



# VII Congreso de la Red Latinoamericana de Ciencias Ambientales

## Resúmenes / *Abstract*

del 11 al 15 nov 2013  
San Carlos, Costa Rica

"FORJANDO SINERGIAS  
PARA LA SOSTENIBILIDAD"



***LIBRO DE RESUMEN DEL  
“VII CONGRESO DE LA RED LATINOAMERICANA DE CIENCIAS AMBIENTALES”***

CC.17.P. Comparación de Biomasa, diversidad y estructura de dos selvas de canacoite en la Chontalpa, Tabasco, México .....	336
CC.18.P. Los servicios ecosistémicos de los parques periurbanos como herramienta para la mejora de la calidad de vida y la mitigación y adaptación al cambio climático en América Latina .....	338
CC.19.P. La dinámica poblacional de los últimos 40 años y la deforestación de la microcuenca del río Itzapa, en relación con la situación ambiental e hídrica .....	340
CC.20.P. Incidencia de las emisiones gases de efecto invernadero del sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, con la capacidad de absorción de CO <sub>2</sub> en la provincia de Manabí, Ecuador, en los años 2011 y 2012. ....	342
CC.21.P. Influencia del cambio climático en los ecosistemas del Departamento del Meta-Colombia .....	344
CC.22.P. Clasificación climática para la vertiente Caribe costarricense .....	346
CC.23.P. Determinación de compuestos orgánicos volátiles en aire ambiente de un sitio costero en un estación climática de 2012 .....	348
CC.24.P. Adaptación ante el cambio climático en el sector hídrico de México .....	350
CC.25.P. Diseño de adobes urbanos para construcción de vivienda en México .....	352
CC.26.P. Efecto de la variabilidad y cambio climático sobre aportes de materia orgánica particulada en una quebrada altoandina .....	354
CC.27.P. Aceptación y adopción de sistemas productivos adaptativos en la microcuenca El guayabo-San José, municipio El Sauce, León .....	356
CC.28.P. El cambio climático: fenómeno explícito de la crisis civilizatoria actual, demandante de una cultura ecológica integral para la sociedad .....	358
COMISIÓN EDUCACIÓN AMBIENTAL .....	360
EA.1.O. La Educación Ambiental en la Formación Docente: propiciando vínculos con el entorno .....	360
EA.2.O. Enseñanza y práctica en educación ambiental en la educación primaria .....	362
EA.3.O. Hacia la sostenibilidad ambiental en los campus universitarios .....	364
EA.4.O. El aprendizaje situado como estrategia integradora de la práctica docente en ciencias ambientales .....	366
EA.5.O. Responsabilidad social personalista, un nuevo enfoque para la educación ambiental .....	368
EA.6.O. Programa “ECOSALVA” y las actitudes de los alumnos de la Universidad Nacional de Huancavelica respecto a la conservación del medio ambiente.....	370
EA.7.O. Educación Ambiental a partir de la relación agua y territorio en el contexto de las lagunas sagradas de la comunidad indígena Muisca del altiplano cundiboyecense en Colombia.....	372
EA.8.O. La gestión del recurso hídrico vista desde la huella hídrica como estrategia de educación ambiental:.....	374
Ejercicio con población rural de Villavicencio, Meta-Colombia .....	374

## CC.22.P. Clasificación climática para la vertiente Caribe costarricense

Paula M. Pérez Briceño<sup>1</sup>, Jorge A. Amador Astúa<sup>1,2</sup> y Eric J. Alfaro<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Centro de Investigaciones Geofísicas; Universidad de Costa Rica, Costa Rica.*

<sup>2</sup>*Escuela de Física; Universidad de Costa Rica, Costa Rica.*

### Resumen

El objetivo principal de este trabajo es elaborar una clasificación climática para el Caribe costarricense utilizando 82 estaciones meteorológicas manuales y automáticas. El método usado en este estudio es el balance hídrico, base de la clasificación climática de Thornthwaite. Para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) se usaron dos procedimientos, el de Thornthwaite que requiere únicamente de la temperatura media mensual y el de Hargreaves que necesita temperatura media, mínima y máxima mensual y radiación solar. El procedimiento aplicado precisa de un análisis geográfico utilizando material cartográfico. Los resultados obtenidos muestran que hay: 1) Siete grupos climáticos utilizando la ETP de Thornthwaite y 2) Diez grupos climáticos usando la ETP según Hargreaves. Ambas clasificaciones presentan altas precipitaciones en el Caribe Norte (~5600 mm) y relativamente bajas precipitaciones en el Caribe Sur (~2700 mm). La temperatura, como es de esperarse, decrece hacia las zonas montañosas alcanzando ahí cerca de 11°C, recalando la poca variabilidad sobre las zonas de llanura (26°C) y a lo largo de la costa. En los mapas de ETP existe un patrón similar, sin embargo sobresalen detalles en sitios específicos que producen diferencias en la clasificación, por ejemplo en el Caribe Sur en el que se delimitan más detalladamente dos diferentes grupos climáticos. Este tipo de estudios aplicados permite una interpretación y utilidad práctica del clima en una región, ya que confecciona un panorama suficientemente general para comparar regiones con rasgos comunes, con el detalle suficiente para diferenciar varios grupos climáticos. En este estudio, las clasificaciones climáticas obtenidas forman parte de un proyecto conjunto entre el Centro de Investigaciones Geofísicas y la Corporación Bananera Nacional (CORBANA). Este trabajo logra mejorar la comprensión sinóptica del clima en la región Caribe, resaltando la utilidad de las clasificaciones como herramienta para la toma de decisiones en el sector bananero.

**Palabras Clave:** Clasificación, clima, evapotranspiración potencial, Caribe

# Climate Classification for the Costa Rican's Caribbean side

## Abstract

The aim of this work is to develop a climate classification for the Costa Rican's Caribbean watershed using 82 both manual and automatic meteorological stations. The hydrologic balance is the base of the applied method of this research, the Thornthwaite's climate classification. Potential evapotranspiration (PET) has been estimated in two different ways, the first one, using Thornthwaite's approach that needs only monthly average temperature, and the second one, that of Hargreaves that requires monthly average, minimum and maximum temperatures and solar radiation. The applied method depends on cartography for the geographical analysis. The classifications found present: 1) Seven climate groups using Thornthwaite PET, and 2) Ten climate groups employing Hargreaves PET. Particular sectors show high precipitation amounts like the northern Caribbean (~5600 mm) and relatively low precipitation quantities in the southern Caribbean region (~2700 mm). Regarding temperature, classifications, as expected, show a decreasing pattern toward higher elevations reaching there 11°C, and confirming a low variability pattern along the plains (26°C) and the coast line. In the PET maps a similar pattern is present, even though there are some important details in specific areas that produce differences in the classification, for example in the southern Caribbean region where two different climate groups are present. This kind of applied study allows an interpretation and practical use of the climate of a region, since it permits a general view of the region by comparing regions with common aspects, but with enough details to differentiate zones in it. This study about the climate classification of the Caribbean slope is part of a joint project between the Geophysical Research Center and the National Banana Corporation (CORBANA in Spanish). Besides, improving the synoptic climate understanding of the Caribbean region, the classifications can be used as a tool for decision making in the banana industry.

**Keywords:** Classification, Climate, Potential Evapotranspiration, Caribbean

## **Clasificación climática para la vertiente Caribe costarricense**

Paula M. Pérez Briceño<sup>1</sup>, ([paula.perez@ucr.ac.cr](mailto:paula.perez@ucr.ac.cr), +506 2511-5096)  
Jorge A. Amador Astúa<sup>1 2</sup> ([Jorge.amador@ucr.ac.cr](mailto:Jorge.amador@ucr.ac.cr), +506 2511-5096)  
Eric J. Alfaro Martínez<sup>1 2</sup> ([erick.alfaro@ucr.ac.cr](mailto:erick.alfaro@ucr.ac.cr), +506 2511-5096)

<sup>1</sup>*Centro de Investigaciones Geofísicas; Universidad de Costa Rica, Costa Rica.*

<sup>2</sup>*Escuela de Física; Universidad de Costa Rica, Costa Rica.*

La variabilidad térmica y pluviométrica es una característica del territorio costarricense, por ello la diferencia climática entre las dos vertientes, la Pacífica y la Caribe, donde la primera por estar a sotavento posee un régimen de menor humedad en el aire mientras que la ladera de barlovento, recibe los vientos alisios cargados de humedad que determinan el clima de la vertiente Caribe donde llueve prácticamente todo el año.

Se analizan variables meteorológicas integrándolas al relieve en busca de patrones climáticos y asociar las estaciones a un grupo climático la vertiente Caribe. Se utilizaron estaciones meteorológicas con registros mayores a los diez años.

Este trabajo forma parte del proyecto “Clima, variabilidad y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: Un estudio básico para la actividad bananera”, elaborado por el Centro de Investigaciones Geofísicas a solicitud de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA); y con él se pretendió analizar variables climáticas de estaciones meteorológicas con registros superiores a diez años en la Vertiente Caribe para elaborar una clasificación climática basada en el balance hídrico que es la base para el sistema de Thornthwaite (Mather, 1974).

### **Métodos y materiales**

Se presenta la clasificación climática para la vertiente Caribe costarricense con dos modificaciones importantes con respecto a Amador *et al.* (2012): 1) Incremento en la cantidad de estaciones meteorológicas con el fin de ampliar la cobertura geográfica del estudio y 2) Sustitución del método utilizado para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP). En Amador *et al.* (2012), la ETP se estimó según el método de Thornthwaite, que utiliza solamente como parámetro de entrada la temperatura media mensual. En este trabajo se calcula por el método de Hargreaves, que calcula la ETP utilizando datos de temperatura media mensual, la diferencia entre temperatura mínima mensual y temperatura máxima mensual así como la radiación incidente en el límite superior de la atmósfera (Herrera, 1985). En general, los métodos para determinar esta variable presentan diferentes tipos de sesgos, algunos de ellos vinculados al número de parámetros usados para su cálculo (Lu *et al.* 2005; Bautista *et al.* 2009). Con el fin de mostrar las diferencias entre las ecuaciones para el cálculo de la ETP, la clasificación climática para la vertiente Caribe se elabora utilizando ambos métodos mencionados. Se recomienda utilizar la clasificación climática estimada a partir de la ecuación de Hargreaves, ya que considera más variables meteorológicas.

Se realizó una recopilación de datos de precipitación media mensual de estaciones meteorológicas de la red del Instituto Nacional de Meteorología (IMN), Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), las estaciones BANACLIMA de CORBANA y las

estaciones de la empresa Del Monte que estuvieran dentro del área de estudio y en zonas aledañas. Esta base de datos cuenta con 123 estaciones con registros de precipitación para diferentes periodos, por lo que fue necesario definir criterios de selección para validar y sistematizar la clasificación. Los parámetros establecidos fueron:

1. Estación meteorológica con registro de datos de precipitación media mensual mayor a un periodo de 10 años, con excepción de las estaciones de BANACLIMA que cuentan con registro de siete años y que son incluidas en este estudio.
2. Que la estación meteorológica cuente con un registro casi-continuo de datos, no se consideran las estaciones que tengan periodos mayores a un año sin datos.
3. La estación debe tener registro dentro de los últimos 50 años aproximadamente, es decir desde 1960 al 2011 (se dispone de datos hasta esta fecha).

Una vez realizada la selección de estaciones, se determinó que 82 estaciones cumplen con los requisitos (Amador *et al.*, 2013). A partir de esta base se procedió a una revisión de la disponibilidad de datos de temperatura y no todas las estaciones cuentan con esta información. El 50% cuenta con los datos de temperatura media, mínima y máxima mensual. Es decir, 41 estaciones tienen estos valores y las otras 41 tienen el valor asociado de la estación más cercana (línea recta), tomando en cuenta la altitud de la estación. Cabe recalcar que la zona de estudio, posee poca variabilidad térmica por lo que es válido realizar la asociación de datos.

Retomando la metodología descrita en Amador *et al.* (2012), se mapean las variables de precipitación media anual, temperatura media, mínima y máxima anual. Se calculan los índices de aridez, de humedad e hídrico para determinar los grupos climáticos.

Para elaborar una clasificación climática según la metodología de Thornthwaite se requieren cuatro factores (Mather, 1974):

1. Índice hídrico: es expresado como la diferencia entre el índice de humedad y el índice de aridez. Las provincias de humedad son las que dan nombre a los grupos climáticos, es decir a partir de estas, se organizan dichos grupos (Tabla 1).
2. Variación estacional de la humedad: se refiere a la distribución de la precipitación a lo largo del año, y se indica con *f*, *s*, y *w* en letras minúsculas; que se refiere a buena distribución de la precipitación a lo largo del año; presenta un verano seco o una estación lluviosa respectivamente.
3. Índice térmico: la metodología de Thornthwaite supone la evapotranspiración potencial como índice térmico. Hay nueve clasificaciones que se distinguen con una letra mayúscula; por ejemplo: megatermal (A'), mesotermal (B'), microtermal (C'), tundra (D') e hielo (E').
4. Índice de variación térmica: este índice indica la cantidad de energía que recibe durante la época seca; varía entre 25 y 100 para cualquier clima.

## Resultados

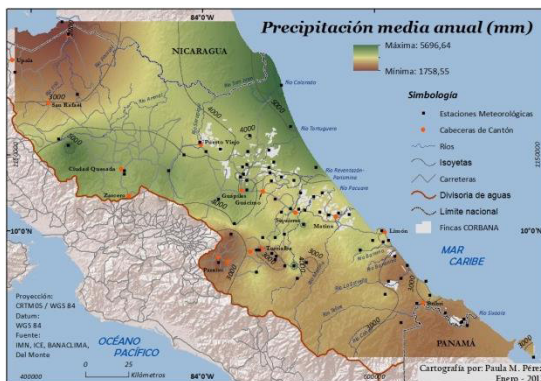
La figura 1 muestra la distribución espacial de la precipitación media anual, tomando en consideración que es altamente variable espacialmente. Por ejemplo, hacia el sureste del área de estudio en los alrededores de Bribri y Bocas del Toro (Panamá) la cantidad de lluvia es menor con valores de 3000 mm mientras que hacia el noroeste cerca a las localidades de Puerto Viejo (Sarapiquí), Guápiles y Tortuguero con valores de 5000 mm anuales. La estación con el máximo de lluvia media anual es Jilguero con 5500 mm,

mientras que la estación con el mínimo de la precipitación es Comando Los Chiles con 1700 mm de lluvia anual, (estación ubicada lejos de la influencia marítima).

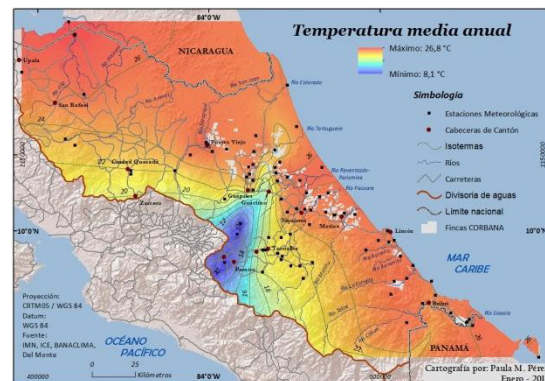
Denominación	Índice hídrico (%)	Simbología
Excesivamente húmedo (pluvial)	600 - 300	H
Muy húmedo	300 - 100	G
Húmedo	100 - 80	F
Húmedo	80 - 60	E
Húmedo	60 - 40	D
Húmedo	40 - 20	C
Subhúmedo húmedo	20 - 0	B
Subhúmedo seco	-33,3 - 0	A

**Tabla 1. Provincias de humedad. Fuente: Herrera (1985) y Mather (1974).**

En cuanto a la temperatura media anual (ver figura 2) se observa poca variabilidad térmica a lo largo de la zona litoral, con valores altos de temperatura media entre los 25 °C y 26 °C. Conforme aumenta la altitud, la temperatura disminuye paulatinamente, lo que ocasiona que las isotermas sean paralelas hasta llegar a la divisoria de aguas, donde se encuentra la estación Volcán Irazú con un mínimo de temperatura media de 8,1°C. Haciendo énfasis en la zona de interés, la amplitud térmica varía muy poco a lo largo de año y es más notoria en el transcurso del día. Hacia las estaciones Caribe S.A. y Tortuguero Norte se aprecia una pequeña disminución de la temperatura media anual. En cuanto a la distribución espacial de la temperatura mínima anual, se observó que en la llanura se mantiene aproximadamente constante con valores mínimos de 20°C, disminuyendo hacia las zonas montañosas, el mínimo es en el Volcán Irazú con 4°C a 2027 m.s.n.m. La distribución geográfica de la temperatura máxima en las partes bajas es continua con poca variabilidad, con un promedio de 30°C, y el mínimo de la temperatura máxima es en el Volcán Irazú con 11,5°C.



**Figura 1. Distribución espacial precipitación media anual (elaboración propia).**



**Figura 2. Distribución espacial de la temperatura media anual (elaboración propia).**

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, que es la medida de la transferencia máxima de agua posible a la atmósfera bajo condiciones ideales de textura del suelo y vegetación (Thornthwaite, 1948), se utilizaron dos ecuaciones, de este autor (ecuación [4]); y la de Hargreaves (1981), ecuación [6]. La ecuación [4] es recomendable para las tierras llanas y húmedas, pero no para las tierras montañosas interiores y el Pacífico seco. La ecuación [6] genera resultados bastante aceptables, ya que se adapta a las regiones climáticas costarricenses y a la infraestructura



meteorológica de datos existente (Herrera, 1985). Primero se abarca la fórmula empírica de Thornthwaite en donde la temperatura media mensual es el principal controlador de la evapotranspiración, ya que existe una relación entre este elemento del clima y la evapotranspiración, en los meses de 30 días y con 12 horas de radiación solar (Thornthwaite, 1948). Esta relación se expresa como:

$$e = cT^a \quad [1]$$

donde  $e$  es la evapotranspiración potencial mensual en centímetros,  $T$  es la temperatura mensual en °C, y los coeficientes  $c$  y  $a$  varían de un lugar a otro, aunque pueden ser calibrados para un determinado lugar si se posee la información del caso.

A partir del dato de temperatura media mensual se calcula el índice térmico mensual que varía de 0 a 160, con la ecuación [2].

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad [2]$$

La sumatoria de los 12 meses de  $i$ , es el índice de variación térmica anual ( $I$ ). La relación entre  $I$  y  $a$  está dada por la ecuación [4.3], donde este exponente varía de 0 a 4,25.

$$a = 0,6751 \times 10^{-6} I^3 - 0,771 \times 10^{-4} I^2 + 0,01792 I + 0,49239 \quad [3]$$

Por tanto, la evapotranspiración potencial está dada por la ecuación [4], según Thornthwaite (1948):

$$e = 1,6 \left(10 \frac{T}{I}\right)^a \quad [4]$$

donde  $a$  está dado por la ecuación [3].

Luego, se aplica un valor de corrección según la latitud y el mes a considerar, ecuación [5],

$$e_c = fxe \quad [5]$$

donde:

$e_c$  = Evapotranspiración mensual corregida, en mm

$f$  = Factor de corrección (Amador *et al.*, 2012)

$e$  = Evaporación mensual sin corregir, en mm

En el caso de Hargreaves, la ecuación toma en cuenta más variables como la diferencia entre la temperatura mínima anual y temperatura máxima anual. La ecuación [4.6] determina la ETP:

$$ETP = [(0,17 \times RA \times \sqrt{TD})(0,0075)] \times (32 + 1,8 T) N \quad [6]$$

donde,

ETP = Evapotranspiración potencial media mensual (mm)

RA = Radiación extraterrestre en el tope de la atmósfera, en milímetros diarios de agua evaporada (Tabla 2)

= Temperatura media mensual, °C

TD = Diferencia entre la temperatura máxima y mínima media mensual (en grados centígrados)

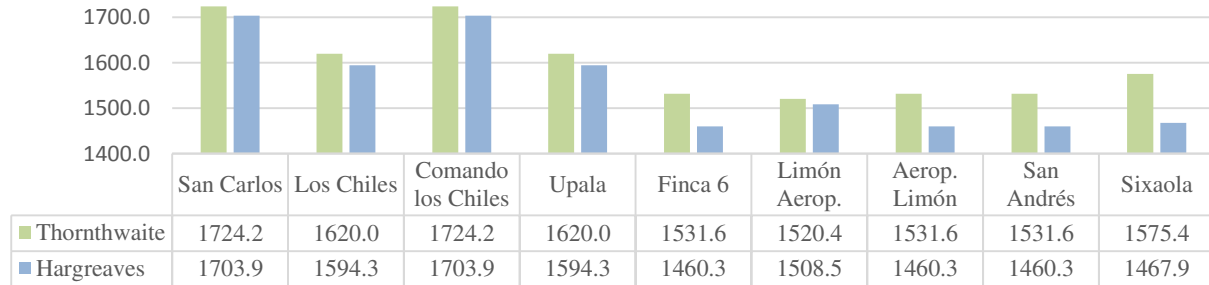
N = Número de días del mes

Lat	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic
10°	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9

Tabla 2. Radiación extraterrestre, expresada en evaporación equivalente en milímetros por día, Hemisferio Norte. Fuente: Estudio FAO; Riego y Drenaje. Las necesidades de agua de los cultivos.

Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y alimentación, ROMA 1976, pág. 24 en Herrera (1985). [Lat: latitud; Ene, Feb, etc.: abreviatura de los meses del año]

Una vez realizado el cálculo de la ETP por ambos métodos, se establece que el 88% de los casos la ETP por la ecuación de Hargreaves es mayor que la ecuación de Thornthwaite, lo que indica que aumenta la necesidad de agua evaporada en estas estaciones. En cuanto al 12% y como ejemplo para algunas estaciones seleccionadas, la figura 3 muestra que aunque Thornthwaite es mayor, la diferencia entre uno y otro método no es significativa.



**Figura 3 Comparación de las ecuaciones de Thornthwaite y de Hargreaves para el cálculo de la evapotranspiración potencial (elaboración propia).**

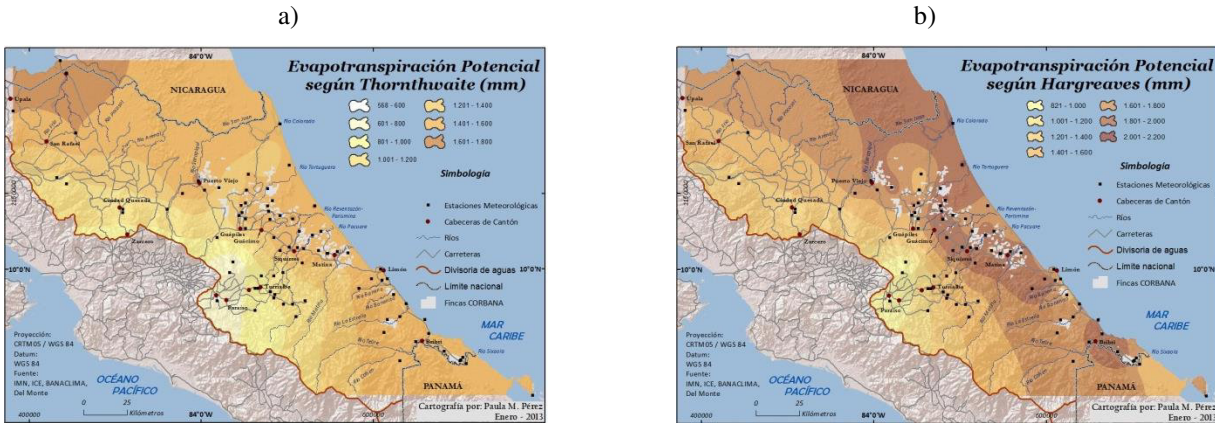
Para identificar la diferencia de forma gráfica entre las ecuaciones [4] y [6], se hace alusión a las figuras 4 y 5, que en contraste con las figuras anteriores, están clasificadas por rangos para notar las diferencias entre las ecuaciones. La ecuación de Thornthwaite (ver figura 4a), propone una distribución regular a lo largo del litoral con valores mínimos de alrededor de 570 mm hasta 1800 mm, alrededor del lago de Nicaragua, mientras que en la zona Caribe, propiamente, los valores oscilan entre 1200 y 1400 mm de ETP.

La ecuación de Hargreaves (ver figura 4b) presenta valores entre 820 mm y 2200 mm aumentando la cantidad de agua evaporada potencial en la región, esto responde a las altas temperaturas y a la poca amplitud térmica en la región húmeda caribeña, que muestra núcleos en la parte sureste de la zona de estudio, es decir en el Caribe sur. Hacia el norte la región se observan los valores máximos de potencial agua a evaporarse. Con la determinación de los índices de aridez, humedad se hace un balance entre lo que llueve y lo que se evapora a través del índice hídrico, que sirve de insumo para establecer los grupos climáticos de la clasificación.

La labor de clasificar regiones geográficas según las características climáticas conlleva a analizar el comportamiento de las variables climática dentro del sistema con la ayuda de índices que ayudan a comprender su comportamiento. Por tanto, el siguiente paso para la clasificación climática según el método de Thornthwaite, es calcular los índices de aridez y humedad, los cuáles determinan el índice hídrico de una región. El índice de aridez anual ( $I_a$ ) es la relación entre el déficit de agua anual y la necesidad de agua anual, ecuación [7]. El índice de humedad ( $I_h$ ) es la relación entre el exceso de agua y la necesidad, ecuación [8]. Finalmente, el índice hídrico ( $I_m$ ) es el balance entre el índice de aridez y el índice de humedad (ecuación [9]).

El método utilizado en el cálculo de la ETP, influye en el resultado de los índices ya que según sea el caso ofrecerá un resultado mayor en la necesidad de agua para evaporarse. En este estudio el 100% de las estaciones para ambas ecuaciones tienen

índice de aridez igual a 0, lo que indica que toda la región en estudio no tiene déficit de agua a lo largo del año.



**Figura 4. Distribución espacial de la evapotranspiración potencial utilizando el método de:**  
**a) Thornthwaite; b) Hargreaves (elaboración propia).**

$$I_a = \frac{\text{Déficit de agua anual (mm)}}{\text{Necesidad de agua anual (mm)}} \times 100 \quad [7]$$

$$I_h = \frac{\text{Exceso de agua anual (mm)}}{\text{Necesidad de agua anual (mm)}} \times 100 \quad [8]$$

$$I_m = I_h - I_a \quad [9]$$

En cuanto al índice de humedad, en la ecuación de Thornthwaite el balance entre el exceso de agua y la necesidad de agua para evaporarse va desde 2% a 665%, ver Tabla 2. La distribución espacial del índice de humedad muestra valores bajos en el noroeste y sureste del área de estudio ya que son áreas que presentan precipitaciones inferiores al resto de la región, pero mantienen altas temperaturas lo que se traduce en una menor evapotranspiración potencial en comparación con el resto del área de estudio. En el sector norte se forma un núcleo de humedad, debido a la alta pluviosidad y las altas temperaturas, es decir hay potencial para evaporar y a la vez hay disponibilidad de agua. Hacia las zonas montañosas, aumenta la humedad en el medio ya que las altas precipitaciones y temperaturas no tan altas ocasionan que se mantenga la humedad en el sistema.

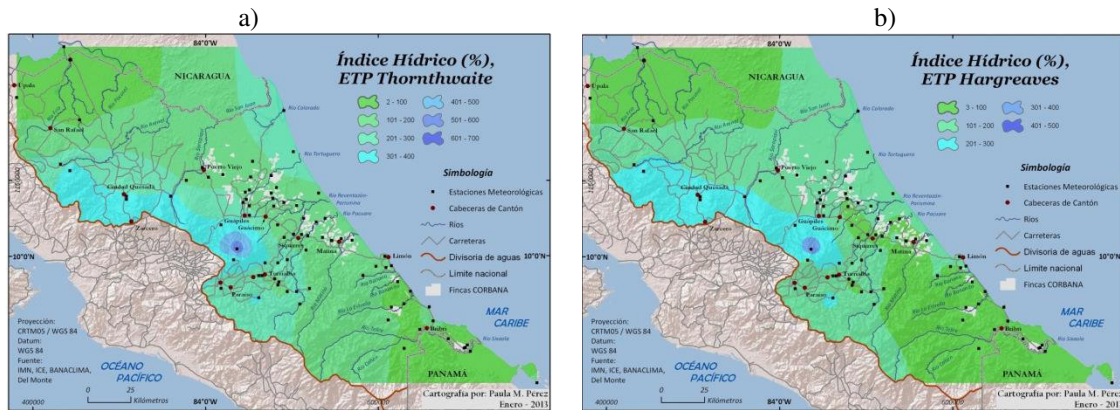
En el caso del cálculo del índice de humedad utilizando la ETP de Hargreaves los valores oscilan entre 3% y 430% (ver Tabla 1); esta diferencia se debe a que los valores de ETP son mayores a los calculados con Thornthwaite, lo que reduce el exceso hídrico en el sistema. Hacia las partes altas de la vertiente Caribe se mantienen los valores altos de humedad, a pesar que la ETP es mayor que en el caso anterior.

El índice hídrico tiene el mismo comportamiento que el índice de humedad como consecuencia que el índice de aridez tiene valor cero; retomando la ecuación [9], el índice hídrico es igual al índice de humedad (ver Figuras 5a y 5b).

Como ejercicio, se realizó la clasificación utilizando los dos métodos para compararlos, sin embargo, se reitera la recomendación en utilizar la ecuación [6], por los resultados que arroja en función de las variables que emplea. Se determinaron grupos climáticos y se les asignó una provincia de humedad (ver Tabla 1).

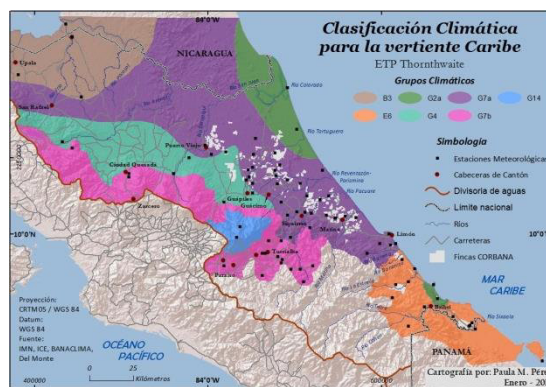
El número que acompaña a los grupos hace referencia a la provincia térmica e índice de humedad. Además, para delimitar estos grupos se utilizaron criterios de altitud a

partir de curvas cada 100 m en escala 1:250000 de los mapas base del Instituto Geográfico Nacional. La Figura 6 muestra el ejercicio para clasificación utilizando la ecuación [4], en donde se obtienen 7 grupos climáticos; la nomenclatura para cada grupo está descrita en la Tabla 3.



**Figura 5. Índice hídrico utilizando los valores de Evapotranspiración Potencial de a) Thornthwaite, b) Hargreaves (elaboración del proyecto).**

La Figura 7 muestra la clasificación climática para la vertiente Caribe. Utilizando la ecuación [6], se obtienen 10 grupos climáticos descritos en la Tabla 3 y se observa mayor detalle en su regionalización. La provincia menos húmeda (B3) se localiza al norte con bajas precipitaciones y altas temperaturas. La zona litoral norte pertenece a la provincia de humedad G (muy húmeda) y varía por los rangos de evapotranspiración potencial. El litoral Caribe sur es menos húmedo por las altas temperaturas y pluviosidad moderada, en él se encuentran los grupos E6 y F6, ambos en la provincia de humedad: “húmeda”. En las partes montañosas la humedad es mayor y por ello se encuentran ahí los grupos climáticos con mayor humedad G14 y H6; muy húmedo y excesivamente húmedo, respectivamente. Cabe resaltar que en esta zona se encuentra el Parque Nacional Braulio Carillo característico por ser un bosque siempre verde.



**Figura 6. Clasificación climática para la vertiente Caribe, utilizando la ecuación de Thornthwaite (elaboración propia).**

Un aspecto importante de resaltar es que Thornthwaite y Hargreaves, son solo dos de los varios métodos disponibles para evaluar la ETP (Penman, por ejemplo es otro de ellos), como lo discuten Lu *et al.* (2005). Bautista *et al.* (2009) discuten la comparación de los métodos

aquí usados para zonas en los trópicos semiáridas y sub-húmedas calibrados con el método de Penman (1948).

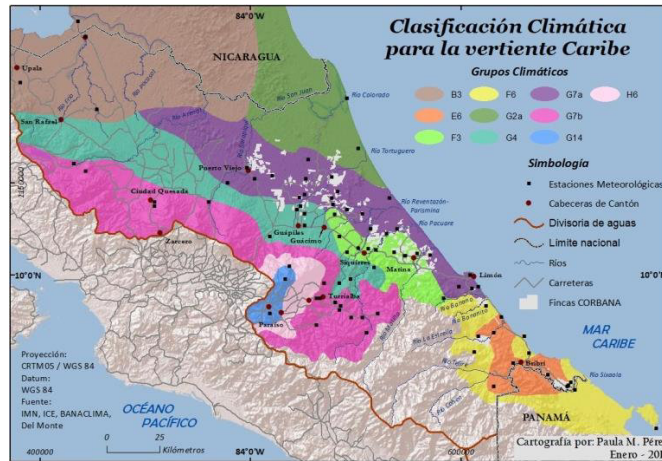


Figura 7. Clasificación climática para la vertiente Caribe, utilizando la ecuación de Hargreaves (elaboración propia).

Grupo Climático	Características
B3	Clima subhúmedo húmedo, muy caliente, con un déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 1710 – 2600
	Temperatura media anual= 25-27 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= > 1710
	Índice de aridez (%) = 0-10
	Índice hídrico (%) = 0-20
E6	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 2500 -3100
	Temperatura media anual= 22-26 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1565-1920
	Índice de aridez (%) = < 3
	Índice de hídrico (%) = 60-80
F3	Clima húmedo, muy caliente, con déficit pequeño de agua.
	Precipitación media anual (mm) = 3080-3420
	Temperatura media anual= 25 - 27 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= > 1710
	Índice de aridez (%) = 0-10
	Índice hídrico (%) = 80-100
F6	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua, o sin déficit
	Precipitación media anual (mm) = 2800-3420
	Temperatura media anual= 22-26 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1565 -1710
	Índice de aridez (%) = < 3
	Índice de hídrico (%) = 80-100
G2a	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 2200- 2740
	Temperatura media anual= 25- 27 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= > 1450
	Índice de aridez (%) = 0 – 2
	Índice hídrico (%) = 100-300
G4	Clima muy húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua o sin déficit
	Precipitación media anual (mm) = 3130-4700

Grupo Climático	Características
	Temperatura media anual= 21- 26 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1040- 1515
	Índice de aridez (%) = 0- 10
	Índice hídrico (%) =100- 300
G7a	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 2840-4800
	Temperatura media anual= 24 - 26 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1420-1656
	Índice de aridez (%) = 0- 10
	Índice hídrico (%) =100- 300
G7b	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 2100-5600
	Temperatura media anual= 18- 22 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1020-1656
	Índice de aridez (%) = 0- 10
	Índice hídrico (%) =100- 300
G14	Muy húmedo, frío, con déficit pequeño de agua.
	Precipitación media anual (mm) = 1700- 3200
	Temperatura media anual= 7-9 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 820 -997
	Índice de aridez (%) = 0- 5
	Índice hídrico (%) = 100 - 300
H6	Clima excesivamente húmedo, frío, con un déficit muy pequeño de agua.
	Precipitación media anual (mm) = 3400- 4400
	Temperatura media anual= 6- 9 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 855- 997
	Índice de aridez (%) = 0-5
	Índice hídrico (%) = 300-600

**Tabla 3. Grupos climáticos (elaboración del proyecto).**

## Conclusiones

1. Al utilizar un método más complejo, el de Hargreaves comparado con el de Thornwaite, para el cálculo de la ETP, el cual calcula esta variable utilizando datos de temperatura media mensual, la diferencia entre temperatura mínima mensual y temperatura máxima mensual así como la radiación incidente en el límite de la atmósfera, se encontró que esta modificación, como es de esperar, arroja diferencias en el balance hídrico ya que esta método supone mayor evaporación Thornthwaite, lo que requiere un mayor aporte del recurso hídrico para mantener el balance de agua en el sistema.

2. Al contrastar los métodos para el cálculo de la ETP, se observó que la de Thornthwaite propone una distribución regular a lo largo del litoral con valores mínimos de 570 mm hasta 1800 mm, alrededor del lago de Nicaragua, mientras que en la zona Caribe, propiamente, los valores oscilan entre 1200 y 1400 mm de evapotranspiración potencial anual. La de Hargreaves presenta valores entre 820 mm y 2200 mm aumentando la cantidad de agua evaporada potencial en la región, esto responde a las altas temperaturas y a la poca amplitud térmica estacional en la región húmeda caribeña con núcleos en la parte sureste de la zona de estudio (Caribe sur). Hacia el norte de la región se observan los valores máximos de potencial de agua a evaporarse. Con la determinación de los índices de aridez, humedad se realizó un balance entre lo

que llueve y lo que se evapora a través del índice hídrico, que sirvió de insumo para establecer los grupos climáticos de la clasificación.

3. La clasificación climática para la vertiente Caribe (utilizando Hargreaves), arrojó 10 grupos climáticos descritos y se observó un mayor detalle en la regionalización. La provincia menos húmeda (B) se localiza al norte debido a las bajas precipitaciones y altas temperaturas. La zona litoral norte pertenece a la provincia de humedad G (muy húmeda), y varía por los rangos de evapotranspiración potencial. El litoral Caribe sur es menos húmedo por las altas temperaturas y pluviosidad moderada, en él se encuentran los grupos E6 y F6, ambos en la provincia húmeda. En las partes montañosas la humedad es mayor y por ello se encuentran ahí los grupos climáticos con mayor humedad G14 y H6, muy húmedo y excesivamente húmedo, respectivamente. Cabe resaltar que en esta zona se encuentra el Parque Nacional Braulio Carillo característico por ser un bosque siempre verde.

4. La clasificación climática confirma que la vertiente Caribe es una región húmeda. La precipitación es alta y se distribuye de forma no homogénea en el espacio, con temperaturas también altas lo que ocasiona una alta evapotranspiración potencial. Al analizar los resultados obtenidos, se recomienda utilizar la clasificación climática a partir del cálculo de la ETP usando Hargreaves, ya que esta toma en cuenta más variables físicas, como la diferencia entre la temperatura mínima anual y temperatura máxima anual, lo que la hace más robusta en sus resultados. Un aspecto importante de resaltar es que hay otros métodos disponibles para evaluar la ETP (Penman, por ejemplo es uno de ellos), aunque en general el número de variables, como lo discuten Lu *et al.* (2005), necesarias para su uso es más exigente.

## Referencias Bibliográficas

- Amador, Jorge et al. (2012). Informe Segundo del proyecto V.I. 805-B0-402: Clima, variabilidad y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: Un estudio básico para la actividad bananera. Presentado a la Corporación Bananera Nacional (CORBANA). Elaborado por Centro de Investigaciones Geofísicas, Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica-CIGEFI-VI-UCR
- Amador, Jorge et al. (2013). Informe Final del proyecto V.I. 805-B0-402: Clima, variabilidad y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: Un estudio básico para la actividad bananera. Presentado a la Corporación Bananera Nacional (CORBANA). Elaborado por Centro de Investigaciones Geofísicas, Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica-CIGEFI-VI-UCR
- Bautista, F., D. Bautista, and C. Delgado-Carranza, 2009. Calibration of the equations of Hargreaves and Thornthwaite to estimate the potential evapotranspiration in semi-arid and subhumid tropical climates for regional applications, *Atmósfera* 22(4), 331-348.
- Hargreaves, G. H., 1981. Responding to tropical climates. The 1980-81 Food and Climate Review, The Food and Climate Forum, Aspen Institute for Humanistic Studies, Boulder, Colo., 29-32.
- Penman, H. L., 1948. Natural Evaporation From Open Water, Bare Soil and Grass. *Proc. Roy. Soc. London*, A193:120-146.
- Herrera, W., 1986. Clima de Costa Rica: Vegetación y Clima de Costa Rica, Volumen 2. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia, 118 pp.
- Lu, J., G. Sun, D.M. Amatya, and S.G. McNulty, 2005. A Comparison of Six Potential Evapotranspiration methods for regional use in the Southeastern United States. *Jour. Amer. Water Resour. Assoc.*, 41, 621-633.
- Mather, J. R. 1974. *Climatology: fundamentals and applications*. New York: McGraw Hill, 488 pp.
- Thornthwaite, C. W., 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.