

CUARENTA AÑOS DE OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL FABIO BAUDRIT MORENO

Marco V. Gutiérrez¹, Dagoberto Soto², Melvin Alpízar¹

RESUMEN

Cuarenta años de observaciones meteorológicas en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno (EEFBM). Se examinó el registro histórico de la información meteorológica recolectada en la Estación Experimental por un período de 40 años. La característica más sobresaliente del clima fue la marcada estacionalidad en la distribución de las lluvias durante el ciclo anual, que resultó en el desarrollo de una estación lluviosa y una estación seca bien definidas, diferentes en su patrón de radiación solar, horas de brillo solar, temperatura y humedad relativa del aire, y de evaporación potencial. La velocidad y la dirección del viento también mostraron marcadas diferencias entre la estación seca y la estación lluviosa, influenciadas predominantemente por los vientos alisios de alta velocidad (20 km/h) y los vientos moderados del suroeste, respectivamente. El patrón climático imperante permitió clasificar la EEFBM dentro de la zona de vida correspondiente al bosque húmedo premontano con un clima subhúmedo caliente y una estación seca bien definida (más de 70 días sin lluvia al año) (HOLDRIDGE, 1982),

Palabras clave: actinógrafo, anemocinémógrafo, Costa Rica, evaporación, factores ambientales, higrómetro, horas de brillo solar, humedad relativa, pluviómetro, precipitación, radiaciones, temperatura, termómetro, viento, zonas climáticas.

ABSTRACT

Forty years of meteorological records at the Fabio Baudrit Experimental Station. Historical records of meteorological information, collected over a period of 40 years at Fabio Baudrit Experiment Station, were examined. A marked seasonality in rainfall distribution during the annual cycle was the most outstanding feature of climate, which resulted in the development of well defined rainy and dry seasons. These differed in their patterns of solar radiation, hours of sunshine, air temperature and relative humidity, and potential evaporation. Wind velocity and direction also exhibited marked differences between the rainy and dry seasons. The dry season was predominantly influenced by high-velocity trade winds blowing from the northeast, while the rainy season was mostly affected by southern winds blowing at moderate velocities. According to the climatic pattern observed at the Fabio Baudrit Experiment Station, it is classified in the life zone corresponding to the wet, hot, pre-montane forest with a well defined dry season (sensu Holdridge, 1982).

Keywords: actinometer, anemometer, climatic zones, Costa Rica, sunshine hours, environmental factors, evaporation, hygrometer radiations, rain fall, rain gauge, relative humidity, temperature, thermometer, wind.

¹ Programa de Ecofisiología de Plantas Tropicales, EEFBM, Universidad de Costa Rica. Apdo. 183-4050 Alajuela, Costa Rica.

² Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio de Ambiente y Energía, San José, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

La “Estación Meteorológica Rafael A. Chavarría” fue establecida en marzo de 1961 con el objeto de medir, analizar e interpretar el clima de la EEFBM Y sus alrededores, correlacionar el comportamiento climático con la fenología de las plantas y el desarrollo de plagas y enfermedades, y servir como instrumento de enseñanza a los estudiantes de la Facultad de Agronomía y al público interesado en el campo de la Agrometeorología.

A pesar de la importancia histórica del clima y la preocupación contemporánea por los cambios climáticos ocurridos durante la era industrial, este renovado interés en el estudio de las propiedades de la atmósfera no se ha transmitido aún a la opinión pública. La enorme importancia de los fenómenos climáticos en la Agricultura no se ha traducido en esfuerzos para comprender y modificar de manera “sostenible” el ambiente agrícola.

El último informe climático de la EEFBM fue producido en 1975 y desde entonces, no se han examinado las tendencias recientes de importantes variables ambientales como la precipitación y la temperatura del aire, que son principales indicadores del comportamiento de fenómenos climáticos de gran importancia como el fenómeno “El Niño” y el aumento en la temperatura planetaria. El objetivo de este artículo es actualizar la definición del clima y la clasificación de la EEFBM dentro de las zonas de vida de Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de la Estación Meteorológica

Se encuentra localizada en la EEFBM de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de Costa

Rica, en la provincia de Alajuela, a 10°01' de latitud norte, 84° 16' de longitud oeste y a 840 metros de altura sobre el nivel del mar. La Estación Meteorológica se localiza cerca del extremo noreste dentro de la EEFBM desde julio de 1980.

Diseño de la Estación Meteorológica

El diseño de la Estación Meteorológica y la distribución y la altura de los instrumentos dentro de la misma siguen las especificaciones de la Organización Meteorológica Mundial (WMO 1981; Dorenbos 1976) (Fig.1). Los instrumentos meteorológicos descritos en la figura 2 se utilizaron para medir las siguientes variables ambientales:

Duración del día (h): Se utilizaron los datos teóricos de la duración del día suministrados por el Smithsonian Institution (Salisbury y Ross, 1978).

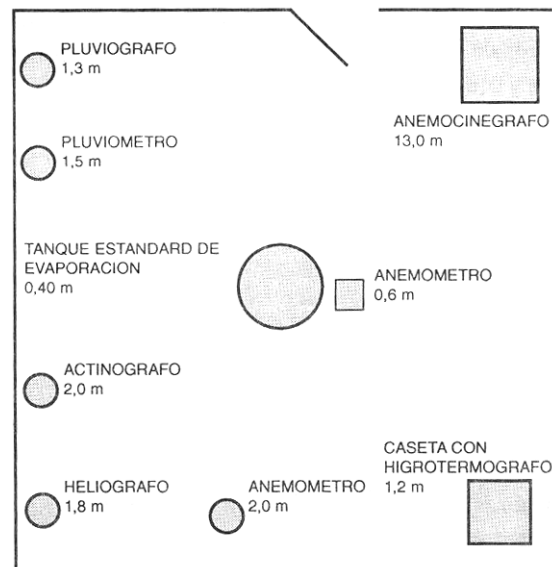


Figura 1: Distribución y altura sobre el suelo de los instrumentos meteorológicos localizados en la Estación Meteorológica Rafael A. Chavarría.

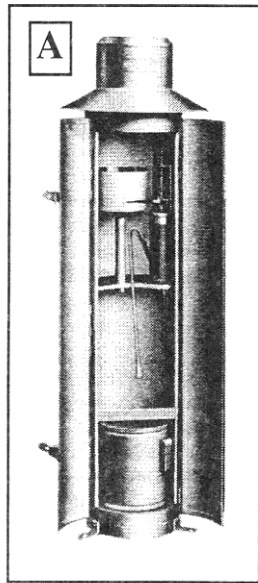


Fig. 2.A: Pluviógrafo: mide la cantidad, la intensidad y la distribución de la precipitación.

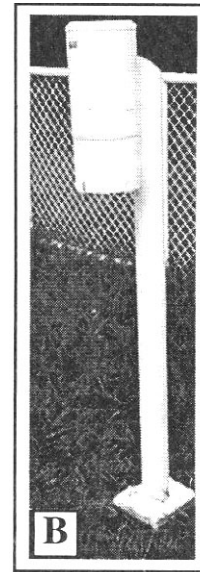


Fig. 2.B: Pluviómetro: mide la cantidad de lluvia.

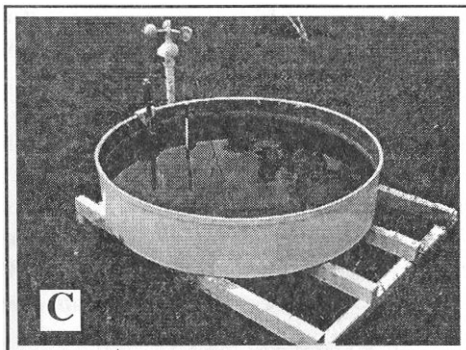


Fig. 2.C: Tanque estándar de evaporación: mide la evapotranspiración de referencia (ET_0).

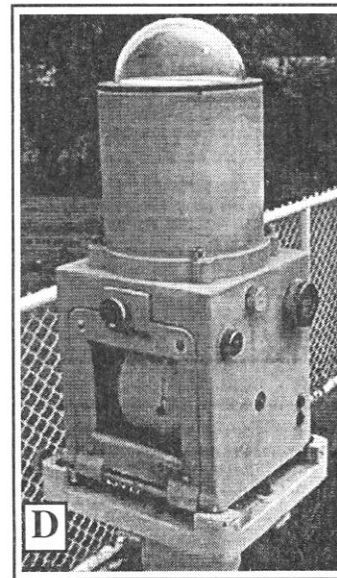


Fig. 2.D: Actinógrafo: mide la radiación solar total.

Figura 2: Instrumentos meteorológicos localizados en la Estación Meteorológica Rafael A. Chavarría.

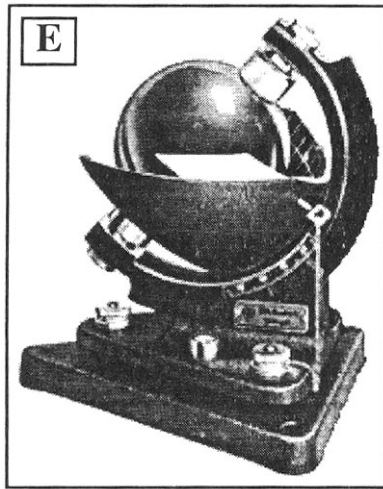


Fig. 2.E: Heliógrafo: mide las horas y décimas de brillo solar.

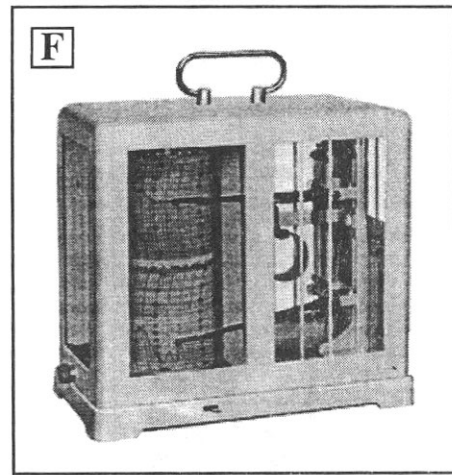


Fig. 2.F: Termohigrógrafo: mide la temperatura y la humedad relativa del arie.

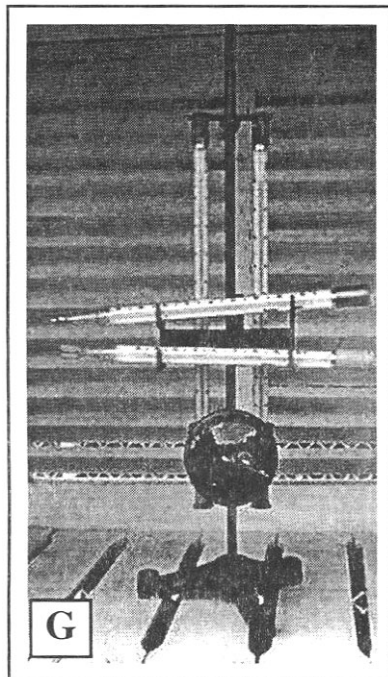


Fig. 2.G: Termómetro: miden la temperatura máxima y mínima diarias.

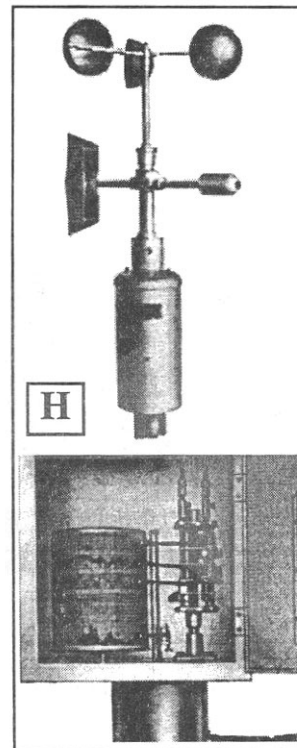


Fig. 2.H: Anemocinógrafo: mide la velocidad, la intensidad y la dirección del viento.

Precipitación (mm): se midió con un pluviógrafo registrador (modelo 1507, Wilh. Lambrecht KG Göttingen).

Evaporación (mm): se midió en un tanque estándar de evaporación (Dorenboos y Pruitt, 1984) (Takeda Keiki Kogyo Co. Ltd., Tokio, Japan).

Radiación solar total (MJ): se midió con un actinógrafo bimetalico (modelo 58d-IE, R. Fuess, Berlin-Stglitz).

Brillo solar (h): se midió con un heliógrafo tipo Campbell-Stokes (modelo 1603, Wilh. Lambrecht).

Temperatura (°C) y Humedad Relativa del aire (%): se midieron con un termo-higrógrafo (modelo 252VA, Willi. Lambrecht).

Velocidad (Km/h) y dirección del viento: se midieron con un anemovariógrafo (serie 25514, Wilh. Lambrecht KG Göttingen) desde 1961 hasta 1970. A partir de 1971, estas variables se midieron con un anemocinómetro (modelo VT 1270 a tubo Pitot, Societa Italiana Apparechi Precisione, Bologna, Italia).

Recolección y procesamiento de los datos meteorológicos

Los instrumentos de la estación meteorológica clásica (Fig. 2) son mecánicos, y sus registros son impresos en bandas de papel que deben ser reemplazadas periódicamente (diaria o semanalmente). De acuerdo con las especificaciones de la OMM, los datos ambientales se colectaron de la siguiente manera:

Las bandas gráficas del anemocinómetro, del pluviógrafo se cambiaron diariamente a las 0700 h. El cambio de las bandas del heliógrafo y del actinógrafo se realizó diariamente a las 1800 h y las del higrómetro se cambiaron semanalmente a las 0700 h. La determinación de la temperatura del aire máxima y mínima (temperaturas extremas) se realizó diariamente. La temperatura mínima se determinó a las 0700 h y la máxima a las 1800 h.

Las bandas provenientes de los instrumentos meteorológicos se digitalizaron manualmente en su mayoría, excepto las bandas del higrómetro que se procesaron utilizando una mesa digitalizadora (modelo 33180, CalComp, USA) y las bandas del actinógrafo que se procesaron utilizando un planímetro (modelo 620015, Keuffel & Esser, Alemania).

La base de datos fue organizada utilizando el sistema MetaComp desarrollado por el personal técnico del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, que mantiene registros horarios y diarios de todas las variables meteorológicas evaluadas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Duración del día

La duración del día en Costa Rica muestra pequeñas variaciones anuales que siguen un patrón parabólico típico de los 10° latitud Norte (Fig. 3). El día más largo del año es el 21 de Junio (12,5 h) mientras que el día más corto del año es el 21 de Diciembre (11,5 h), correspondientes al solsticio de verano e invierno en el hemisferio norte, respectivamente.

Las respuestas fisiológicas de las plantas y otros organismos a la longitud del día son conocidas como Fotoperiodismo. Estas incluyen cambios en el desarrollo fenológico de las plantas y de otros organismos (como los insectos), cuya expresión más espectacular es la inducción de la floración de las plantas (el cambio del estado vegetativo al reproductivo). La pequeña diferencia entre el día más corto y el más largo del año (apenas 1 h), hizo menospreciar la importancia de las variaciones fotoperiódicas en el control fenológico de las plantas tropicales (brotación y defoliación de las especies deciduas, reproducción). Algunos estudios (Lawton y Akpan 1968, Njokii 1958, Stiles 1978) más bien indican que la sensibilidad de las plantas tropicales al régimen fotoperiódico puede ser mayor que la de las plantas de climas templados, en vista de que las primeras deben percibir

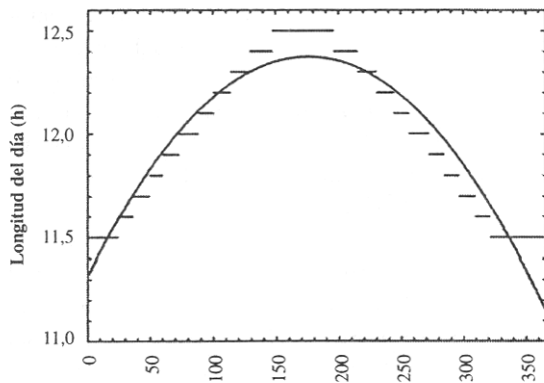


Figura 3: Variaciones promedio en la duración del día (h) observadas a lo largo del año a 10° N en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno.

cambios mucho menores en la duración del día a lo largo del año.

Es importante señalar que a pesar de que las estaciones meteorológicas miden y registran la duración del día, la duración del periodo nocturno es el que ejerce efectos fisiológicos importantes sobre la floración de las plantas.

Régimen de Precipitación y de Evaporación

Balance Hídrico Anual

Precipitación: El régimen anual de la lluvia en la EEFBM es determinado primordialmente por su posición geográfica al oeste del Valle Central, por el patrón de migración de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) y por la marcada influencia estacional; del viento húmedo proveniente del Pacífico Sur (especialmente durante la estación lluviosa). Adicionalmente, los patrones globales del clima en esta región del Valle Central son frecuentemente alterados por perturbaciones pasajeras que tienen su origen en el Mar Caribe.

La marcada estacionalidad en la distribución de la precipitación es la característica más sobresaliente

del ciclo climático anual de la EEFBM (Fig. 4A). Una pronunciada estación seca se extiende aproximadamente desde mediados de diciembre hasta mediados de mayo (6 meses). La estación lluviosa se extiende aproximadamente desde mayo hasta diciembre, aunque la cantidad mensual de lluvia disminuye ligeramente en Julio, dando lugar al llamado "Veranillo de San Juan" (una consecuencia de la migración de la ZCIT). Setiembre y octubre son los meses más lluviosos del año (más de 300 mm mensuales de lluvia), mientras que Enero es el mes más seco (menos de 10 mm mensuales).

El régimen de lluvia influencia de múltiples formas, directas e indirectas, el comportamiento de las plantas y otros organismos a través de su papel en el balance hídrico de las plantas y de los ecosistemas. La lluvia también afecta el estado de los sistemas radicales, los minerales y los microorganismos del suelo, y por lo tanto, la nutrición mineral de las plantas. Ejemplos de estas influencias lo constituyen la antesis sincronizada del cafeto impulsada por el estrés hídrico seguido por lluvias y los cambios fenológicos experimentados por los árboles deciduos durante la estación seca.

Los periodos de transición entre las dos estaciones son de especial interés. La transición de la estación lluviosa a la seca es un episodio caracterizado por la ocurrencia de altos niveles de radiación acompañados por abundante agua, minerales en el suelo y temperaturas moderadas, condiciones ideales para el crecimiento vegetal.

El desarrollo de la sequía al final de la estación lluviosa es paulatino y depende tanto del agotamiento progresivo del agua del suelo como de cambios en las condiciones atmosféricas (radiación, temperatura y humedad del aire, evaporación potencial). En contraste, el inicio de la estación lluviosa es a menudo repentino y se caracteriza por la brotación "anticipada" (antes de que se inicien las lluvias) de muchas especies de plantas (el 70% de las especies perennes observadas por Daubenmire, 1971); entre ellas el guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) y el madero negro (*Gliricidia sepium*).

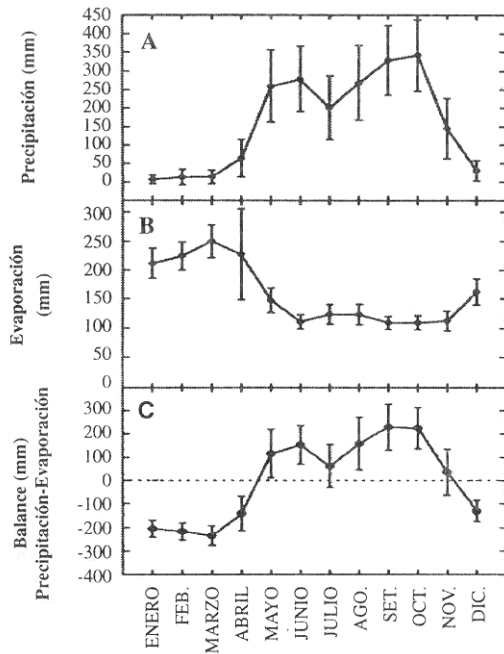


Figura 4: Régimen mensual de precipitación (mm) (A) y de evaporación (mm) (B), y balance hídrico (C) experimentados a lo largo del año en la Estación Experimental Fabio Baudrit M. Los datos son el promedio de 40 años de observaciones de precipitación (1958-1998) y 28 años de observaciones de evaporación (1969-1997).

El régimen de precipitación predominante limita la práctica de la Agricultura dependiente de la lluvia a únicamente seis meses del año. El desarrollo de modelos para la predicción del inicio y la conclusión de la estación lluviosa sería de mucho valor en la planificación agrícola (Steward 1988) de ésta y otras regiones similares.

Evaporación: El registro de evaporación potencial] de la EEFBM se inició en 1969. El patrón anual de evaporación mensual (Fig. 4B) mostró una marcada estacionalidad opuesta al patrón de lluvias (Fig. 4A), y dependiente tanto de factores energéticos (el régimen de radiación) como aerodinámicos (el régimen de viento).

Durante la estación lluviosa los valores de evaporación mensual se mantuvieron por debajo de los 150 mm, pero en los seis meses restantes éstos alcanzaron hasta 250 mm (en marzo).

Como resultado de estos cambios estacionales divergentes en la precipitación y en la evaporación potencial, los meses comprendidos dentro de la estación seca mostraron un balance hídrico desfavorable, particularmente de diciembre a abril (Fig. 4C) y cualquier intento de producción de cultivos en esta época de] año debe contemplar, además del uso de la irrigación, los efectos de la sequía atmosférica sobre las plantas.

Balance Hídrico Histórico

Precipitación: El registro de 40 años de mediciones de la precipitación en la EEFBM mostró un grado moderado de variabilidad en el total anual de lluvia registrada (Fig. 5A). Valores superiores al promedio de 1940 mm anuales se presentaron frecuentemente en 18 de los 40 años registrados. Valores de precipitación anual inferiores al promedio se presentaron en 22 de los 40 años registrados.

Algunos años exhibieron valores extremos muy inferiores a 1500 mm de precipitación anual (1965, 1986 y 1994, el año más seco del registro disponible). El registro de precipitación permite concluir que los años 1958, 1965, 1976, 1977, 1982, 1986, 1987 y 1994 presentaron el fenómeno “El Niño”, caracterizado por regímenes de lluvia muy reducidos.

Evaporación y Balance Hídrico: Al igual que la precipitación, la evaporación anual mostró fluctuaciones moderadas (alrededor del 20%) a lo largo del registro histórico (Fig. 5B), con valores que variaron entre aproximadamente 1650 mm en 1996 y 2150 mm en 1977 (un año “El Niño”). En una base anual y como resultado de las diferencias entre estos patrones históricos de precipitación y de evaporación, aproximadamente el 50% de los 28 años para los cuales existen datos de evaporación

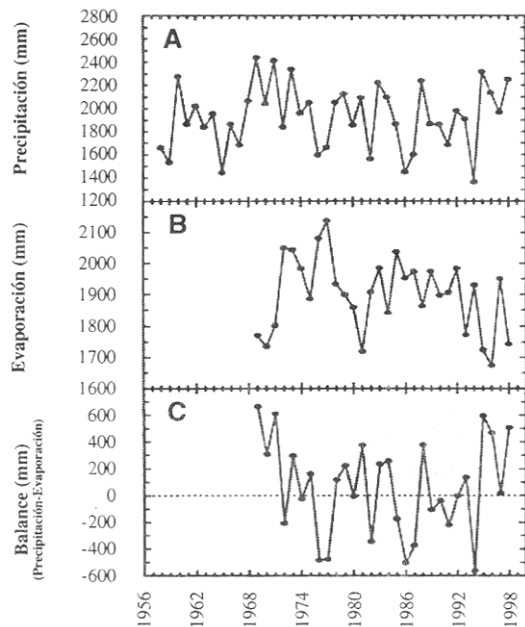


Figura 5: Total anual promedio de precipitación (mm) (A) y de evaporación (mm) (B), y balance hídrico anual (C) observados a lo largo del registro histórico de 40 años de mediciones de la precipitación y 30 años de mediciones de la evaporación en la Estación Experimental Fabio Baudrit M. Período 1958-1998.

registrados en la EEFBM experimentaron balances hídricos desfavorables (Fig. 5C).

Régimen de radiación solar

La cantidad, la calidad (composición espectral de la luz, particularmente la relación luz roja:luz roja distante) y la duración de la radiación son de importancia en la agricultura. Los efectos de la radiación sobre los organismos vivos son múltiples y fundamentales, y se enlazan al funcionamiento de los ecosistemas (naturales o agrícolas) a través del concepto del Balance de Energía:

$$R_N = \lambda E + H + G + S + F_c$$

Según esta teoría, el flujo de radiación solar incidente sobre las superficies terrestres (R_N) es distribuido de manera variable (según las condiciones de esas superficies) entre el calor latente (λE , evapotranspiración), el calor sensible (H , temperatura), el flujo de calor en el suelo (G), el almacenamiento (S) y la fijación fotosintética del CO_2 (F_c). Como es evidente, la radiación solar es esencial en la producción de biomasa a través de la fotosíntesis de las plantas y en el desarrollo del microclima experimentado por los organismos vivos.

El régimen diario de radiación solar total a lo largo del año en la EEFBM (Fig. 6A) mostró una clara estacionalidad dependiente del régimen de lluvia. Durante la estación seca, la radiación solar incidente diaria fue por lo regular superior a 19 MJ/día y alcanzó valores máximos de más de 22 MJ/día en Marzo. Durante la estación lluviosa, la radiación solar diaria fue inferior a 17 MJ/día.

La radiación solar total recibida anualmente en la EEFBM mostró una variación moderada cercana al 20% (Fig 7). El año con menor radiación solar total anual (1964) recibió 6450 MJ, mientras que el año 1978, de mayor radiación, recibió 9400 MJ. El periodo comprendido entre 1972 y 1985 se caracterizó por la ocurrencia de 13 años consecutivos con altos niveles anuales de radiación muy superiores al promedio (8428 MJ).

Horas de brillo solar

El número promedio de horas diarias con brillo solar a lo largo de los meses del año (Fig. 6B) fue claramente una función del régimen de lluvia y sus efectos sobre la cantidad de radiación que alcanza las superficies a lo largo del día. Días con más de 9 h de brillo solar se presentaron con frecuencia durante la estación seca, principalmente entre Enero y Marzo, mientras que los meses lluviosos exhibieron con frecuencia días con menos de 5 h de brillo solar, principalmente entre Junio y Octubre. La estación lluviosa favorable para el crecimiento vegetal debido a la abundancia de recursos hídricos, puede

limitar el crecimiento debido a la baja disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa, capaz de impulsar el proceso fotosintético.

La variación en el total de horas de brillo solar por año en la EEFBM fue moderada (Fig. 6B), y no mostró relación con las fluctuaciones en la radiación solar anual (Fig. 6A). El número de horas de brillo solar fue mayor en aquellos años que experimentaron valores de precipitación anual más bajos (Fig. 5A).

Las horas de brillo solar diarias es una variable meteorológica de poca utilidad en la Agricultura, porque sus efectos sobre las plantas y los animales no son importantes y pueden ser deducidas a partir de las mediciones de la radiación solar total. Sin embargo, las horas de brillo solar pueden ser consideradas un importante índice de confort para la planificación de las actividades humanas.

Temperatura del aire

Los climas tropicales se definen en función de las variaciones diurnas y estacionales en la temperatura experimentada por los seres vivos a lo largo del año. Se considera como "tropical" cualquier área geográfica en la cual la variación diurna en la temperatura del aire (la diferencia entre las temperaturas mínima y máxima diarias) es superior a la variación en la temperatura promedio a lo largo del año. Los promedios de evaporación y de temperatura diarios observados (Fig. 8A) permiten clasificar el clima de la EEFBM dentro del rango de condiciones climáticas tropicales subhúmedas a semiáridas, según los criterios de Dorenboos y Pruitt (1984).

La temperatura media permaneció muy estable a lo largo del año (21,9 °C, Fig. 8A) con una desviación estándar de solo +_0,9 °C. En contraste y de acuerdo con lo esperado, la diferencia entre la temperatura máxima promedio (28,5 °C) y la mínima-promedio (17,8 °C) fue de 10,7 °C.

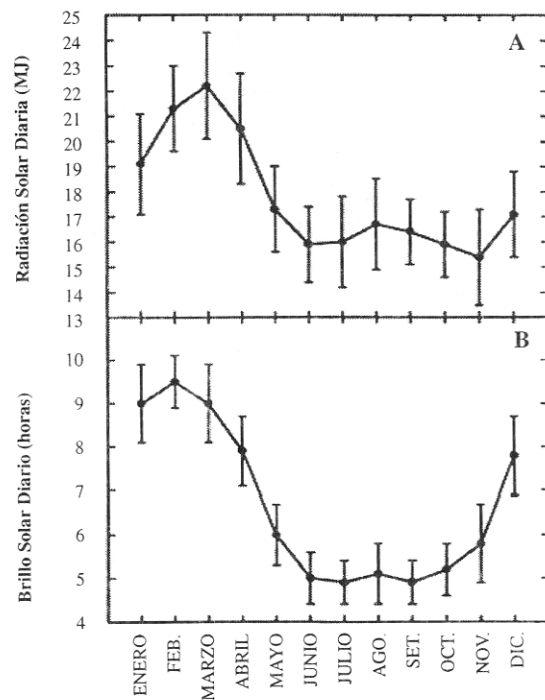


Figura 6: Régimen mensual de radiación solar (MJ) (A) y de brillo solar (h) (B) experimentados a lo largo del año en la Estación Experimental Fabio Baudrit M. Las mediciones de radiación solar se realizan ininterrumpidamente desde 1963 a 1997 y las de brillo solar desde 1961 a 1997.

La temperatura máxima promedio mensual varió más que la temperatura media y que la temperatura mínima promedio a lo largo del año. Las temperaturas más altas se presentaron regularmente durante los meses de marzo y abril (finales de la estación seca) y las más bajas durante la transición de la estación lluviosa a la estación seca (diciembre y enero).

El registro histórico de la temperatura en la EEFBM cuenta con 37 años de observaciones (Fig. 9A) durante los cuales se observó un débil incremento en los valores de la temperatura del aire (máxima, media y mínima) a lo largo del período

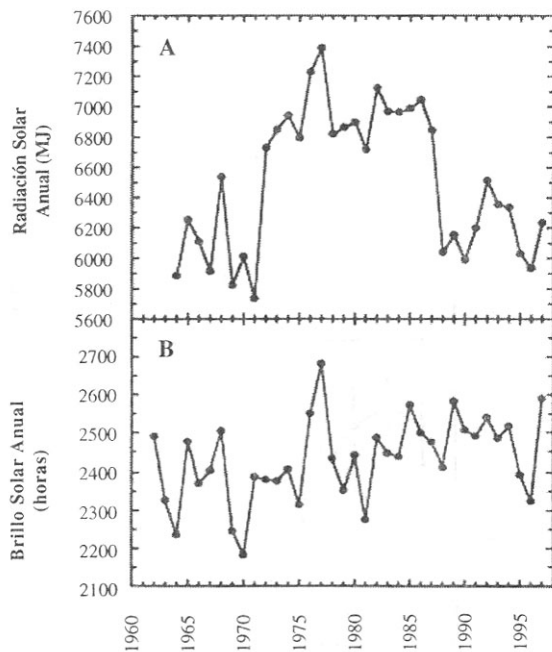


Figura 7: Total anual de radiación solar (MJ) (1963-1997) (A) y de brillo solar (h) (1961-1997) (B) observados a lo largo del registro histórico de mediciones meteorológicas realizadas en la Estación Experimental Fabio Baudrit M.

de observación, que puede ser una expresión del cambio climático global y del calentamiento de la Tierra.

La estrecha relación entre la temperatura y el desarrollo de los seres vivos, originada en el profundo efecto de la temperatura sobre la velocidad de los procesos bioquímicos, permite predecir la fenología de las plantas y de algunos animales (como los insectos) con un sorprendente grado de precisión empleando simples modelos agroclimáticos basados en la acumulación de unidades térmicas (Russelle *et al.* 1984).

Humedad relativa

La humedad relativa del aire (Fig. 8B) fluctuó moderadamente a lo largo del año, en estrecha re-

lación con el régimen de precipitación predominante en la EEFIBM. Durante la estación seca, la humedad relativa descendió por debajo del 70%, mientras que durante la estación lluviosa ésta se incrementó por encima del 85%. Durante el Veranillo de San Juan en Julio, la humedad relativa descendió ligeramente y volvió a incrementarse para alcanzar los valores máximos anuales durante los meses de mayor precipitación (Setiembre y Octubre).

El registro histórico de la humedad atmosférica promedio anual reveló fluctuaciones cercanas al 20% a lo largo del período de observaciones (Fig. 9B), que parecen coincidir con las fluctuaciones en la precipitación anual. Los menores valores de humedad relativa parecen coincidir con la ocurrencia del fenómeno “El Niño”.

La humedad atmosférica es de enorme importancia para las plantas porque la demanda evaporativa de la atmósfera tiene efectos directos sobre la tasa de transpiración (y por ende de la evapotranspiración) y sobre el desarrollo de diversos tipos de estrés (hídrico y térmico fundamentalmente). Las plantas responden directamente a la humedad atmosférica a través de mecanismos dependientes de la medición fisiológica de la transpiración por parte de los estomas. Adicionalmente, algunas especies de plantas (bromelias, musgos, orquídeas) son capaces de absorber humedad atmosférica directamente a través de tricomas especializados localizados en las superficies de las hojas.

Velocidad y Dirección del viento

A semejanza del régimen de precipitación, una marcada estacionalidad en la velocidad y en la dirección del viento caracterizó el clima de la EEFIBM (Figs. 10 y 11). La velocidad promedio de los vientos alisios predominantes durante la estación seca se aproximó a 20 Km/h (Fig. 10). La velocidad máxima promedio se alcanzó durante los meses de Enero a Marzo, registrándose los valores más altos durante el mes de Febrero. El debilitamiento de los vientos alisios desde Mayo hasta Noviembre y la imposición de la estación lluviosa, coincidieron con pronunciadas reducciones en la

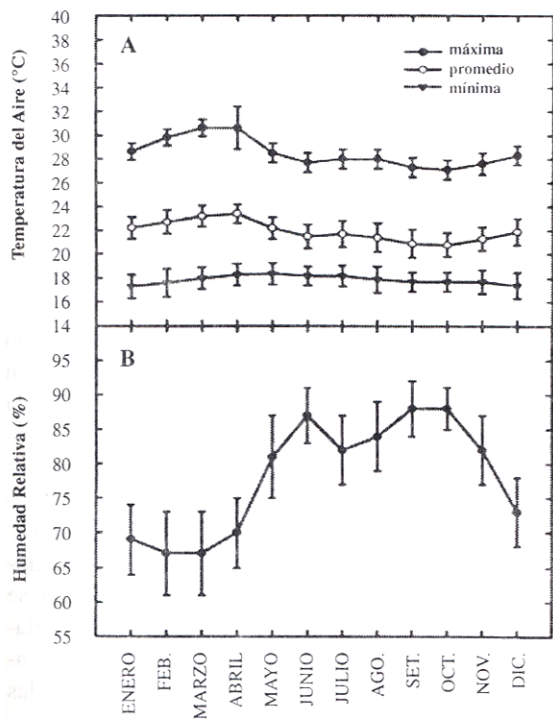


Figura 8: Régimen mensual promedio de temperatura del aire (°C) (A) y de humedad relativa (%) (B) experimentados a lo largo del año en la Estación Experimental Fabio Baudrit (1961-1997).

velocidad promedio de] viento, que se acercó a 10 Km/h (Fig. 10).

Variaciones igualmente dramáticas se observaron en la dirección de] viento (Fig. 11). La marcada influencia de los vientos alisios provenientes del Este y del Noreste coincidió con la ocurrencia de la estación seca y de las velocidades promedio del viento más altas observadas a lo largo del registro histórico. Durante la mayor parte de la estación lluviosa (de Mayo a Noviembre), la distribución de la dirección predominante del viento fue más uniforme, aunque se observó una creciente influencia de los vientos provenientes del Suroeste, particularmente durante Setiembre y Octubre (los meses más lluviosos del año).

Los efectos del viento sobre las plantas son variados y poco estudiados. Por ejemplo, los conocidos efectos del viento sobre la forma de los árboles son una consecuencia directa de las respuestas de las plantas a los estímulos mecánicos (tigmomorfogénesis). El viento también ejerce efectos indirectos sobre otros procesos fisiológicos como la transpiración (reduciéndola), a través de su influencia sobre la humedad del aire en contacto con la superficie de las hojas (la capa límite) y las respuestas estomáticas a la misma.

En términos ecológicos, los valores extremos alcanzados por la velocidad del viento en un ecosistema (por ejemplo, los huracanes) son de enorme importancia porque determinan la severidad máxima de los daños experimentados por la vegetación

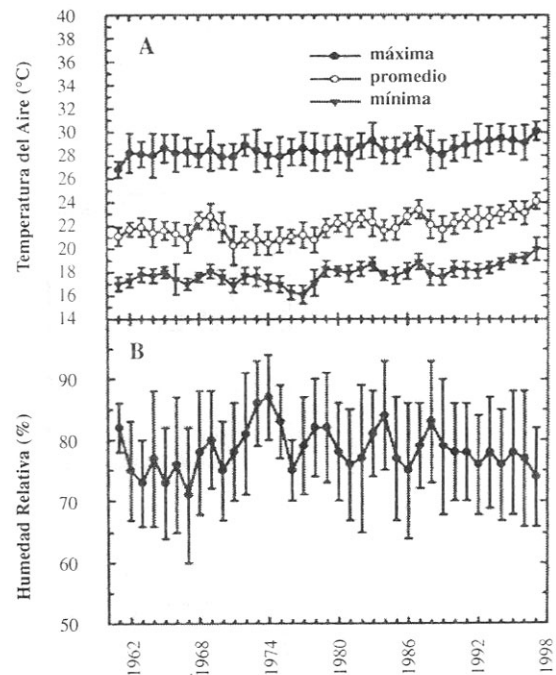


Figura 9: Valores promedio, máximos y mínimos anuales de la temperatura del aire (A), y promedio anual de humedad relativa (B) registrados en la Estación Experimental Fabio Baudrit M. (1961-1997).

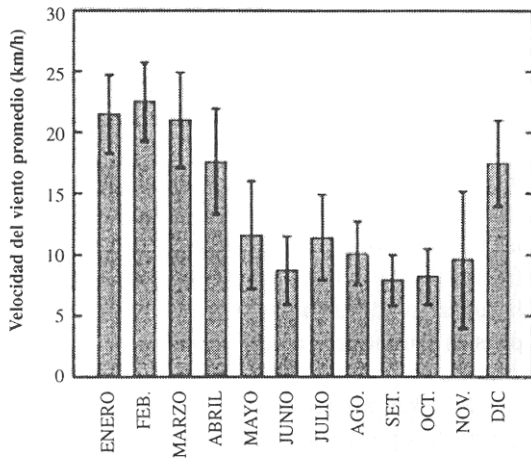


Figura 10: Velocidad del viento (promedio diario) observada a lo largo del año en la EEFBM. Desde 1961 y hasta 1970 los datos se obtuvieron con un anemovariógrafo. Desde 1971 y hasta el presente los datos se obtuvieron con un anemocinémógrafo.

y la fauna, y la periodicidad de estos eventos catastróficos puede funcionar como un importante agente de selección natural. En un contexto agrícola, el régimen de viento puede ser exitosamente modificado mediante el diseño y el mantenimiento adecuados de barreras rompevientos.

Conclusiones y recomendaciones:

El patrón anual del clima en la EEFBM mostró marcadas fluctuaciones estacionales, particularmente en la precipitación, y en la velocidad y la dirección del viento, y en menor grado, en el porcentaje de humedad relativa. La marcada estacionalidad en la distribución de la lluvia resultó en grandes diferencias en los regímenes de radiación, de horas de brillo solar y de la demanda evaporativa de la atmósfera experimentados durante la estación seca y la estación lluviosa. La temperatura promedio del aire se mantuvo relativamente constante y las variaciones en la misma a lo largo del

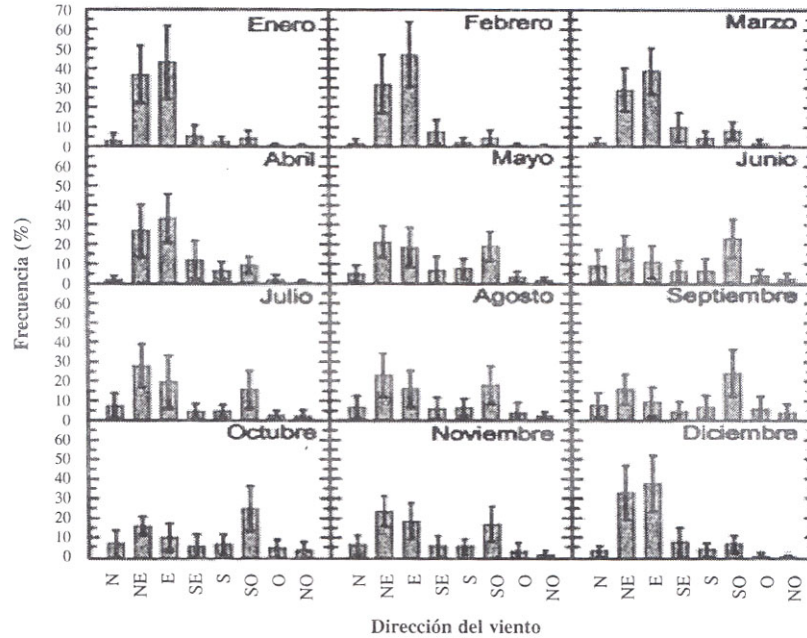


Figura 11: Distribución mensual de las frecuencias de la dirección del viento observada a lo largo del año en la Estación Experimental Fabio Baudrit M. (1961-1997).

año fueron inferiores a las diferencias observadas entre las temperaturas mínima y máxima diarias, una condición típica de los climas tropicales.

El resumen histórico de los datos climáticos de la EEFBM permitió observar un grado moderado de variabilidad en la cantidad anual de lluvia y de radiación solar total que alcanzó la superficie. La periodicidad de algunos eventos climáticos de gran importancia en la actualidad, tales como el fenómeno “El Niño” y algunos síntomas de calentamiento global, fue evidente luego del examen de datos climáticos acumulados por un período de 40 años.

La discusión anterior pone en evidencia el hecho de que la gran mayoría de las estaciones meteorológicas se limitan a la medición del ambiente aéreo de los seres vivos, dejando por fuera la medición del ambiente edáfico (humedad y temperatura del suelo, concentración de gases, otras propiedades físicas y químicas del suelo), de reconocida influencia sobre el funcionamiento de los ecosistemas a través de sus efectos sobre los sistemas radicales de las plantas y la actividad de los microorganismos del suelo. La situación actual refleja las dificultades conceptuales y técnicas que aún se experimentan para estudiar y medir los procesos subterráneos que ocurren en los ecosistemas terrestres.

Las características climáticas predominantes (Cuadro 1) permiten clasificar la EEFBM y su área de influencia dentro de la zona de vida de bosque premontano sub-húmedo, caliente, con una estación seca bien definida con más de 70 días sin lluvia (Holdridge 1982).

Agradecimientos:

Se agradece al Instituto Meteorológico Nacional por suministrar algunos de los instrumentos meteorológicos instalados en la estación meteorológica Ing. Rafael A. Chavarría, y por la asesoría técnica brindada para la adquisición y el procesamiento de los datos meteorológicos. Agradecemos la colabora-

ción de numerosos funcionarios de la EEFBM (técnicos y observadores) que de diversas formas participaron en la recolección y el procesamiento de los datos climáticos. Agradecemos especialmente al Sr. Julio Vega G. su excelente trabajo con las fotografías de los instrumentos meteorológicos.

Cuadro 1. Resumen de las características climáticas predominantes (\pm SD) en la Estación Experimental Fabio Baudrit M. durante el período comprendido entre 1958 y 1998.

Precipitación Anual (mm)	1939,6 \pm 300,9
Evaporación Anual (mm)	1875,9 \pm 275
Humedad Relativa Diaria (%)	78 \pm 4
Temperatura Diaria Máxima (°C)	28,5 \pm 0,6
Temperatura Diaria Promedio (°C)	2199 \pm 0,9
Temperatura Diaria Mínima (°C)	17,8 \pm 0,8
Radiación Solar Total Anual (MJ)	8428,2 \pm 577,8
Brillo Solar Anual (horas)	2396,5 \pm 250,5

LITERATURA CITADA

- DAUBENMIRE, R. 1971. Phenology and other characteristics of tropical semi-deciduous forest in North-Western Costa Rica. *J. Ecol.* 60:147-170.
- DORENBOOS, J. 1976. Estaciones Agrometeorológicas. Rome, FAO, Irrigation and Drainage Paper No. 27. 112p.
- DORENBOOS, J. y PRUITT, W.O. 1984. Crop water requirements. Rome, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. 144 p.
- HOLDRIDGE, L.R. 1982. Ecología, basada en zonas de vida. IICA, San José, Costa Rica. 216 p.
- LAWTON, J.R.S.; AKPAN, E.E.J. 1968. Periodicity in Plumeria. *Nature* 218:384-386.

- NJOKU, E. 1958. The photoperiodic response of some Nigerian plants. *J. West Afr. Sci. Assoc.* 4: 99-111.
- RUSSELLE, M.P.; WILHEM, W.W.; OLSON, R.A.; POWER, J.F. 1984. Growth analysis based on degree-days. *Crop Sci.* 24:28-32.
- SALISBURY, F.B. ; ROSS, CW. 1978. *Plant Physiology*. Wadsworth Publishing, Belmont. 540 p.
- STEWART, J.I. 1988. Response farming in rainfed agriculture. The Wharf Foundation, Davis. 103 p.
- STILES, FG. 1978. Temporal organization of flowering among the hummingbird foodplants of a tropical wet forest. *Biotropica* 10: 194-210.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 1981. Guide to agricultural meteorological practices. 2nd ed. Geneva. World Meteorological Organization.
-