la Balsa de la Matilla. Salvo las partes abruptas, el piso es un plano inclinado, alrededor del 3% de desnivel hacia el este. Como altitud se tomó el punto geodésico dr 530 msnm correspondiente al pueblo.

La investigación tomó un período de 12 años, (1998-2009) para mayor seguridad en los datos climáticos. Se contó con una estación meteorológica de las denominadas termopluviales. Es decir un mínimo de equipo compuesto por un aparato Scientific Oregon, pluviómetro, termómetro de máximas y mínimas, higrómetro y un indicador de la cobertura del cielo. Es una investigación de

“elementos faltantes”, lo cual no ocurre en estaciones agrometeorológicas de primera clase automatizadas (más escasas de lo deseable en los países), por lo que fue necesario acudir a cálculos numéricos. La constante de vaporización utilizada fue 2,45 MJ m⁻² día⁻¹, a una temperatura media de 20° C, energía requerida para evaporar la cantidad de 1 mm⁻¹día⁻¹, de donde se obtiene el coeficiente de FAO-Penman-Monteith. (Allen *et al.*, 2006):

$$\frac{1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}}{2,45 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}} = 0.408$$

De acuerdo con esos autores, el cálculo de la evaporación se hace multiplicando el factor 0,408 por los valores de la radiación solar, R_{so}, obtenida a partir de la radiación extraterrestre, R_{ex}. Los métodos utilizados para determinar la evapotranspiración corresponden a los siguientes autores:

a. Gausson (Montero y González, 1983). Es el más simple, pero válido para detectar períodos secos y húmedos. Se calcula el diagrama mediante la equivalencia de 1 mm⁻¹ de agua de lluvia = °C x 2.

b. Holdridge (Holdridge, 1979). Utilizado en la clasificación de zonas de vida de la biomasa. El método se basa en la distribución de la vegetación natural, la cual varía con la altitud geográfica, a la vez que la humedad queda distribuida en “provincias” que van desde desecadas y superáridas hasta los bosques muy húmedos y pluviales. El método Holdridge introduce el factor de biotemperatura.

$$ETp = 58,93 \times T^{(bio)}$$

$$T^{(bio)} = t - \frac{(3 \times \text{latitud})}{100} \times (t-24)^2$$

c. ETo de FAO, Penman, Monteith, (Allen, *et al.* 2006). Es denominada ETo de referencia. Entre sus variables están la radiación, temperatura, presión del vapor de agua, la velocidad del viento, etc. Es la ecuación que integra más variables para medir la evapotranspiración.

$$E_{To} = \frac{0,408 D (R_n - G) + g \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{D + g (1 + 0,34u_2)}$$

Donde

ETo = evapotranspiración de referencia (mm día-1).

Rn = radiación neta en la superficie de cultivo (MJ m-2 día-1)

G = flujo del calor del suelo /MJ m-2 día-1)

T = Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u2 = velocidad del viento a 2 m de altura (m s-1)

es = presión del vapor de saturación (kPa)

ea = presión real de vapor (kPa)

es-ea = déficit de presión de vapor (kPa)

D = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C-1)

g = constante psicrométrica (kPa °C-1)

d. Eto derivado de la evaporación. A partir de los datos de la evaporación y el coeficiente Kp de Doorembos y Pruitt (1977).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tab.1 se encuentran los datos que se consideran más importantes para el clima de Lécera. Es de recordar que en el Hemisferio Norte los meses de invierno, noviembre a febrero, son los más fríos, y los meses más cálidos, verano, van de junio a agosto. La temperatura se ajusta a la ecuación cuadrática $y = -0,5738x^2 + 7,7833x - 5,115$, para un $r^2 = 0,8627$. A lo largo de los 12 años las cifras indican un ligerísimo aumento de temperatura ($y = 0,4176x + 6,2409$). Los registros extremos fueron $-11,5$ y $+40$ °C, si bien son más repetidos los rangos entre $-4,5$ y $+33$ °C. En consonancia con el incremento de temperatura se produjo una disminución de las heladas ($y = -3,224x + 57,956$). Las heladas tardías que pueden presentarse en abril, son las más dañinas para la producción agrícola.

Tabla 1 . Datos climáticos de Lécera. Promedios mensuales para 12 años de registro

°C medias			Lluvia	% Hum, relativa			Viento	Heladas	Ra	Rso	Insolación
max	media	min	mm ^a	max	media	min	m ⁻¹ sg ⁻¹	días	MJ	m ⁻² mes ⁻¹	horas mes
17,86	13,4	8,95	395,9	57,9	53,7	49,3	5.22	31,37	835	352,8	158,5

Ra = radiación extraterrestre. Rso = radiación solar.

En las Fig. 1 y 2 aparecen de manera más específica los registros de temperatura y lluvias, respectivamente, para la serie temporal de los 12 años. Los datos, y el reconocimiento de campo, indican que el clima es semiárido de influencia mediterránea que, por su destacada estacionalidad, tiende a continental templado. El mes limitante para la producción agrícola es marzo, por cuanto la temperatura alcanza los 6-7 °C, propicia

para que el período germinativo cambie al de desarrollo vegetativo. Sin embargo, el registro medio de lluvia es de 21,8 L.m⁻², mientras que evapotranspiración supera esa cifra, en consecuencia la tensión del agua ronda los -1,500 kPa, inicio del marchitamiento. Las plantas se encuentran en serias dificultades para succionar la solución nutritiva del suelo.

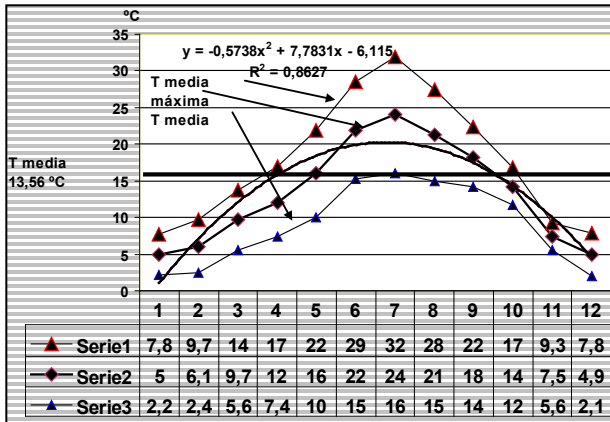


Figura 1. Registro mensual de temperaturas. Promedios para el período de 12 años (1= enero.....12= diciembre

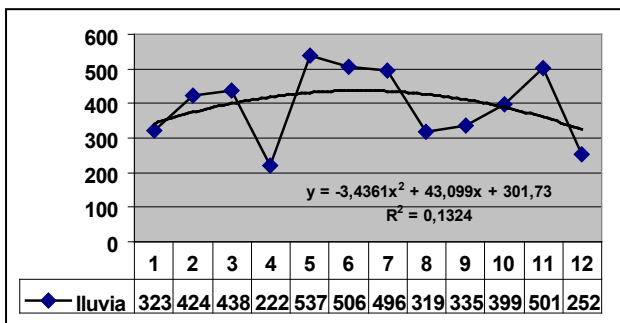


Figura 2. Registro anual de lluvia (1=1998.....2=2009)

El aumento de la temperatura se debe a muchos factores requiriéndose una mayor investigación a nivel planetario. El aumento de temperatura puede ser una consecuencia del llamado efecto invernadero ocasionado por emisiones de contaminante (European Env. Agency, 2007). Se hace recaer el calentamiento climático en el incremento de CO₂ atribuyéndolo, principalmente, al consumo de combustibles de procedencia fósil.

En efecto, es una causa indeseable, pero compartida por varias más. Pocos recuerdan que el género humano es un productor de dióxido de carbono (y consumidor de oxígeno). El ciclo central del metabolismo es conocido (entre otros nombres) como Ciclo

del Acido Tricarboxílico, precisamente porque en cada una de sus vueltas expele 3 moléculas de CO₂. Según Garret y Grisham (1995) una persona normal adulta produce un kilogramo de CO₂ al día. Los microbios de los suelos generan enormes cantidades de CO₂ (Blasco, 1998), por ejemplo, 70 – 210 kg/ha/día en pastizales del Valle del Cauca, Colombia. Las tormentas de arena, por ejemplo en Sahara y China, también contaminan la atmósfera y contribuyen al calentamiento global, entre otras causas.

El comportamiento de la lluvia en los 12 años presentó un R² = 0,1324, lo cual supone en la práctica, la imposibilidad de hacer pronósticos. El problema se agrava, considerando que el 39% de las precipitaciones es menor de 2,5 mm⁻¹ m⁻² lo cual, en varios casos, puede resultar inútil para el suelo y las plantas. Los años más secos y más lluvioso fueron 2001 y 2002, con 222 y 537 mm⁻¹ m⁻², respectivamente, implicando un cambio brusco en el comportamiento pluvial. En esos 12 años llovió en 793 días, y la cantidad media caída por períodos de 24 horas fue de 5,62 mm⁻¹ m⁻². La Fig. 3 muestra la distribución cuantitativa de las precipitaciones.

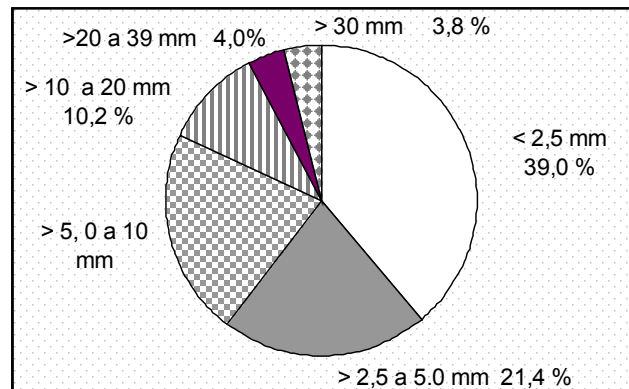


Figura 3. Distribución porcentual y por rangos de la lluvia

El recorrido del viento es, en promedio $5,22 \text{ m}^{-1} \text{ sg}^{-1}$, su clasificación es de viento fuerte al superar los $5 \text{ m}^{-1} \text{ sg}^{-1}$, provocando una intensa evaporación y evapotranspiración. El cierzo, viento N-NW de gran fuerza, afecta de manera similar a todo el centro del Valle del Ebro, por lo que se tuvieron en cuenta los registros del Instituto Nacional de Meteorología (2002).

Rex es fija para cada latitud. Casi siempre se expresa en días, considerando el día 15 de cada mes como promedio. Mientras que en el Trópico el rango varía entre 33 y 37 MJ m^{-2} por día, en el paralelo 41° Lat N oscila de 13 (diciembre, enero) a 42 (junio) $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Las cifras de Rso, e insolación, dependen de Rex y la cobertura del cielo. De acuerdo con las mediciones y observaciones registradas, promedias para los resultados promedios fue

71 días de sol radiante, 19,46% del total. Rso = 75% de Rex

185 días de nubes y claros, 50,89% del total. Rso= 50% de Rex

89 días de cielo cubierto, 24,38% del total, Rso = 25% de Rex

20 días de niebla, 5,56 del total. Rso = 25% de Rex

Rex no llega al 100% a la Tierra, siempre pueden interferir nubes, gases, partículas, etc., que lo impiden, en consecuencia solo llega la fracción Rso (onda corta), un máximo del 75% de Rex en días radiantes y un 25% en días más oscuros. (Allen, *et al.*, 2006). Se asignó 50% a los días intermedios, nubes y claros, resultando una Rso. equivalente a 43,25% de Rex. La determinación de la cobertura del cielo es imprescindible para calcular la evaporación. Es obvio que a mayor cobertura menor radiación.

Evaporación

Los resultados del déficit hídrico derivados de la evaporación se presentan en la Fig. 4 (+en

todas las Figuras, 1= enero, 2= febrero, etc) la cual muestra un elevado déficit hídrico. El déficit hídrico ocasionado por la evaporación potencial total, Evpt equivale a la pérdida de 1762,25 y la evaporación potencial neta, Evpn (descontada la lluvia) a 1404,24 L.m^{-2} en el año, respectivamente

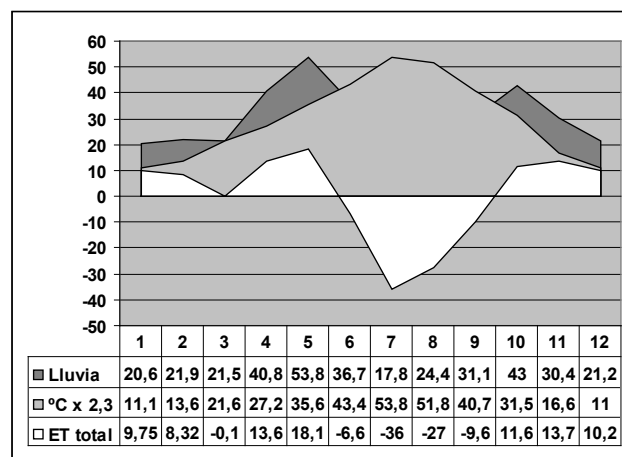


Figura 4. Radiación solar y evaporación

Es una pérdida de agua muy elevada, su cálculo numérico se aproxima al encontrado por Faci (1992), en el Servicio de Investigación Agraria, SIA, de Montaña (Zaragoza), quien usando un tanque de evaporación Clase A, encontró una pérdida de agua de $1.467 \text{ mm}^{-1}/\text{m}^2/\text{año}$. Es improcedente que, en ecosistemas esteparios áridos o semiáridos, se practique el riego por inundación, e incluso por surcos, especialmente cuando el suelo se encuentra desnudo.

La Balsa de la Higuera representa el máximo espejo de agua en el Municipio, con 1850 m^2 . Cabe considerarla como un tanque de evaporación natural, en el que la pérdida de agua, la Evpn equivale a 2597,844 litros por año. El uso del término potencial indica que es el agua que se llegaría a perder si estuviese disponible.

Evapotranspiración (ET)

1. Gausсен. En España, y otros países de Europa es frecuente el uso de los diagramas ombro de Gausсен (Montero y González, 1983). Es utilizado por O'Hare (1999), en su propuesta sobre la estructura y distribución de ecosistemas a nivel mundial, y Walter (1997) lo aplica en zonificación vegetal. Los resultados obtenidos se encuentran en la Fig. 5.

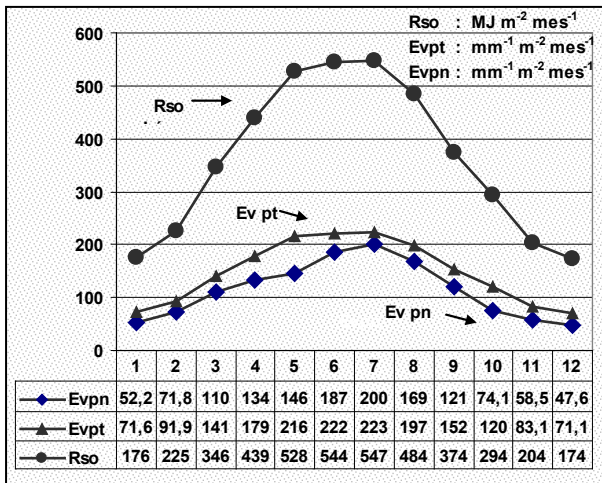


Figura 5. Evapotranspiración según el método de Gausсен

Es un método fácil de usar, su diagramación se fundamenta en la relación entre temperatura y precipitación, donde cada grado de temperatura equivale a 2 mm⁻¹ de precipitación. Por ejemplo 5 °C = 10 mm de lluvia (relación 1:2 entre ambas, en este estudio se usó la relación 1:2:3 por ajustarse a los datos reales. Con el diagrama Gausсен solamente ETpt supera a la lluvia en los meses junio a septiembre, valores negativos que suman -53,28 mm⁻¹ m⁻², cantidad que se requeriría en ese período para compensar el déficit hídrico. Las cifras registradas para ETpt indican + 5,45 mm⁻¹ m⁻².

2. Diagrama con el método Holdridge. La Fig.6 contiene el resultado alcanzado. ETpt equivale a 787 y ETpn a 395,05 mm⁻¹ m⁻². Solo

en los meses de enero y diciembre las lluvias superan a la ETpn. En la zonificación de zonas de vida, para Holdridge (11) se trataría de una estepa espinosa del piso montano bajo, o templado.

La ET encontrada es importante, no obstante en la estepa de Lécera el viento es un factor desecante de suma consideración, y el método Holdridge no lo toma en cuenta. La experiencia en su aplicación permite señalar que funciona más adecuadamente en el Trópico y Subtrópico, en las formaciones de bosque seco a bosque pluvial. Con este método se realizó la mapificación ecológica (zonas de vida) de muchos países latinoamericanos, entre ellos Colombia, en la mapificación ecológica llevada a cabo por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.

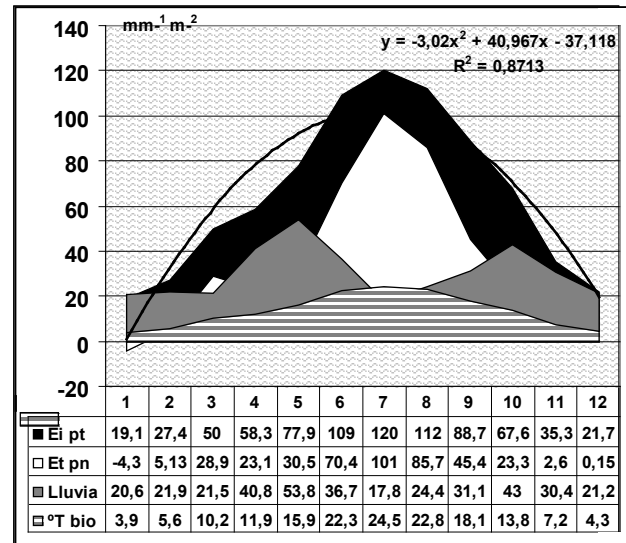


Figura 6. Evapotranspiración según el método Holdridge

3. Evapotranspiración de referencia, ET_o. Modelo FAO. Penman, Monteith. La Fig.7 contiene los resultados encontrados. ET_{opt} equivale a 1872,02 litros por metro cuadrado y año. Descontando la precipitación anual el resultado es ET_{opn} es igual a 1508,82 mm⁻¹ m²año. Cantidades que demuestran un estrés hídrico muy alto, implicando una producción

de biomasa baja, salvo que se complemente con agua de riego, condición que, al menos por el momento, es improbable, si bien el empleo de goteros y aspersores puede ayudar a paliar el problema.

Los autores de este método (Allen, *et al.*, 2006) consideran que en su ecuación pueden inferirse varios componentes, pero no la humedad relativa que debe ser siempre medida.

Los datos registrados tienden a confirmar que, al adicionar más variables, la cantidad evaporada aumenta. La explicación podría estar en que el vapor transpirado se mantiene sobre las plantas mientras que no sea arrastrado por el viento, en cuyo caso la biomasa se ve forzada a generar más vapor para tratar de mantener el equilibrio de humedad en su entorno cercano. Cuantas más veces se produzca el arrastre del vapor por el viento, mayor es el efecto desecante. De ahí la importancia de incluir este factor si se quiere determinar con mayor precisión el déficit hídrico en la estepa del Valle del río Ebro.

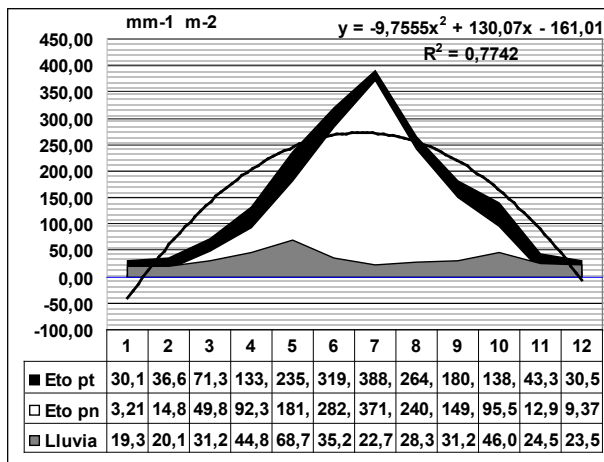


Figura 7. Evapotranspiración obtenida con la ecuación FAO, Penman, Monteith

Es de advertir que, en este caso no funcionó de manera satisfactoria, G, flujo del calor del suelo, bien porque la capacidad calorífica

del suelo se asumió igual a $2,1 \text{ MJ m}^{-3}$ no es correcta, o más bien porque al basarse el cálculo de cada mes en la diferencia de temperatura de los meses que los delimitan puede tender a cero (los meses de junio y agosto que delimitan julio, tienen muy similar temperatura) por lo que se acudió a la extrapolación para definir los meses de verano. Si se observan con detenimiento las figuras que aluden a la evapotranspiración, todas detectan el problema del mes de marzo expuesto previamente. La evapotranspiración neta supera a la disponibilidad de agua. Un mal comienzo vegetativo que puede limitar la producción de biomasa.

4. ETo a partir de los datos de evaporación.

Cuando se dispone de un Tanque A de evaporación a partir de sus datos es factible calcular ETo. En adición, es necesario determinar el coeficiente Kp de Doorenbos y Pruitt (1977). En el caso de Lécera hay que asumir la evaporación calculada por el método FAO-Penman-Monteith. De acuerdo con la metodología de Doorenbos y Pruitt (1977), los datos de Lécera se clasifican así: La HR es media, rango de 40-70 %, y el viento se encuentra en el límite de moderado a fuerte (425 km/día). En consecuencia dio un factor Kp = 0,60. El resultado es: Etopt = $1508,8 \text{ mm}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

CONCLUSIONES

La literatura consultada y los datos obtenidos, permiten clasificar al clima de la estepa de Lécera, de influencia mediterránea, templado, semiárido, con veranos muy cálidos e inviernos fríos.

El déficit hídrico es muy elevado. La evaporación potencial neta equivale a $1404,2 \text{ mm}^{-1} \text{ m}^{-2}$ por año, y la pérdida neta de agua por evapotranspiración es de $1508 \text{ mm}^{-1} \text{ m}^{-2}$ por año (método FAO, Penman, Monteith)

El mes de marzo es crítico para la producción de biomasa (cultivos incluidos): los métodos de Holdridge y de la FAO, Penman, Monteith, detectan el déficit de agua en ese mes, incidiendo negativamente en el inicio del período vegetativo. Explica, al menos en parte, la baja producción de biomasa en la estepa de Lépera.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D. y SMITH, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guía par la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenajes nº 56, FAO, Roma. 298 p.
- BALAIRÓN, L. 2000. El cambio climático como contexto de la desertificación. In Martín de Santaolalla, F. Agricultura y desertificación. Mundi Prensa, Madrid. pp. 41-67.
- BLASCO, M. 1998. La contaminación como factor de producción en una agricultura ecogestionada. Énfasis en la Unión Europea. IX Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Manejo de suelos e impacto ambiental. Ed. Sociedad Colombiana Ciencia del Suelo, Bogotá. pp. 9-30.
- DIRECCIÓN GENERAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA. 2002. Castilla y León, Aragón, La Rioja y Navarra. Vol. 2. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. 312 p.
- DOOREMBOS J. and PRUITT, W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper nº 24 (Rev.). FAO, Rome. 144 p.
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. 2007. Greenhouse gas emission trends and projections. Report n. 5/2007. EEA, Luxembourg. 102 p.
- FACI, J. M. 1992. Contribución a la medida y cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) en Aragón. Publ. Nº 1297, Institución Fernando el Católico, Zaragoza. 125 p.
- FAGAN, B. 2008. La pequeña edad de hielo. Trad. inglés por Barba, J. y Jawerbaum, S. Ed. Gedisc, Barcelona. 344 p.
- GARRET, R. H. and GRISHAM, CH. M. 1995. Biochemistry. Saunders College Pub., New York. 1100 p + addendum.
- GIL, M. J., RUIZ, M. B., DORADO, A., VALDEOLMILLOS, A. y PÉREZ-GONZÁLEZ, A. 2001. Caracterización climática de la transición Pleistoceno Superior – Holoceno en el Sistema ibérico. En: Meléndez, G., Herrera, Z., Delvene, G. y Azanza, B., Ed. Los fósiles y la paleografía. XVII Jornadas de la Sociedad Española de Paleografía. Pbl. Seminario de Paleontología, Universidad de Zaragoza. 360 p. pp. 100-106.
- HOLDRIDGE, L. 1979. Ecología basada en zonas de vida., IICA, Serie libros y materiales educativos nº 34, IICA, San José, Costa Rica. 216 p.
- IZCO, J. 2004. Coord. Botánica. 2ª ed. MacGraw Hill, Madrid. 898 p.
- LONGARES, L. A. 1997. El paisaje vegetal en el entorno de la reserva ornitológica del Planerón (Belchite, Zaragoza). Edición Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón y Sociedad Española de Ornitología, Zaragoza. 192 p.
- MACLEOD, N. and KELLER, G. 1996. Calcareous-Tertiary mass extinctions. W, W, Norton & Co., New York. 575 p.

- MILLAR, R. W. y GARDINER, D. T. 1998. Soils in our environment. 8th ed. Prentice Hall, Upper Sadler River, NJ, USA. 736 p.
- MONTERO, J. L. y GONZÁLEZ, J. L. 1983. Diagramas bioclimáticos, Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, Madrid. 379 p.
- MULLER, R. A. and MACDONALD, J. M. 2000. Ice ages and astronomical cause. Springer, Praxis Publ, Chichester, UK. 318 p.
- O'HARE, G. 1999. Soils, vegetation, ecosystems. Oliver & Boyd, Harlow, Essex, UK. 294p.
- OLDS, M. 2008. Geológica. Las fuerzas dinámicas de la Tierra. Trad del inglés Alvarez, P., *et al.* H.F. Ullmann. Millenium House Pty. Leed. Elabora Heights, Australia. 576 p.
- PARKER, S. J. 2000. Biotic responses to the late Quaternary global change. The pollen record: A case study from the Upper Thames Valley, England. In Culver, S. J. and Rawson, P. F., Ed. Biotic response to global change. The last 145 millions years. Cambridge University Press, UK. pp 265-287.
- PICKERING, K. T. 2000. The cenozoic world. In Culver, S. J. and Rawson, P. F., Ed. Biotic response to global change. The last 145 millions years. Cambridge University Press, UK. pp 20-34.
- SAZ, M. A. 2003. Temperaturas y precipitaciones en la mitad norte de España desde el siglo XV. Estudio dendroclimático. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza. 293 p.
- TOHARIA, M. 1988. El desierto invade España. Instituto de Estudios Económicos, Madrid. 156 p..
- TURÉGANO, J. A. y FREIXO, J. 1973. Datos climáticos de Aragón. Gobierno de Aragón, ATCYR, Zaragoza. 187 p.
- UTRILLA, P. y RODANES, J. M. 1997. La actuación del hombre sobre el paisaje durante la prehistoria en el valle medio del Ebro. En: García, J. M. y López, P. Ed. Acción humana y desertización en ambientes mediterráneos. Instituto Pirenaico de Ecología, C.S.I.C. Zaragoza, pp 61-98.
- WALTER, H. 1997. Zonas de vegetación y clima. 2^a Reimp. Trad. del alemán por Costa, M. Ed. Omega, Barcelona. 245 p.