

# EL CLIMA DE LA SUB-ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE FRAIJANES, EN UN ECOSISTEMA MONTANO BAJO Y HÚMEDO

*Marco V. Gutiérrez<sup>1</sup>, Dagoberto Soto<sup>2</sup>, Melvin Alpízar<sup>1</sup>*

## RESUMEN

**El clima de la Sub-Estación Experimental de Fraijanes, en un ecosistema montano bajo y húmedo.** Se analizó el comportamiento de las principales variables que describen el clima con base en el registro de los datos meteorológicos colectados en la Estación Experimental de Fraijanes (EEF) de la Universidad de Costa Rica, ubicada en la falda sureste del Volcán Poás a una elevación de 1500 msnm. El clima de la EEF se caracteriza por una marcada estacionalidad en la distribución de los  $3150 \pm 577$  mm anuales de lluvia, que determina en gran medida el patrón anual de otras variables ambientales importantes para el desarrollo de las plantas y de las actividades agrícolas, tales como la radiación solar, la temperatura y la humedad relativa del aire. La estación seca se extiende de enero a marzo y la lluviosa de mayo a noviembre; abril y diciembre son meses de transición. La estación seca recibe mayor radiación (cerca de  $18 \text{ MJ día}^{-1}$ ) y experimenta más horas de brillo solar diarias (más de 8) y menor humedad atmosférica (cerca del 80%). En contraste, los meses lluviosos reciben menos de  $12 \text{ MJ}$  diarios de radiación solar, experimentan menos de 4 horas de brillo solar diarias y mayor humedad atmosférica (cerca del 90%). La temperatura promedio del aire es de  $16,1 \pm 1,1 \text{ °C}$  y muestra una escasa variación anual que contrasta con las marcadas fluctuaciones diarias entre un mínimo promedio de  $12,9 \text{ °C}$  y un máximo promedio de  $21,4 \text{ °C}$ . La velocidad del viento también muestra una marcada estacionalidad determinada por la migración anual de la Zona de Convergencia Intertropical. Enero, febrero y marzo son los meses más ventosos en los que la velocidad del viento supera los  $10 \text{ km h}^{-1}$ , mientras que ésta no sobrepasa los  $6 \text{ km h}^{-1}$  durante la estación lluviosa. Las características bioclimáticas descritas anteriormente permiten clasificar la EEF dentro de la zona de vida del bosque húmedo montano bajo, de acuerdo al sistema de clasificación de Holdridge.

**Palabras clave:** vernalización, clima de montaña, ecosistema, factores climáticos, zonas de vida de Holdridge, Costa Rica.

## ABSTRACT

**The climate at the Fraijanes Experiment Station, in a low and humid montane ecosystem.** The meteorological record of climatic data collected at Fraijanes Experiment Station, University of Costa Rica, was examined. The Fraijanes Experiment Station is located on the south-eastern slope of the Poas Volcano, at 1,500 masl. The climate at the Fraijanes Experiment Station is characterized by a strong seasonality in the distribution of  $3,150 \pm 577$  mm of annual rainfall, a pattern that largely determines the annual trend of other environmental variables such as solar radiation and air temperature and humidity, important for the development of plants and agriculture. The dry season spans from Jan. to April, and the rainy season from May to November; April and December are transition months. The dry season receives a higher radiation (ca.  $18 \text{ MJ day}^{-1}$ ), and experiences more daily sunshine hours (over 8) and lower atmospheric humidity (ca. 80%). In contrast, the rainy months receive less than  $12 \text{ MJ day}^{-1}$  of solar radiation, and experience less than 4 hours of daily sunshine and higher atmospheric humidity (ca. 90%). Average air temperature is  $16.1 \pm 1.1 \text{ °C}$  and exhibits a slight annual variation, which contrasts with the sharp daily fluctuations between a minimum of  $12.9 \text{ °C}$  and a maximum of  $21.4 \text{ °C}$ . Wind speed also shows strong seasonality, largely determined by the annual migration of the Inter-Tropical Convergence Zone. January, February and March are windy months in which its speed surpasses  $10 \text{ Km h}^{-1}$ . In contrast, wind speed does not exceed  $6 \text{ Km h}^{-1}$  during the rainy season. The bio-climatic characteristics described above place the Fraijanes Experiment Station within the wet and lower montane forest life zone, according to the Holdridge's classification scheme.

**Keywords:** vernalization, mountain climate, ecosystems, climatic factors, Holdridge life zones, Costa Rica.

<sup>1</sup> Programa de Ecofisiología de Plantas Tropicales, Est. Exp. Fabio Baudrit M., Universidad de Costa Rica, Apdo. 183-4050 Alajuela, Costa Rica.

<sup>2</sup> Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio de Ambiente y Energía, San José, Costa Rica.

## INTRODUCCIÓN

La estación meteorológica de Fraijanes fue establecida en 1975 con el objetivo de medir, analizar e interpretar el clima de la Estación Experimental de Fraijanes (EEF) y sus alrededores, lo cual permite correlacionar el comportamiento climático con la fenología de las plantas, el desarrollo de las plagas y las enfermedades, y con los múltiples fenómenos de interés agrícola afectados por las variables ambientales.

Además de su papel en la investigación, la estación meteorológica funciona como instrumento de enseñanza y de acción social a través de la formación de los estudiantes de diversas instituciones y del público interesado en el campo de la Bio-climatología.

Desde el punto de vista agrícola, la EEF se encuentra localizada en una región que presenta condiciones ambientales apropiadas para el cultivo de una gran variedad de plantas, entre las que se incluyen el espárrago (*Asparagus officinalis*), la fresa (*Fragaria vesca*), la mora (*Rubus glaucus*), la granadilla (*Passiflora ligularis*), el bambú (*Bambusa* spp.), varios cultivos ornamentales (flores y follajes), y diversas especies de árboles frutales de altura como el aguacate (*Persea americana*) y la anona (*Annona cherimola*).

Adicionalmente, algunas especies exóticas como el melocotonero (*Prunus persica*), manzano (*Malus* sp.) y peral (*Pyrus communis*) introducidas de latitudes con climas subtropicales y templados, y con ciclos fenológicos que incluyen episodios de latencia y vernalización (Lang 1987, Perry 1971) han sido cultivadas exitosamente bajo condiciones climáticas semejantes a las de Fraijanes. Estas especies pueden mostrar requerimientos ambientales y fisiológicos específicos para completar sus ciclos fenológicos normales (Sancho y Arias 1979, 1982), que no son satisfechos bajo condiciones tropicales, pero podrían ser cultivadas en ambientes similares al de la EEF, donde las condiciones ambientales exhiben patrones menos disímiles a los observados en latitudes mayores, particularmente en lo referente

al régimen de la temperatura del aire (Balandier *et al.* 1993, Michaels y Amasino 2000).

Las características climáticas de la EEF la convierten en un ambiente ideal para el mantenimiento de colecciones de germoplasma y la producción de semillas libres de patógenos particularmente agresivos en elevaciones menores, así como para la conservación de abejas mielíferas nativas no contaminadas por cruces con abejas africanizadas. La EEF constituye un entorno ideal para el desarrollo de investigaciones en diversos temas de interés agrícola y para el cultivo de especies introducidas con requerimientos ambientales específicos. En este sentido, resulta de gran valor contar con registros climáticos a largo plazo.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar y discutir el comportamiento climático en la EEF durante el período comprendido entre 1975 y 2000.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La estación meteorológica de Fraijanes está ubicada en terrenos de la Estación Experimental del mismo nombre, propiedad de la Universidad de Costa Rica, en la provincia de Alajuela, a 10°05' de latitud norte, 84°16' de longitud oeste y a 1500 msnm.

Esta estación meteorológica inició su funcionamiento en 1975 en la Finca "La Colina" del Sr. Eduardo Vargas en La Laguna de San Isidro de Alajuela. Las observaciones se suspendieron del 10 de julio de 1979 al 2 de Mayo de 1980 y se reiniciaron el 03 de junio de 1980 en su ubicación actual.

### 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 (1981) (Dorenboos y Pruit 1976, Gutiérrez *et al.* 1997). Las variables

ambientales medidas y los instrumentos utilizados en su medición se describen a continuación:

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

**2. Radiación solar total (MJ):** se midió con un actinógrafo bimetálico (modelo 58d-1E, R. Fuess, Berlin-Stglitz).

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

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

**5. Velocidad del viento (km h<sup>-1</sup>):** se midió a 2 m de altura sobre el nivel del suelo con un anemómetro (modelo Casella W1208-2, Londres).

### Recolección y procesamiento de los datos meteorológicos

Los registros de los instrumentos mecánicos de la estación meteorológica de Fraijanes 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:

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

Con excepción de 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), las bandas gráficas conteniendo la información registrada por los instrumentos meteorológicos se digitalizaron manualmente.

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

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El clima de la EEF está definido principalmente por: a) su posición geográfica en Costa Rica, a 1500 m de elevación en la falda sur-este del Volcán Poás, en la depresión orográfica ubicada entre los volcanes Poás y Barva, b) el efecto de la migración anual de la Zona de Convergencia Intertropical (Coen 1973, Srinivasan y Smith 1996), y c) los cambios rápidos e impredecibles causados por las perturbaciones atmosféricas originadas en el Mar Caribe.

### La precipitación

La precipitación anual promedio de 24 años de observaciones meteorológicas en la EEF es de 3150 ± 577 mm (Cuadro 1), sustancialmente mayor que el promedio de 1939,6 mm anuales registrado en la Est. Exp. Fabio Baudrit M. (EEFBM) en La Mandarina, Bo. San José de Alajuela (Gutiérrez *et al.*, 1997). A semejanza del clima en la EEFBM, la estacionalidad en la distribución de la precipitación caracteriza el clima de la EEF, lo que ha dado como resultado las estaciones seca (de enero a marzo) y lluviosa (de mayo a noviembre) bien definidas (Fig. 1). Abril y diciembre son considerados como meses de transición.

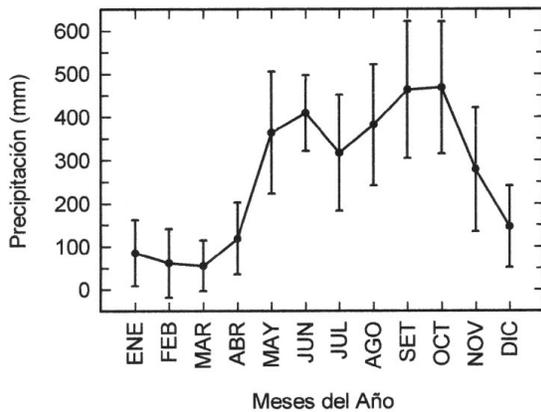
La estación seca se extiende de enero a marzo, meses durante los cuales la precipitación mensual es inferior a 100 mm (Fig.1). Abril es un mes de

**Cuadro 1.** Promedio ( $\pm$  Desviación estándar) de las variables climáticas más importantes medidas en la estación meteorológica de Fraijanes.

Precipitación anual (mm)	3.150,4 $\pm$ 577,1
Humedad relativa diaria (%)	86,1 $\pm$ 2
Temperatura diaria máxima (°C)	21,4 $\pm$ 0,5
Temperatura diaria promedio (°C)	16,1 $\pm$ 1,1
Temperatura diaria mínima (°C)	12,9 $\pm$ 1,4
Radiación solar total anual (MJ)	5.505,4 $\pm$ 1.086
Brillo solar anual (horas)	2.063,7 $\pm$ 360,7

transición durante el que típicamente se inicia la estación lluviosa, la cual se extiende formalmente de mayo a noviembre (Fig. 1).

La distribución de la precipitación durante la estación lluviosa en Fraijanes muestra el patrón típico de las zonas neo-tropicales afectadas por la migración anual de la ZCIT (Fig. 1). La estación lluviosa es interrumpida por un corto periodo de poca precipitación que ocurre entre finales de junio e inicios de julio (el Veranillo de San Juan) (Coen 1973), de menor severidad que el veranillo experimentado en la EEFBM (Gutiérrez *et al.* 1997).

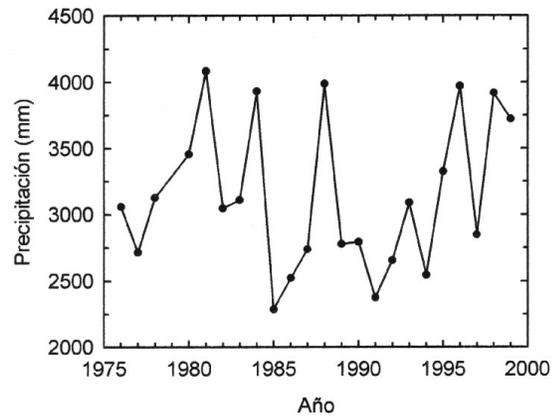


**Figura 1.** Patrón anual de la precipitación mensual recibida en la Est. Exp. de Fraijanes, Universidad de Costa Rica, a 1500 m de elevación. Cada valor es el promedio de 24 observaciones de precipitación mensual obtenidas de 1975 al 2000.

La precipitación mensual se incrementa de nuevo en agosto, alcanza valores máximos durante setiembre y octubre (alrededor de 450 mm mensuales) y desciende en noviembre a menos de 300 mm (Fig. 1). Diciembre es un mes de transición durante el cual comúnmente concluye la estación lluviosa y la precipitación mensual apenas supera los 150 mm.

Aunque los registros de la evaporación de referencia medidos con un tanque tipo A no fueron incluidos en este estudio debido a su limitada extensión, la evaporación observada típicamente durante la estación seca (4,5-6 mm día<sup>-1</sup>) podría ser difícilmente compensada por la precipitación mensual registrada en estos meses (menos de 100 mm). La irrigación durante estos meses podría ser necesaria para el crecimiento de algunas plantas cultivadas con sistemas radicales poco extendidos.

En relación con el promedio anual de lluvia en Fraijanes (3150 mm), la precipitación ha mostrado marcadas fluctuaciones a lo largo del periodo de observación de 24 años (Fig. 2). El año más seco ha sido 1985 (cerca de 2200 mm anuales) mientras que 1981 ha sido el más lluvioso (más de 4000 mm anuales). Los años 1981, 1984, 1988, 1996 y 1998 fueron muy lluviosos, y la precipitación anual se

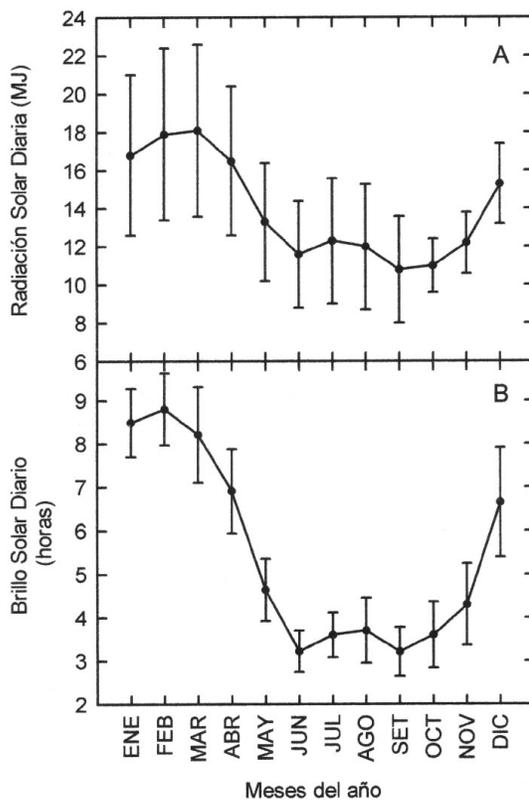


**Figura 2.** Total anual de precipitación recibida en la Est. Exp. de Fraijanes a lo largo de un periodo de observación de 24 años (1975-2000).

acercó a 4000 mm, mientras que los años 1977, 1985, 1986, 1987, 1989, 1991, 1992, 1994 y 1997 fueron años poco lluviosos en los que la precipitación anual fue bastante inferior al promedio (Fig. 2).

### La radiación y las horas de brillo solar

El régimen de radiación solar en la EEF se caracteriza por marcados cambios anuales tanto en los niveles diarios de radiación solar total como en el número de horas de brillo solar diarias (Fig. 3). Este régimen anual es mayormente una consecuencia del patrón de distribución de la lluvia descrito anteriormente (Fig. 1).



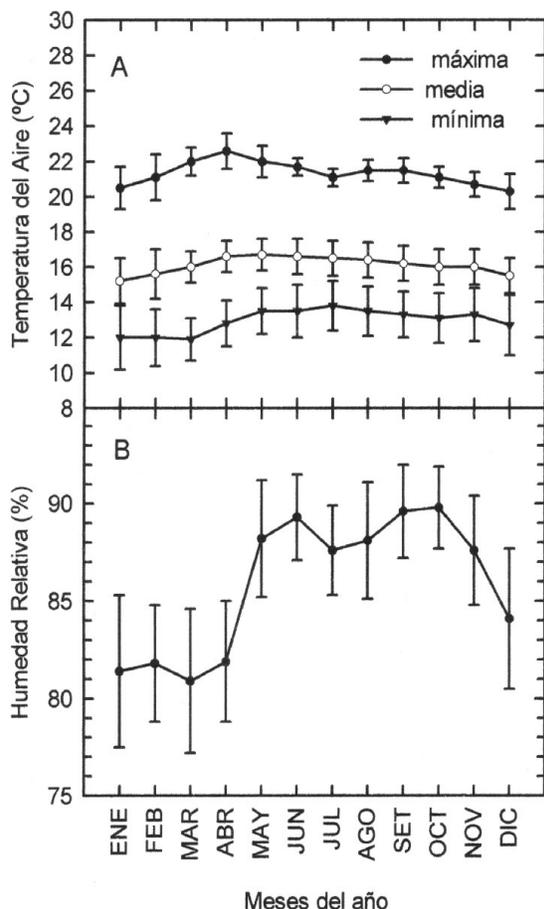
**Figura 3.** Cambios anuales en el promedio diario de radiación solar total (A) y de horas de brillo solar (B) experimentados en la Est. Exp. de Fraijanes. Cada valor mensual es el promedio de 23 años de observaciones.

Los meses menos lluviosos (enero, febrero y marzo) son los más soleados del año (más de 16 MJ día<sup>-1</sup> y más de 8 horas de brillo solar diarias), mientras que los meses más lluviosos (junio a noviembre) son los que experimentan menores niveles diarios de radiación solar y de horas de brillo solar (menos de 12 MJ día<sup>-1</sup> y menos de 4 horas día<sup>-1</sup>, respectivamente). Desde el punto de vista de la distribución de la radiación solar total en Fraijanes, abril y diciembre son también meses de transición a la estación lluviosa y seca, respectivamente.

El régimen de radiación solar y de horas de brillo solar experimentado en Fraijanes difiere del observado en la EEFBM, la cual recibe mayores niveles de radiación solar durante todos los meses del año y el número de horas de brillo solar es también mayor; esta diferencia es menos pronunciada durante la estación seca pero se acentúa durante la estación lluviosa.

### La temperatura y la humedad relativa del aire

La característica más sobresaliente del régimen anual de la temperatura del aire en la EEF es su escasa variación a lo largo del año (Fig. 4A), oscilando alrededor de un promedio de  $16,1 \pm 1,1$  °C (Cuadro 1). Esto contrasta con las amplias fluctuaciones diarias en la temperatura del aire observadas a lo largo del año (Fig. 4A). La temperatura diaria mínima promedio es  $12,9 \pm 1,4$  °C y la máxima  $21,4 \pm 0,5$  °C, lo que representa una variación diaria de al menos 8°C. Marzo y abril son los meses más calientes del año, mientras que diciembre y enero son los más fríos. En los trópicos, estas condiciones ambientales parecen ser las más favorables para el cultivo de especies introducidas, especialmente cuando algunas prácticas culturales diseñadas para facilitar el desarrollo de estas especies exóticas (defoliación, interrupción química del reposo, forzamiento de cosecha) son utilizadas en el estado fisiológico adecuado. Según los estudios más recientes (Michaels y Amasino 2000), temperaturas mínimas diarias como las experimentadas en Fraijanes a lo largo del año (Fig. 4A) parecen ser sufi-



**Figura 4.** Patrón anual de la temperatura (A) y de la humedad relativa del aire (B) en la Est. Exp. de Fraijanes. Cada valor mensual es el promedio de 23 años de observaciones.

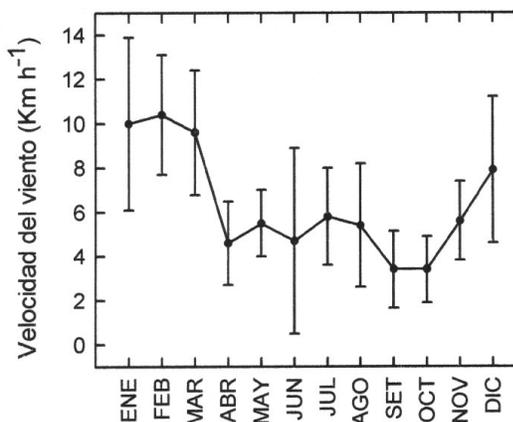
cientes para satisfacer los requerimientos de vernalización de muchas especies introducidas.

El promedio anual de la humedad relativa diaria en la EEF es alto y alcanza valores de  $86,1 \pm 2\%$  (Cuadro 1). Sin embargo, este promedio enmascara las diferencias en la humedad del aire observadas entre los meses menos lluviosos (enero a abril), en los que la humedad relativa fue cercana al 80% y los meses más lluviosos (mayo a noviembre) en los que la humedad relativa se acercó al 90% (Fig. 4B).

El régimen de la temperatura del aire descrito anteriormente (Fig. 4A) en combinación con la alta humedad atmosférica y precipitación observadas a lo largo del año (Fig. 4B), propician el desarrollo de la vegetación típica de esta zona de vida, caracterizada por la abundancia de árboles de 20-30 m de altura, un sotobosque poco desarrollado compuesto de plántulas, hierbas y helechos dispersos, lianas agrupadas en pequeños parches distribuidos a través del bosque y epífitas poco abundantes (Swayer y Lindsey 1971).

### La velocidad del viento

Aunque no tan evidentemente como en la EEFBM a 840 m de elevación, la estacionalidad en la velocidad del viento también caracteriza el clima de Fraijanes (Fig. 5). La velocidad promedio del viento es inferior a  $6 \text{ km h}^{-1}$  desde abril hasta agosto, alcanza sus valores más bajos (menor a  $4 \text{ km h}^{-1}$ ) durante setiembre y octubre, los meses más lluviosos, se incrementa a partir de diciembre ( $8 \text{ km h}^{-1}$ ) y alcanza valores superiores a  $10 \text{ km h}^{-1}$  durante la mayor parte de la "estación seca" (enero a marzo). La variación anual en la velocidad promedio del viento en Fraijanes es menor que la observada en la EEFB, donde la velocidad del viento fue



**Figura 5.** Cambios anuales en el promedio diario de la velocidad del viento en la Est. Exp. de Fraijanes. Cada valor mensual es el promedio de 14 años de observaciones.

de aproximadamente 10 y 20 km h<sup>-1</sup> durante las estaciones lluviosa y seca, respectivamente.

El régimen de lluvia observado en Fraijanes, aunque grandemente dependiente del comportamiento de la Zona de convergencia intertropical, es parcialmente determinado por el enfriamiento del viento húmedo proveniente del Caribe que asciende la Cordillera Volcánica Central, y deposita cantidades importantes de precipitación en la depresión existente entre los volcanes Poás y Barva donde se ubica la EEF. Sin embargo, el fortalecimiento de los vientos alisios en combinación con la orografía local, hacen que enero, febrero y marzo coincidan con la ocurrencia de la “estación seca” y los valores de precipitación mensual más bajos observados en Fraijanes.

### Conclusión:

Las características bioclimáticas descritas (Cuadro 1) permiten clasificar la EEF dentro de la zona de vida del bosque húmedo montano bajo, de acuerdo al sistema de clasificación de Holdridge (1982).

### Agradecimiento:

Los autores agradecen al Instituto Meteorológico Nacional por suministrar algunos de los instrumentos meteorológicos instalados en Fraijanes y por la asistencia técnica brindada en la adquisición y procesamiento de los datos meteorológicos. Agradecen también la colaboración de numerosos funcionarios, técnicos y observadores que participaron en la recolección de los datos.

## LITERATURA CITADA

- BALANDIER, P.; BONHOMME, M.; RAGEAU, R.; CAPITAN, F.; PARISOT, E. 1993. Leaf bud endodormancy release in peach trees: evaluation of temperature models in temperate and tropical climates. *Agric. For. Met.* 67:95-113.
- COEN, E. 1973. El folklore Costarricense relativo al clima. *Revista de la Universidad de Costa Rica* 35:135-146.
- DORENBOOS, J.; PRUITT, W. 1976. Estaciones Agrometeorológicas. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 27.* Rome. 112 p.
- GUTIÉRREZ, M.V.; SOTO, D.; ALPÍZAR, M. 1997. Cuarenta años de observaciones meteorológicas en la Estación Experimental Fabio Baudrit. *BOLTEC (C.R.)* 30:1-14.
- HOLDRIDGE, L.R. 1982. *Ecología basada en zonas de vida.* San José, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 216 p.
- LANG, G.A.; EARLY, J.D.; MARTIN, G.C.; DARNELL, R.L. 1987. Endo-, Para-, and Ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 22:371-377.
- MICHAELS, S.D.; AMASINO, R.M. 2000. Memories of winter: vernalization and the competence to flower. *Plant, Cell & Env.* 23:1145-1153.
- PERRY, T.O. 1971. Dormancy of trees in winter. *Science* 171:29-36.
- SANCHO, G.; ARIAS, O. 1979. Fisiología de los meristemos del melocotonero (*Prunus persica* L.) Batsch en condiciones tropicales. Efecto del ángulo de inclinación, defoliación y tratamientos químicos para modificar el reposo. *Agronom. Costarr. (C.R.)* 6:49-56.
- \_\_\_\_\_. 1982. Fisiología de los meristemos del melocotonero (*Prunus persica* L.) Batsch en condiciones tropicales. Efecto de algunas sustancias químicas para modificar el reposo. *Agronom. Costarr. (C.R.)* 3:151-159.
- SRINIVASAN, J.; SMITH, G.L. 1996. Meridional migration of Tropical Convergence Zones. *J. Appl. Meteorol.* 35:1189-1202.
- SWAYER, J.O.; LINDSEY, A.A. 1971. *Vegetation of the life zones in Costa Rica.* Indiana. Indiana Academy of Sciences. 214 p.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 1981. *Guide to agricultural meteorological practices.* 2nd ed. Geneva. World Meteorological Organization.