

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**ZONAS DE VIDA DE COSTA RICA A PARTIR DE LA APLICACIÓN
DE DOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA BIOTEMPERATURA**

**Trabajo final de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la
Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal
Modalidad: Proyecto de Graduación**

EDWIN TOBÍAS ALPÍZAR VAGLIO

**Heredia, Costa Rica
Marzo, 2022**

HOJA DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Proyecto de graduación presentado en la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, como requisito parcial para optar por el grado de licenciatura en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

**RONNY
VILLALOBOS
CHACON (FIRMA)** Firmado digitalmente
por RONNY VILLALOBOS
CHACON (FIRMA)
Fecha: 2022.03.02
10:56:13 -06'00'

M.Sc. Ronny Villalobos Chacón

Representante de Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

**ALBERT ADERRY
MORERA BEITA
(FIRMA)** Firmado digitalmente
por ALBERT ADERRY
MORERA BEITA (FIRMA)
Fecha: 2022.03.04
16:36:35 -06'00'

Dr. Albert Morera Beita

Representante de Dirección de la Escuela de Ciencias Ambientales

**CARLOS AVILA
ARIAS (FIRMA)** Firmado digitalmente por
CARLOS AVILA ARIAS
(FIRMA)
Fecha: 2022.03.02
17:03:03 -06'00'

M.Sc. Carlos E. Ávila Arias

Tutor

**JOSE ALBERTO
RETANA
BARRANTES
(FIRMA)** Firmado digitalmente
por JOSE ALBERTO
RETANA BARRANTES
(FIRMA)
Fecha: 2022.03.09
07:18:35 -06'00'

Lic. José A. Retana Barrantes

Lector

Ph.D. Gary Hartshorn

Lector

**EDWIN TOBIAS
ALPIZAR
VAGLIO (FIRMA)** Firmado digitalmente
por EDWIN TOBIAS
ALPIZAR VAGLIO
(FIRMA)
Fecha: 2022.03.10
09:43:34 -06'00'

Edwin Tobías Alpízar Vaglio

Postulante

Agradecimiento

Deseo agradecer al ingeniero Carlos E. Ávila por su extraordinario apoyo, aportando sugerencias, siempre pendiente de los avances del proyecto. Al ingeniero José A. Retana por su positivismo y la prontitud a mis consultas, además de su apoyo en el Instituto Meteorológico Nacional para obtener la información requerida. Al doctor Gary Hartshorn, siendo un experto en el tema de zonas de vida, al lado del Dr Holdridge, todo un honor que haya aceptado ser parte del equipo de trabajo de este proyecto. A todos muchas gracias.

Resumen

El sistema de clasificación ecológica basado en zonas de vida utiliza, como una de sus variables, la biotemperatura, la cual considera el rango de temperaturas diarias entre 0°C y 30°C. Dado que por limitaciones instrumentales no siempre se dispone de estos datos, Holdridge propuso una fórmula para estimarla a partir de la temperatura media mensual y la latitud. Para ello, la temperatura media diaria es calculada a partir del promedio obtenido entre la mínima y máxima diaria. En los últimos años, el país ha dispuesto una importante cantidad de estaciones meteorológicas automáticas que llevan registros de datos horarios de temperatura. Esto permite comparar si los resultados de estimar la biotemperatura mensual con la aplicación de dicha fórmula son coincidentes con la calculada a partir de datos horarios de temperatura, para dichas estaciones meteorológicas.

Con ese propósito, se seleccionaron 24 estaciones distribuidas en el país, en diferentes latitudes y zonas de vida clasificadas mediante el Mapa Ecológico de Costa Rica, basado en zonas de vida. Se determinó la biotemperatura aplicando la fórmula sugerida por Holdridge y considerando el rango de temperaturas diarias, también establecido por Holdridge. Para el caso de la fórmula, se utilizó el promedio diario de las temperatura máximas y mínimas y también el promedio de temperatura obtenido de datos horarios. Para el cálculo de biotemperatura con datos horarios, se consideraron dos rangos de temperatura, de 0°C a 30°C y de 0°C a 31°C. De este modo, se calcularon cuatro valores de biotemperatura para cada estación meteorológica seleccionada. Con base en ellos y la precipitación media en cada estación, se determinó la zona de vida mediante el diagrama propuesto por Holdridge.

Al comparar los valores de biotemperatura, calculados por los cuatro métodos, se determinó que, cuando se aplica la fórmula, dichos valores son más altos que los estimados utilizando los rangos de temperatura definidos. Entre los dos métodos de aplicación de la fórmula, con diferentes fuentes de temperatura media, el valor de biotemperatura es más alto cuando se considera las temperaturas máxima y mínima.

Los resultados muestran que los valores de biotemperatura aplicando la fórmula son significativamente diferentes a los obtenidos bajo el principio que considera la biotemperatura para un rango de temperatura diarias. Las diferencias de biotemperatura utilizando los cuatro métodos propiciaron que también hubiese cambios en la determinación de la zona de vida; sin embargo, los cambios se presentaron cuando los valores de biotemperatura se ubicaban cerca de las líneas de transición de zonas de vida.

Palabras claves:

Biotemperatura, zonas de vida, ecosistemas, mapa ecológico, estaciones meteorológicas

Abstract

The ecological classification system based on life zones uses, as one of its variables, biotemperature, which considers the range of daily temperatures between 0 ° C and 30 ° C. Given that due to instrumental limitations these data are not always available, Holdridge proposed a formula to estimate it from the mean monthly temperature and latitude; For this, the average daily temperature is calculated from the average obtained between the daily minimum and maximum. In recent years, the country has established a significant number of automatic weather stations that keep hourly temperature data records; This makes it possible to compare whether the results of estimating the monthly biotemperature with the application of said formula coincide with the one calculated from hourly temperature data for said meteorological stations.

For this purpose, 24 stations distributed throughout the country were selected, in different latitudes and life zones classified by the Ecological Map of Costa Rica, based on life zones. Biotemperature was determined by applying the formula suggested by Holdridge and considering the range of daily temperatures, also established by Holdridge. For the case of the formula, the daily average of the maximum and minimum temperatures was used, as well as the average temperature obtained from hourly data. For the biotemperature calculation with hourly data, two temperature ranges were considered, from 0 ° C to 30 ° C and from 0 ° C to 31 ° C. In this way, four biotemperature values were calculated for each selected meteorological station. Based on them and the average rainfall in each station, the life zone was determined using the diagram proposed by Holdridge.

When comparing the biotemperature values, calculated by the four methods, it was determined that, when the formula is applied, these values are higher than those estimated using the defined temperature ranges. Between the two methods of applying the formula, with different sources of mean temperature, the biotemperature value is higher when the maximum and minimum temperatures are considered.

The results show that the biotemperature values applying the formula are significantly different from those obtained under the principle that considers the biotemperature for a daily temperature range. The biotemperature differences using the four methods led to changes in the determination of the life zone; however, the changes occurred when the biotemperature values were located near the transition lines of life zones.

Key words:

Biotemperature, life zones, ecosystems, ecological map, meteorological stations

Contenido

| | |
|--|----|
| Resumen..... | 3 |
| Abstract | 4 |
| 1. Introducción | 8 |
| 2. Objetivo | 9 |
| 2.1. General | 9 |
| 2.2. Específicos | 9 |
| 3. Marco teórico | 10 |
| 3.1. Zonas de vida..... | 10 |
| 3.2. Temperatura del aire..... | 11 |
| 3.3. Biotemperatura | 11 |
| 3.4. Zona Tropical y Sub Tropical..... | 12 |
| 3.5. Cambio climático | 13 |
| 3.6. Estudios sobre zonas de vida en Costa Rica | 14 |
| 3.6.1. Estudio piloto en bosques de zonas de vida tropicales..... | 14 |
| 3.6.2. Mapa ecológico de Costa Rica escala 1:750.000..... | 14 |
| 3.6.3. Mapa ecológico de Costa Rica escala 1:200.000..... | 15 |
| 3.6.4. Zonificación agroecológica para café y cacao | 16 |
| 4. Metodología | 16 |
| 4.1. Selección de las estaciones meteorológicas | 16 |
| 4.2. Selección del año representativo | 18 |
| 4.3. Datos faltantes de temperatura | 18 |
| 4.4. Estimación de la temperatura media anual | 20 |
| 4.5. Estimación de la biotemperatura media anual | 21 |
| 4.6. Comparación de las biotemperaturas | 21 |
| 4.7. Determinación de las zonas de vida..... | 22 |
| 4.8. Comparación de zonas de vida..... | 23 |
| 5. Resultados y discusión..... | 24 |
| 5.1. Estaciones meteorológicas automáticas seleccionadas..... | 24 |
| 5.2. Año representativo por estación meteorológica | 25 |
| 5.3. Temperatura media diaria y anual | 27 |
| 5.4. Biotemperatura media anual estimada por cuatro métodos | 28 |
| 5.5. Zonas de vida según el método de estimación de la biotemperatura..... | 32 |

| | |
|--|----|
| 5.6. Comparación de valores de biotemperatura y zonas de vida..... | 34 |
| 6. Conclusiones y recomendaciones | 42 |
| 7. Referencias | 44 |
| 8. Anexos | 46 |
| Anexo 1. Estaciones meteorológicas automáticas seleccionadas..... | 46 |
| Anexo 2. Precipitación anual de las estaciones meteorológicas seleccionadas. | 48 |
| Anexo 3. Valor de desviación de la precipitación con respecto al año considerado representativo | 49 |
| Anexo 4. Zona de vida en estaciones meteorológicas seleccionadas según valores de biotemperatura, mediante cuatro métodos..... | 50 |
| Anexo 5. Código de las zonas de vida..... | 51 |

Índice de cuadros

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Comparación de extensión de los mapas ecológicos elaborados por Tosi (1969) y Bolaños y Watson (1993). | 15 |
| Cuadro 2. Años de registro de precipitación media anual de las estaciones meteorológicas seleccionadas. | 17 |
| Cuadro 3. Estaciones meteorológicas seleccionadas según la disponibilidad de datos de precipitación. | 24 |
| Cuadro 4. Año representativo del promedio de precipitación media anual de las estaciones meteorológicas seleccionadas. | 27 |
| Cuadro 5. Datos faltantes de temperatura en días y horas, para las estaciones meteorológicas seleccionadas. | 19 |
| Cuadro 6. Biotemperatura media anual considerando dos formas de estimación, según la fórmula del Holdridge, a partir de la temperatura media mensual y media anual. | 28 |
| Cuadro 7. Biotemperatura media anual para las 24 estaciones meteorológicas seleccionadas, estimada a partir de cuatro métodos distintos. | 30 |
| Cuadro 8. Prueba de medias de Tukey para los cuatro métodos de cálculo de la biotemperaturas media anual en las estaciones meteorológicas seleccionadas. | 31 |
| Cuadro 9. Biotemperatura media anual utilizando la fórmula de Holdridge con dos métodos y las respectivas zonas de vida determinadas para cada estación meteorológica seleccionada. | 35 |
| Cuadro 10. Biotemperatura media anual utilizando la fórmula de Holdridge con la temperatura horaria y el rango de temperaturas diarias entre 0°C y 30°C y las respectivas zonas de vida determinadas para cada estación meteorológica seleccionada. | 36 |
| Cuadro 11. Biotemperatura media anual utilizando la fórmula de Holdridge, a partir de valores de temperatura horarios y considerando el rango de temperaturas diarias entre 0°C y 31°C y las respectivas zonas de vida determinadas para cada estación meteorológica seleccionada. | 38 |

| | |
|---|----|
| Cuadro 12. Biotemperatura media anual utilizando el rango de temperaturas diarias entre 0°C a 30°C con el rango de 0°C a 31°C y las respectivas zonas de vida determinadas para cada estación meteorológica seleccionada..... | 39 |
| Cuadro 13. Zonas de vida determinadas a partir de diferentes métodos de biotemperatura para las estaciones meteorológicas seleccionadas, comparadas con el mapa ecológico basado en zonas de vida de Bolaños y Watson (1993). | 40 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Diagrama de Zonas de Vida..... | 22 |
| Figura 2. Diagrama de flujo del estudio..... | 23 |
| Figura 3. Estaciones meteorológicas automáticas seleccionadas comparado con las zonas de vida de Costa Rica. | 26 |
| Figura 4. Ubicación de las estaciones meteorológicas seleccionadas en el diagrama de zonas de vida. | 33 |

1. Introducción

El Sistema de Zonas de Vida, desarrollado por el Dr. Leslie R. Holdridge Holmes, clasifica los ecosistemas a partir de variables biofísicas, las dos principales para el primer nivel de clasificación son precipitación y biotemperatura. Una tercera variable se obtiene al combinar las dos anteriores y se denomina relación de evapotranspiración potencial (Holdridge, 1987). Con respecto a la biotemperatura, Holdridge (1987) la define como el promedio de las temperaturas diarias entre un rango que va de 0°C a 30°C; no obstante, el mismo autor apunta que dicho valor máximo es un aproximado que requiere de mayor investigación. Autores como Chouar, Went y Lunderdth, citados por Shibata (1970), apuntan que este rango es determinante en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

La virtud de este sistema de clasificación ecológica es que un ecosistema se puede determinar tanto con datos climáticos, como con verificación en el campo. En Costa Rica, se ha aplicado en estudios sobre cambio climático (Tosi et al., 1992) y zonificación agroecológica (Alpízar, 2014) entre otros. No obstante, cuando el mapa es generado con datos climáticos, se observa poca coincidencia con respecto al mapa Ecológico de Costa Rica, basado en zonas de vida y realizado a partir de verificación en campo (Bolaños y Watson, 1993).

Determinar la zona de vida con el uso de datos climáticos es sencillo, pero pocas veces el ecólogo dispone de datos diarios de temperatura. Es por ello que Holdridge (1987) propuso una fórmula para estimar la biotemperatura a partir de la temperatura media mensual y la latitud. El mismo autor indica, en su libro de Ecología basada en Zonas de Vida (1987), que dicha fórmula ha sido probada con éxito en el subtrópico, pero no menciona que pueda aplicarse en regiones latitudinales de nuestro interés, sobre todo en el trópico. Por tanto, no se conoce una fórmula específica para el trópico o el alcance de esta fórmula en otras latitudes, a pesar de ser una variable importante para la adecuada aplicación del sistema. Cuando las zonas de vida son definidas a partir de datos climáticos, utilizando la fórmula de Holdridge, al compararlas con el mapa Ecológico de Costa Rica, basado en zonas de vida, los resultados obtenidos por el autor en estudios anteriores no fueron satisfactorios (Alpízar et al., 1999 y Alpízar, 2014).

Por su lado, se observa que, en el mapa de Zonas de Vida de Costa Rica elaborado por Bolaños y Watson (1993), un 35% de su territorio se encuentra en condición de transición, entre las cuales 28% corresponde a cuatro transiciones de húmedo tropical a premontano y viceversa; así como de muy húmedo tropical a premontano y viceversa. Estas zonas de vida corresponden a tierras bajas, principalmente al norte el país (mayor latitud), lo que sugiere que la latitud disminuye significativamente el valor de biotemperatura; es decir, entre mayor sea la latitud el valor se triplica y hace que la biotemperatura sea más fría y por ello, la acepción de transición a premontano. También, es importante considerar que el término premontano tiende a confundir la apreciación cuando se trata de tierras de bajura.

Mediante la tecnología con que se cuenta hoy en día, es posible determinar la biotemperatura con base en valores horarios de temperatura, tal como lo conceptualizó Holdridge. Esto al disponer de estaciones meteorológicas automáticas que registran variaciones cada hora para distintas variables atmosféricas. Los resultados de este estudio contribuyen a mejorar la coincidencia de las zonas de vida en el campo, a partir de datos climáticos.

2. Objetivo

2.1. General

Comparar diferentes escenarios de zonas de vida de Costa Rica obtenidos mediante la aplicación de dos métodos de cálculo de biotemperatura, como un insumo que permita, a partir de datos climáticos, una mejora en la clasificación de zonas de vida.

2.2. Específicos

- Identificar posibles diferencias en la biotemperatura propuesta por Holdridge a partir de dos métodos de estimación y dos rangos de temperatura, para estaciones meteorológicas seleccionadas en las diferentes zonas de vida de Costa Rica.
- Contrastar los escenarios de zonas de vida generados a partir de la biotemperatura calculada por los distintos métodos, basados en la información de las estaciones meteorológicas seleccionadas.

3. Marco teórico

El presente estudio se basa en el análisis de datos climáticos utilizados para determinar zonas de vida, que consideran biotemperatura y temperatura ambiental como insumos para su cálculo. Es por ello que, a continuación, se explican estos conceptos. Además, es necesario conocer las experiencias en el país vinculadas con la aplicación del sistema de zonas de vida, al utilizar datos climáticos.

3.1. Zonas de vida

Se trata de un sistema de clasificación ecológica, en el que la aplicación práctica de la ecología requiere la cuantificación de variables que influyen en los distintos ecosistemas. Es por ello que, este sistema desarrollado por Leslie R. Holdridge (1947), se reviste de importancia al estar fundamentado en una estrecha relación entre el clima y la vegetación, a partir de lo cual el autor definió valores climáticos para identificar grupos de ecosistemas (Jiménez, 1993).

El sistema de zonas de vida se estructura en tres niveles. El primero, propiamente la zona de vida, utiliza las variables climáticas precipitación media anual y biotemperatura media anual; esta última considera la temperatura en donde suceden los procesos fisiológicos de las plantas, definido preliminarmente entre 0°C y 30 °C (Holdridge, 1987). La estrecha relación entre los ecosistemas y las condiciones ambientales permite determinar la zona de vida, en ambas direcciones; es decir, tanto a partir de datos climáticos, como mediante observaciones de la vegetación existente en el campo (Bolaños, 1994). El mismo autor apunta que, para ello, es necesario que el ecólogo tenga conocimiento del sistema y utilice especies de plantas indicadoras.

El segundo nivel se denomina la asociación, donde cada zona de vida se divide en ecosistemas naturales con los que se identifica biológicamente, esto están definidos por rangos físicos ambientales tales como: suelos, nutrientes, patrones de clima, iluminación, estacionalidad y humedad entre otros (Jiménez, 1993). Las asociaciones se pueden agrupar en edáficas, atmosféricas o hídricas. Las tierras que no se ven condicionadas por estos factores se consideran asociaciones climáticas, las cuales mantienen el patrón de la zona de vida (Jiménez, 1993).

El tercer nivel del sistema se refiere al uso actual de la tierra o su estado sucesional. En este, se indica el grado de alteración que sufre la vegetación natural original, provocado por factores antropogénicos o naturales (Holdridge, 1987).

3.2. Temperatura del aire

La temperatura del aire se refiere a la cantidad de energía calórica existente en el ambiente. Esta influye en el nivel de energía de la planta, a través de la convección de su energía a la atmósfera y viceversa (Shibata, 1970). Se mide con un termómetro de mercurio expuesto al aire, al abrigo de la radiación solar en las estaciones meteorológicas mecánicas (Castro y Tencio, 2016) o bien por medio de sensores de temperatura y humedad, protegidos por una cubierta, en las estaciones meteorológicas automáticas. Existen tres tipos de escalas de medición, denominados: Fahrenheit, Kelvin y Celsius (centígrados). Esta última es la de mayor utilización de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (Brenes y Saborío, 1995)

La temperatura media del aire se puede obtener de diferentes formas, al promediar su valor máximo y mínimo del día, al registrar las temperaturas horarias del día y promediarlas, o al establecer determinadas horas a lo largo del día (por ejemplo, a las 7, 13 y 18 horas) y a partir de ellas generar el promedio de interés (Organización Mundial de Meteorología, 2018). La mejor aproximación se logra con la integración de las observaciones continuas; no obstante, existen limitaciones para llevar un registro las 24 horas. Por tanto, con el propósito de hacer comparaciones se requiere de un proceso normalizado para todas las estaciones del mundo. Al respecto, la Organización Mundial de Meteorología (OMM) recomienda calcular la temperatura media diaria a partir de la media de las temperaturas máxima y mínima. Sin embargo, a la vez, reconoce que este método no constituye la mejor aproximación estadística y deja abierta la posibilidad de utilizar otros métodos que permitan comprender mejor el clima del país (Organización Mundial de Meteorología, 2018).

En Costa Rica, se ha utilizado el método estandarizado de promediar las temperaturas máxima y mínima diaria. Sin embargo, el Instituto Meteorológico Nacional (2020), en la actualidad, dispone de aproximadamente 145 estaciones automáticas distribuidas en todo el país, que reportan, entre otras variables meteorológicas, la temperatura cada hora. Lo anterior representó un recurso importante para el desarrollo del presente estudio.

3.3. Biotemperatura

Según Shibata (1970), el crecimiento de las plantas es el resultado del balance entre la respiración y la fotosíntesis. La respiración depende de la temperatura, entre mayor sea, la respiración aumenta. Es por ello que, además de los valores más altos de temperatura durante el día, deben considerarse los

valores de temperatura durante la noche, puesto que no hay fotosíntesis, solamente respiración. Por su parte, Holdridge (1987) definió biotemperatura como una medida del calor, pero solo de aquella porción que es efectiva en el crecimiento de las plantas. Al principio, solamente se excluían aquellas menores a 0 °C; sin embargo, según Holdridge (1967), estudios desarrollados durante la década de los años sesenta determinaron excluir también las mayores a 30°C, porque cuando las temperaturas son altas, la respiración de las plantas alcanza a la fotosíntesis y el crecimiento es nulo.

Asimismo, Shibata (1970) propone que el concepto de biotemperatura ha tenido cierta controversia en la metodología para su cálculo, principalmente debido a la dificultad de obtener temperaturas horarias en la mayoría de las estaciones meteorológicas. Es por lo anterior que Holdridge (1987) propuso una fórmula que integra la temperatura media mensual y la latitud en grados como forma de cálculo del valor de biotemperatura. La fórmula es la siguiente:

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

Donde:

t^{bio} es la biotemperatura mensual en °C.

t es la temperatura media mensual en °C.

Las biotemperaturas mensuales se suman y dividen entre 12 para obtener la biotemperatura promedio anual. Esta fórmula establece que, cuando la temperatura media anual es igual o inferior a 24°C, la temperatura y la biotemperatura son iguales. Dicho de otro modo, la aplicación de esta fórmula para biotemperatura se daría para las zonas de vida basal (tierras bajas).

Por su lado, Shibata (1970) determinó y analizó las biotemperaturas de seis estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes latitudes, a partir de datos horarios de temperatura. Dicha autora registró una mejor correlación de la biotemperatura determinado por el diagrama, cuando el límite superior de exclusión de la temperatura era mayor a 31 °C y no de 30 °C, como sugirió Holdridge.

3.4. Zona Tropical y Sub Tropical

Shibata (1970) indica que el sistema propuesto por Holdridge tenía limitaciones cuando era aplicado para separar zonas de vida en regiones subtropicales y tropicales, al basarse en una clasificación de las regiones de vegetación del mundo según la latitud. Es así como se observa que, el límite máximo aproximado o sugerido para la región tropical va de los 0° a los 13° de latitud (Holdridge, 1987). Costa

Rica en su sector extremo, más al norte, alcanza los 11° de latitud; es decir, cerca del límite superior entre la zona tropical y subtropical. Esta podría ser una razón más para revisar la fórmula de biotemperatura, debido a que utiliza la variable de latitud.

3.5. Cambio climático

El cambio climático es un factor que se debe considerar en cualquier estudio, al influir prácticamente en todos los sectores, entre ellos el agroalimentario, hídrico y la biodiversidad. El Grupo de Expertos en Cambio Climático (IPCC, 2013) demostró que el cambio climático es una realidad y ha sido acelerado por la actividad humana al producir gases de efecto invernadero, los cuales están incrementando paulatinamente la temperatura global. La contundencia de las observaciones indicadas por el IPCC (2013) sobre los efectos del cambio climático permite que el modelo de zonas de vida sea una herramienta práctica para determinar la vulnerabilidad de los ecosistemas ante dicho fenómeno. En este sentido, se podrían ajustar las zonas de vida al considerar cambios en la temperatura (ajustada a biotemperatura) y la precipitación media anual previstos a futuro, mediante modelos de proyección climática.

Tosi et al. (1992) utilizaron el modelo de zonas de vida para determinar el cambio climático en los ecosistemas para Costa Rica. Para ello, consideraron dos escenarios proyectados a la década 2060-2070, uno con un aumento de la temperatura media anual de 2,5°C y el otro con un aumento de 3,5°C; además de un aumento del 10% de la precipitación media anual en ambos casos. Lo aplicaron al territorio nacional, al dividirlo en cinco regiones climáticas, para cada una se determinó la temperatura media mensual a partir de estaciones meteorológicas de referencia y para lo cual aplicaron el gradiente térmico. Posteriormente, aplicaron la fórmula de Holdridge para biotemperatura, generando los mapas presentes y futuros que muestran cambios en las zonas de vida, y por ende los ecosistemas del país.

En un estudio desarrollado por el Instituto Meteorológico Nacional (Alpizar et al., 1999) utilizaron el sistema de zonas de vida para modelar el cambio climático y su efecto en los bosques. Para ello, utilizaron datos proporcionados por modelos sobre el cambio climático y su efecto en Costa Rica. Se proyectaron los cambios previstos de temperatura media anual y se aplicó un modelo de cambio de uso de la tierra, para diferentes escenarios socioeconómicos. Sin embargo, uno de los resultados que arrojó el estudio es que los mapas de zonas de vida generados con datos climáticos mediante un sistema de información geográfico tenían baja coincidencia con el mapa ecológico basado en zonas

de vida elaborado por Bolaños y Watson (1993). Ello limitó la aplicabilidad de los resultados y estableció dudas sobre el método de determinación de las zonas de vida a partir de datos climáticos.

Posterior a dicho estudio, el Instituto Meteorológico Nacional (2008), a partir de la utilización el modelo PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies) y basado en los escenarios propuestos por el IPCC adaptados para Costa Rica, con una resolución de 50 por 50 kilómetros, actualizó los valores de temperatura y precipitación proyectados para Costa Rica al año 2071-2100. La información generada es un buen insumo para posteriores estudios sobre vulnerabilidad de bosques, mediante la herramienta de zonas de vida.

3.6. Estudios sobre zonas de vida en Costa Rica

3.6.1. Estudio piloto en bosques de zonas de vida tropicales

Holdridge, et al. (1971) realizaron un estudio financiado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, en el que evaluaron al menos 40 asociaciones de zonas de vida en diferentes sitios de Costa Rica. Comprendió análisis detallados de suelo y, en la mayoría de los casos, el bosque era poco o nada intervenido. Durante este proyecto, se desarrollaron dos métodos para cuantificar la fisonomía del bosque: el índice de complejidad y el perfil idealizado. Con base en los resultados de dicho estudio, Holdridge (1967) indicó que se probó matemáticamente que el diagrama de hexágonos puede predecir valores en zonas de vida no estudiadas.

3.6.2. Mapa ecológico de Costa Rica escala 1:750.000

En 1970, el Centro Científico Tropical (CCT) publicó el primer mapa ecológico de Costa Rica con base en zonas de vida, elaborado por el Dr. Joseph Tosi (Tosi, 1969). La escala del mapa fue de 1:750.000, lo que no le permitió tener mayor aplicación, solamente sirvió de referencia general de la distribución de las zonas de vida. Para trabajos detallados o locales, se requería de reconocimiento de campo y utilizar datos climáticos. En este mapa, se diferencian doce zonas de vida y seis transiciones. Otro aporte importante del CCT fue la caracterización fisionómica de las zonas de vida, lo que contribuyó para facilitar su identificación en el campo (Hartshorn et al., 1982).

3.6.3. Mapa ecológico de Costa Rica escala 1:200.000

Bolaños y Watson (1993) elaboraron el mapa ecológico basado en zonas de vida, a escala 1:200.000, e impreso en nueve secciones del país. Este ha sido muy utilizado, fue digitalizado y está disponible como una capa shapefile para consultarlo en un sistema de información geográfica. En él, se presenta una importante proporción del territorio del país clasificado como zona de vida en condición de transición (cuadro 1). Las zonas de vida en transición incrementan su extensión en un 15% en el mapa de Bolaños y Watson (1993), con respecto al mapa de Tosi (1969) e incluye seis transiciones más.

Cuadro 1

Comparación de extensión de los mapas ecológicos elaborados por Tosi (1969) y Bolaños y Watson (1993)

| Mapa ecológico de Tosi. Extensiones según Hartshorn et al. (1992) | | | Mapa ecológico de Bolaños y Watson (1993) | |
|---|----------------|----------------|---|----------------|
| Zona de vida* | Extensión (ha) | Porcentaje (%) | Extensión (ha) | Porcentaje (%) |
| bs-T | 526300 | 10,30 | 105663 | 2,07 |
| bs-T/h | 0 | 0,00 | 31504 | 0,62 |
| bh-T | 1037300 | 20,30 | 713390 | 13,98 |
| bh-T/s | 15300 | 0,30 | 107948 | 2,12 |
| bh-T/mh | 30700 | 0,60 | 150031 | 2,94 |
| bh-T/P | 153300 | 3,00 | 79324 | 1,55 |
| bmh-T | 889200 | 17,40 | 843887 | 16,54 |
| bmh-T/P | 265700 | 5,20 | 182661 | 3,58 |
| bh-P | 71600 | 1,40 | 88866 | 1,74 |
| bh-P/T | 168600 | 3,30 | 473454 | 9,28 |
| bmh-P | 260600 | 5,10 | 514021 | 10,08 |
| bmh-P/T | 434400 | 8,50 | 693336 | 13,59 |
| bmh-P/p | 0 | 0,00 | 67261 | 1,32 |
| bp-P | 500800 | 9,80 | 437879 | 8,58 |
| bp-P/T | 0 | 0,00 | 6800 | 0,13 |
| bh-MB | 10200 | 0,20 | 23730 | 0,47 |
| bmh-MB | 76700 | 1,50 | 110418 | 2,16 |
| bmh-MB/h | 0 | 0,00 | 1486 | 0,03 |
| bp-MB | 378100 | 7,40 | 345928 | 6,78 |
| bmh-M | 5100 | 0,10 | 1681 | 0,03 |
| bp-M | 275900 | 5,40 | 116859 | 2,29 |
| bp-M/MB | 0 | 0,00 | 788 | 0,02 |
| pp/SA | 10200 | 0,20 | 4365 | 0,09 |
| Total | 5110000 | 100,00 | 5101282 | 100,00 |
| | Transición | 20,90 | | 35,18 |
| | Zona de vida | 79,10 | | 64,82 |

Nota: Elaboración propia.

Ver en el anexo la descripción del código de zona de vida.

3.6.4. Zonificación agroecológica para café y cacao

Existen mapas que muestran la productividad para diferentes cultivos como el café y el cacao, mediante el uso de variables de suelo y clima, principalmente. Dado que la distribución de las plantas está determinada por factores ambientales, Alpizar (2014) realizó un estudio para determinar si la zonificación agroecológica correspondía con la clasificación de las zonas de vida. Para ello, se elaboraron, en un sistema de información geográfica, los mapas agroecológicos para café y cacao, a partir de las variables sugeridas por los autores.

Para realizar el estudio fue necesario elaborar un mapa preliminar de asociaciones (segundo nivel del sistema de zonas de vida) con base en la información de clima, suelos y relieve, sin comprobación de campo. Como resultado, se encontró que los mapas de zonificación agroecológica coincidían poco con el mapa de zonas de vida, según los parámetros establecidos por los autores para ambos cultivos (Alpizar, 2014). Sin embargo, el autor encontró que había suficiente coincidencia entre la zonificación agroecológica y las asociaciones de las zonas de vida; pero además apuntó algunas dudas sobre la fórmula que determina la biotemperatura, que limita resultados similares a los definidos con verificación de campo.

Estudios como este motivaron la necesidad de comparar los valores de biotemperatura al utilizar la fórmula propuesta por Holdridge y al aplicar el rango de temperaturas horarias también sugerido por Holdridge.

4. Metodología

4.1. Selección de las estaciones meteorológicas

El presente estudio utilizó la información generada por estaciones meteorológicas automáticas que pertenecen al Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (2020), las cuales se encuentran en la página oficial del IMN. En total, disponen de información 145 estaciones, de las cuales 135 corresponden a diferentes sitios, debido a que los aeropuertos cuentan con más de una estación.

De la página oficial del IMN, se obtuvo las coordenadas geográficas de las estaciones automáticas, las cuales fueron transformadas de latitud y longitud a la proyección Mercator para Costa Rica (CRTM05). Esta transformación permite hacer comparaciones con otras capas de datos en la misma

proyección. Con la ayuda de un Sistema de Información Geográfico (SIG), se elaboró un mapa que muestra la distribución de las estaciones meteorológicas.

Para la selección de las estaciones meteorológicas, se tomó en consideración la latitud y las zonas de vida para Costa Rica (Bolaños y Watson, 1993). Se trazaron líneas latitudinales en el mapa cada 0,5°, de modo que cubrieran el país entre 8° y 11,5° latitud norte. De este modo, se seleccionaron 43 estaciones meteorológicas, considerando las que se ubicaban a diferentes latitudes y zonas de vida. Para estas estaciones se solicitó al Instituto Meteorológico Nacional los promedios de precipitación anual registrada en los últimos diez años.

Una vez obtenidos los registros de precipitación anual de las estaciones seleccionadas, se depuraron, dado que algunas no contaban con al menos cinco años consecutivos de registro. Las estaciones se clasificaron en cuatro niveles según los datos registrados (Cuadro 2).

Cuadro 2

Años de registro de precipitación media anual de las estaciones meteorológicas seleccionadas

| Nivel | Años de registro de la precipitación | Cantidad estaciones meteorológicas |
|--------------|---|---|
| 1 | Con más de cinco años consecutivos | 18 |
| 2 | Con más de cinco años de registro, pero de forma no consecutiva | 10 |
| 3 | Solamente contaban con cuatro años de registro, pero de forma consecutiva | 3 |
| 4 | Contaban con información insuficiente | 12 |
| Total | | 43 |

Nota: Elaboración propia.

Para el estudio, se consideraron las estaciones meteorológicas clasificadas como 1, 2 y 3. Este último se tomó en cuenta, a pesar de solo contar con cuatro datos de registro, porque pueden tener una aproximación del valor promedio al tener datos en años consecutivos. Las estaciones de la categoría 4 se descartaron. En total se seleccionaron 31 para ser analizadas, distribuidas por zona de vida y rango latitudinal.

4.2. Selección del año representativo

Debido a que el uso generalizado de estaciones meteorológicas automáticas es reciente, se consideró tomar el registro de datos de los últimos diez años. Como deben utilizarse los datos diarios de temperatura, no es posible trabajar con valores de años promedios; por ello, se seleccionó un año considerado representativo. Al respecto, la precipitación es la variable que presenta cambios importantes entre años. Con base en ello, se consideró que un año representativo sería donde la precipitación anual sea próxima a la precipitación media anual, dentro del rango de años estudiado.

A cada estación se le determinó la precipitación promedio anual, a partir de todos los años registrados de forma completa (de enero a diciembre). Luego, se comparó la diferencia entre la precipitación reportada para cada año con respecto al valor promedio y se seleccionó como el año representativo aquel que tuviese la menor diferencia.

4.3. Datos faltantes de temperatura

Es normal encontrar que no todos los instrumentos meteorológicos funcionan al 100%, esto porque durante el periodo registrado pueden fallar o proporcionar datos que los especialistas los consideraron inválidos. Por ello, algunas estaciones reportan faltantes de datos de temperatura en algunas horas y a veces en días.

De las 31 estaciones seleccionadas que se solicitó información al IMN, en cuatro de ellas no se registró datos de temperatura; por lo que la cantidad se redujo a 27 (Cuadro 3). Según la OMM (2018), las normales o medias de un periodo deberían calcularse solo cuando estén disponibles los valores de al menos un 80% de los años registrados y no falten los valores de más de tres años consecutivos. Como el presente estudio analiza los datos de un solo año, no aplica esta condición.

De igual manera, la OMM también recomienda no calcular un valor mensual si faltan más de diez valores diarios o cinco o más consecutivos; de manera más estricta, no calcular promedios si supera más de cinco días completos con datos faltantes o más de tres días consecutivos. En el cuadro 3, se muestran los datos faltantes de las estaciones, según la información aportada por el IMN (2021). De este cuadro, se excluyeron otras tres estaciones. Esto al aplicar esta norma de la OMM, la N°84125, que no reporta registros desde finales de setiembre hasta diciembre; la N°98087, porque no presenta

datos en los últimos 24 días del mes de diciembre; y la estación N°72149 por no registrar datos durante dos meses y medio, entre marzo y mayo.

Cuadro 3

Datos faltantes de temperatura en días y horas, para las estaciones meteorológicas seleccionadas

| Código de estación | Nombre según IMN | Días con datos faltantes | Porcentaje de días con datos faltantes (%) | Datos horarios faltantes |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|---|---------------------------------|
| 69677 | Laguna Caño Negro | 0 | 0 | 0 |
| 69647 | Finca Brasilia del Oro | 0 | 0 | 0 |
| 98075 | Las Brisas, Sabalito | 3 | 1 | 3 |
| 69633 | Comando Los Chiles | 2 | 1 | 2 |
| 88049 | Finca La Ligia, Parrita | 0 | 0 | 0 |
| 98091 | Chirripó | 1 | 0 | 1 |
| 84209 | Universidad para La Paz, CC. | 0 | 0 | 0 |
| 69695 | Balsa, San Ramón | 36 | 10 | 117 |
| 72153 | Santa Elena, La Cruz | 8 | 2 | 29 |
| 73167 | Monumento Nacional Guayabo, Turrialba | 15 | 4 | 54 |
| 76059 | Hacienda Taboga, Cañas | 0 | 0 | 0 |
| 84187 | Fabio Baudrit | 6 | 2 | 10 |
| 88047 | La Lucha 2 | 0 | 0 | 0 |
| 88051 | Rodeo de Tarrazú | 21 | 6 | 88 |
| 94015 | Arunachala | 14 | 4 | 40 |
| 73147 | Guápiles | 12 | 3 | 38 |
| 100641 | Coopeagrupal, Laurel | 8 | 2 | 23 |
| 72163 | Santa Rosa, CC. | 13 | 4 | 126 |
| 72181 | Finca 033, Cabuya, Cabo Blanco | 5 | 1 | 8 |
| 94013 | Cerro Buenavista, CC. | 10 | 3 | 216 |
| 96003 | Guápil, Barú | 20 | 5 | 67 |
| 98095 | Altamira | 8 | 2 | 38 |
| 73145 | Earth, CC. | 20 | 5 | 54 |
| 84225 | UTN, Balsa Atenas | 11 | 3 | 27 |
| 69635 | Coopevega | 365 | 100 | No registró temperatura |
| 69556 | San Vicente, Ciudad Quesada | 365 | 100 | No registró temperatura |
| 72106 | Parque Nacional Santa Rosa | 365 | 100 | No registró temperatura |
| 69537 | La Selva de Sarapiquí | 365 | 100 | No registró temperatura |
| 98087 | Pindeco | 24 | 7 | Excluida por días consecutivos |
| 84125 | Finca 3, Llano Grande (La Laguna) | 102 | 28 | Excluida por días consecutivos |
| 72149 | San José, Pinilla | 85 | 23 | Excluida por días consecutivos |

Nota: Elaboración propia.

Los datos faltantes que presentaron algunas estaciones fueron ajustados. En el caso de la estación N°72163, se dividió el total entre 362, dado que no reportó datos durante tres días completos y consecutivos. La N°94013 se mantuvo dentro del grupo de estaciones seleccionadas, dado que sólo esta estación corresponde a la zona de vida bosque pluvial Montano. En este caso, el total se dividió entre 357 días, porque no registró datos durante ocho días completos y consecutivos.

Otras seis estaciones presentaron faltante de datos en algunos meses, en días alternos o consecutivos de no más de tres días; sin embargo, este faltante corresponde a algunas horas del día, por lo que se consideraron válidas para el estudio. Seis estaciones registraron la totalidad de los datos del año y el resto presentó algunos días ocasionales sin registros. Finalmente, en total se consideraron 24 estaciones meteorológicas para los cálculos de temperatura.

Para completar los datos de horas faltantes, se interpolaron y promediaron los valores de temperatura del día anterior y posterior, reportados a la misma hora. Cada caso se analizó de forma individual, se comparó la tendencia de aumento o reducción de la temperatura, según la hora del día. Las celdas que se ajustaron fueron identificadas en la base de datos con color amarillo.

4.4. Estimación de la temperatura media anual

Cuando Holdridge propuso la fórmula de biotemperatura, los registros de la temperatura eran diarios y los análisis se hacían de forma manual. Hoy en día se dispone de registros digitales con registros horarios, lo que permite hacer comparaciones, si se considera que los registros actuales permiten una mejor aproximación. Por ello, la temperatura media anual se determinó aplicando dos metodologías; la primera se basó en el estándar sugerido por la Organización Mundial de Meteorología (OMM, 2018), que consiste en promediar las temperaturas máximas y mínimas diarias para obtener la temperatura medias diaria; luego se suman los valores obtenidos durante los 365 días del año y dividido entre 365. El otro procedimiento utilizado consistió en obtener la temperatura media diaria a partir de la suma de las temperaturas reportadas cada hora y dividido entre 24; luego se suman las temperaturas medias diarias de todos los días del año y se divide entre 365; en el caso de años bisiestos se dividió entre 366. Este análisis se realizó para los años considerados representativos de las estaciones meteorológicas seleccionadas.

4.5. Estimación de la biotemperatura media anual

Para determinar la biotemperatura media anual, se utilizaron dos métodos. El primero consistió en aplicar la fórmula propuesta por Holdridge, a partir de la temperatura media mensual. En este caso, se utilizaron dos valores de temperatura: el obtenido por el método sugerido por la OMM y el que consideró las temperaturas horarias.

El otro método para determinar la biotemperatura consideró las temperaturas de cada hora de cada día, para obtener la biotemperatura media anual. En este caso, se aplicaron dos rangos: las temperaturas iguales o superiores a 0 °C e iguales o menores a 30 °C, sugerido por Holdridge; y el rango que considera las temperaturas iguales o superiores a 0 °C e iguales o menores a 31°C, según los resultados y conclusiones de Shibata (1970). De tal manera que la biotemperatura fue estimada por cuatro métodos diferentes.

4.6. Comparación de las biotemperaturas

Los valores de biotemperatura, estimados por los cuatro métodos propuestos, fueron comparados entre sí. Primero, se asignó un color a cada uno de los cuatro valores obtenidos para cada estación, progresivamente: el valor más bajo en color azul, luego en verde, amarillo y, finalmente, en rojo para el valor más alto. De este modo, fue posible observar el comportamiento entre métodos de manera visual. También, se realizó un análisis de varianza y la posterior comparación de los cuatro métodos mediante la prueba de medias de Tukey, para determinar diferencias significativas entre los cuatro métodos, considerando las biotemperaturas diarias.

Un segundo análisis consistió en comparar las diferencias registradas entre dos métodos. Se realizó, primero, entre los dos que utilizaron la fórmula propuesta por Holdridge; luego entre los dos métodos que estimaron las biotemperaturas mediante los dos rangos de temperatura. Finalmente, se compararon por separado las biotemperaturas obtenidas con la fórmula de biotemperatura que utilizó las 24 horas con los valores de biotemperatura obtenidos con cada rango de biotemperatura. En esta comparación, se obtuvieron las diferencias entre los métodos, presentadas en porcentajes y ordenadas de menor a mayor.

4.7. Determinación de las zonas de vida

Con los datos de biotemperatura obtenidos para las estaciones seleccionadas, al aplicar los diferentes métodos explicados anteriormente y considerar los valores de precipitación media anual de cada estación, se determinó la zona de vida. Para ello, se utilizó el diagrama de Zonas de Vida desarrollado por Holdridge, que se muestra en la Figura 1.

La zona de vida se determinó de forma gráfica; es decir, la clasificación se hizo de forma visual en el diagrama incorporando las variables de precipitación y biotemperatura. Para facilitar la observación, el diagrama se incorporó como un JPG utilizando el programa Power Point. Se trazó una línea horizontal de referencia para la biotemperatura media anual y otra línea inclinada 60° para determinar la precipitación media anual. Ambas líneas se movían según los valores de cada estación meteorológica; de modo que, al cruzarse ambas líneas, se podía observar fácilmente a cuál zona de vida correspondía.

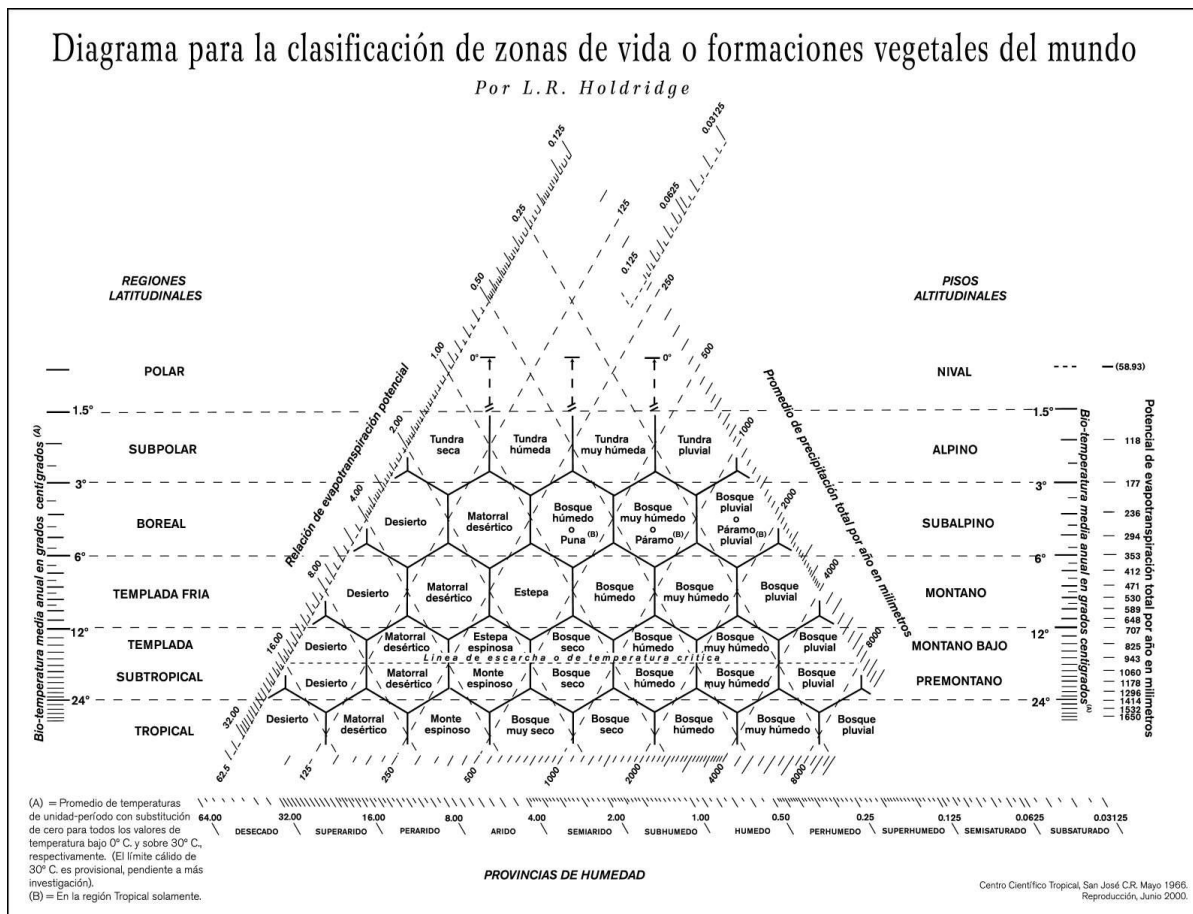


Figura 1. Diagrama de Zonas de Vida, elaborada por el Centro Científico Tropical, San José, 1966.

4.8. Comparación de zonas de vida

Las zonas de vida definidas para cada estación meteorológica seleccionada, considerando los cuatro métodos de cálculo de biotemperatura, fueron comparadas entre sí y también con el Mapa Ecológico de Costa Rica basado en zonas de vida (Bolaños y Watson, 1993).

El diagrama de la Figura 2 muestra el proceso completo que fue desarrollado durante el presente estudio.

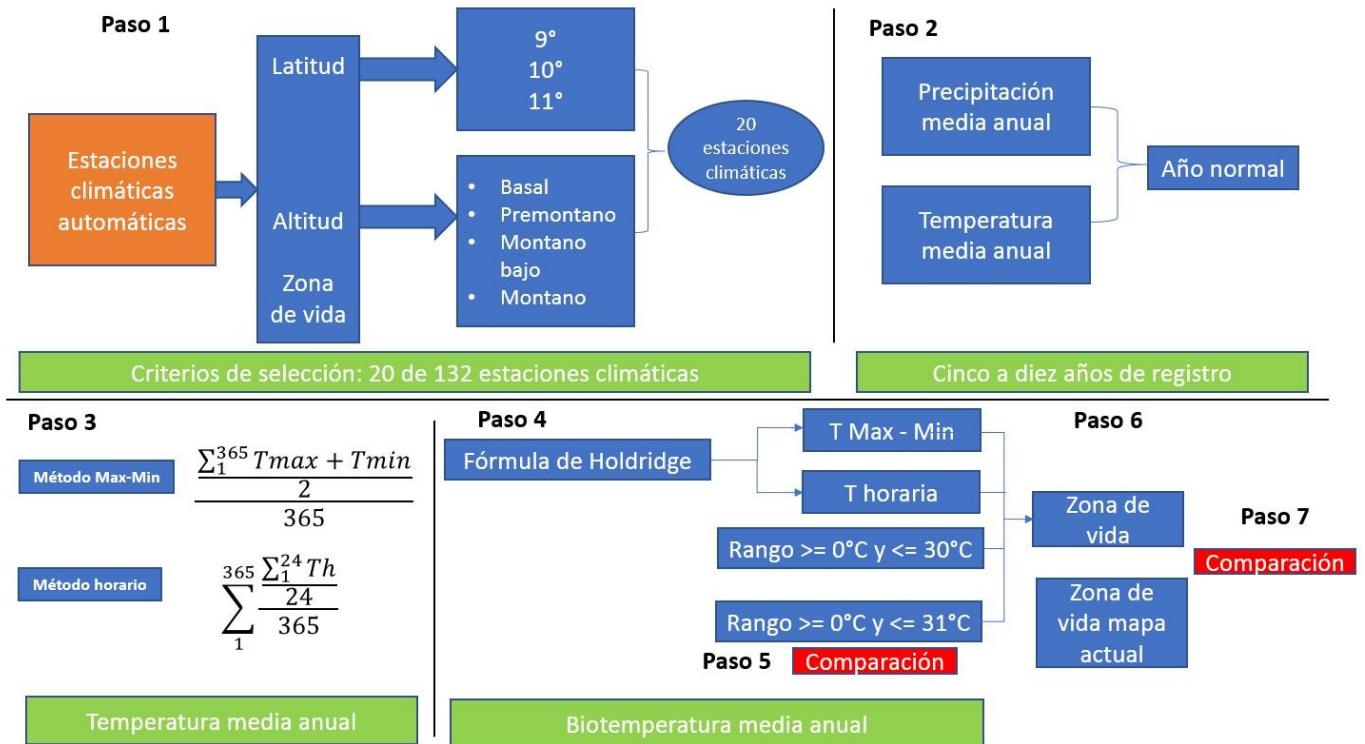


Figura 2. Diagrama de flujo del estudio, elaboración propia.

5. Resultados y discusión

5.1. Estaciones meteorológicas automáticas seleccionadas

En el cuadro 4 se muestra las 31 estaciones seleccionadas según zonas de vida y latitud; no obstante, se descartaron 12 de las 43 estaciones iniciales por tener registros insuficientes de precipitación anual. Las estaciones seleccionadas se consideran una muestra representativa. Esto porque cubren diez de las doce zonas de vida existentes en el país; además, están distribuidas en cinco de los seis rangos latitudinales y ocho zonas de vida de transición de las doce transiciones del país y están en todos los rangos altitudinales.

Cuadro 4

Estaciones meteorológicas seleccionadas según la disponibilidad de datos de precipitación

| Zona de vida | Rango latitudinal | | | | | | Total |
|------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------|
| | 8,25° a 8,75° | 8,75° a 9,25° | 9,25° a 9,75° | 9,75° a 10,25° | 10, 25° a 10,75° | 10, 75° a 11,25° | |
| bs-T | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| bh-T | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| bmh-T | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| bh-P | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| bmh-P | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| bp-P | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| bh-MB | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| bmh-MB | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| bp-MB | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| bhm-M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| bp-M | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| pp-SA | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Sub total | 0 | 2 | 5 | 5 | 1 | 3 | 16 |
| Zonas de vida en transición | | | | | | | |
| bh-P/T | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| bh-T/mh | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| bh-T/P | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| bh-T/s | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| bmh-P/p | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| bmh-P/T | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 6 |
| bmh-T/P | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| bs-T/h | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Sub total | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 15 |
| Total | 1 | 4 | 7 | 8 | 5 | 6 | 31 |

Nota: Elaboración propia.

La Figura 3 muestra el mapa con la distribución de las estaciones meteorológicas automáticas seleccionadas, según las coordenadas reportadas por el IMN y las zonas de vida; además, se muestran los rangos de latitud norte cada 0,5 grados. El detalle de cada estación se muestra en el anexo 1.

No se incluyeron estaciones meteorológicas en las zonas de vida bmh-M y bp-MB. En el caso del bosque muy húmedo Montano, solamente está reportado en el país en un sitio; con respecto al bosque pluvial Montano Bajo, si bien comprende una importante extensión, son sitios poco accesibles y de poco desarrollo humano, en donde no se cuenta con estaciones meteorológicas (Bolaños y Watson, 1993).

En el país, la información climática es limitada, específicamente sobre datos horarios de temperatura. Una razón es que hay poco interés por estudiar regiones en donde hay poco desarrollo humano, en zonas de vida montano y alto régimen pluvial. A pesar de ello, se pudo trabajar con una cantidad importante de estaciones que representaron diferentes zonas de vida, en 24 estaciones meteorológicas seleccionadas a diferentes latitudes y condiciones biofísicas (humedad y pisos altitudinales).

5.2. Año representativo por estación meteorológica

El cuadro 5 muestra el año representativo para cada estación meteorológica seleccionada. El detalle de los valores de precipitación anual por estación meteorológica se adjunta en el anexo 2. El nivel se refiere a la categoría asignada según la disponibilidad de datos; de acuerdo con el proceso metodológico. La diferencia se obtuvo de restar el promedio anual de precipitación al valor de precipitación el año representativo.

Asimismo, del cuadro 5, se desprende que el año con mayor proximidad al valor promedio de precipitación anual es el 2016 con nueve estaciones; le sigue el año 2018 con seis. El resto de los años representativos se distribuyen entre una y tres estaciones. El porcentaje de diferencia de precipitación del año representativo con respecto al promedio es menor al 7% en todas las estaciones, excepto en dos que alcanzan el 9% y una con 11%, lo que se consideran valores representativos del promedio anual de precipitación. Estos resultados son insumos fundamentales para el logro de los objetivos del presente estudio.

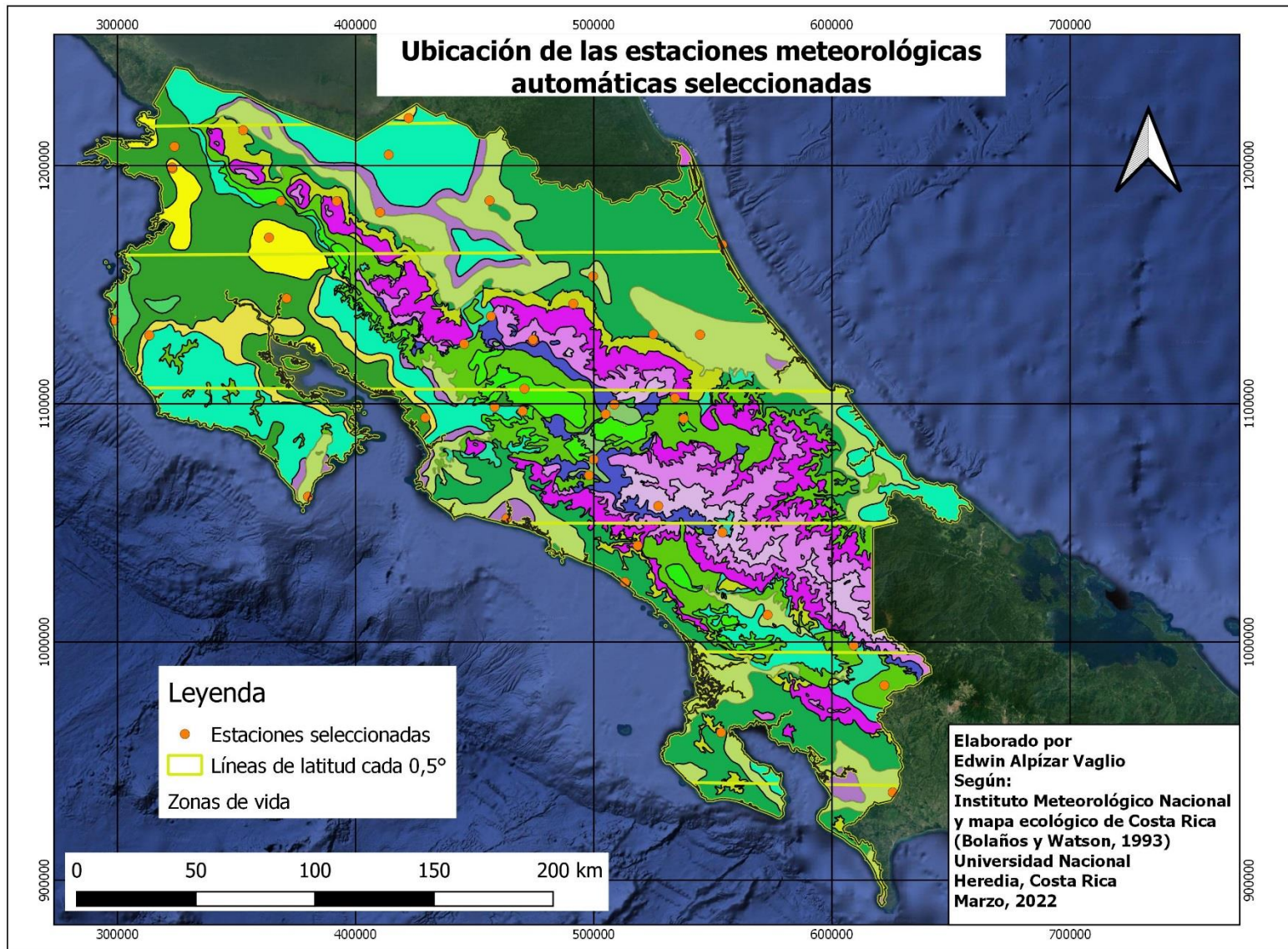


Figura 3. Estaciones meteorológicas automáticas seleccionadas comparado con las zonas de vida de Costa Rica, elaboración propia.

Cuadro 5

Año representativo de la precipitación media anual de las estaciones meteorológicas seleccionadas.

| Nivel | Código de estación | Precipitación promedio (mm) | Año representativo | Valor del año representativo (mm) | Diferencia (mm) | Diferencia % | Zona de vida |
|-------|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------|--------------|
| 1 | 69635 | 2988,5 | 2010 | 3007,1 | 18,6 | 0,6 | bmh-P/T |
| 1 | 98087 | 3154,6 | 2010 | 3189,2 | 346 | 1,1 | bmh-P/T |
| 1 | 69556 | 4140,0 | 2011 | 4152,7 | 12,7 | 0,3 | bmh-MB |
| 2 | 69677 | 2248,8 | 2011 | 2025,4 | -223,4 | -9,9 | bh-T |
| 1 | 98075 | 2628,4 | 2012 | 2689,7 | 61,3 | 2,3 | bmh-P |
| 1 | 69647 | 3190,3 | 2012 | 3276,1 | 85,8 | 2,7 | bmh-T/P |
| 1 | 72106 | 1621,4 | 2013 | 1591,6 | -29,8 | -1,8 | bs-T |
| 1 | 69633 | 1849,6 | 2014 | 1640,0 | -209,6 | -11,3 | bh-T/s |
| 1 | 98091 | 1696,3 | 2014 | 1715,2 | 18,9 | 1,1 | pp-SA |
| 2 | 88049 | 2947,2 | 2014 | 2952,0 | 4,8 | 0,2 | bh-T/mh |
| 2 | 84209 | 1934,9 | 2015 | 2054,7 | 119,8 | 6,2 | bh-T/P |
| 1 | 84187 | 1772,8 | 2016 | 1806,6 | 33,8 | 1,9 | bh-P |
| 1 | 94015 | 4386,5 | 2016 | 4524,2 | 137,7 | 3,1 | bp-P |
| 1 | 84125 | 1662,1 | 2016 | 1765,2 | 103,1 | 6,2 | bh-MB |
| 1 | 76059 | 1412,1 | 2016 | 1517,4 | 105,3 | 7,5 | bh-P/T |
| 2 | 88047 | 1697,9 | 2016 | 1713,7 | 15,8 | 0,9 | bh-MB |
| 2 | 69695 | 2455,7 | 2016 | 2521,1 | 65,4 | 2,7 | bmh-P/p |
| 2 | 72153 | 1576,1 | 2016 | 1725,9 | 149,8 | 9,5 | bh-P/T |
| 3 | 73167 | 3368,8 | 2016 | 3175,8 | -192,9 | -5,7 | bp-P |
| 3 | 88051 | 2114,3 | 2016 | 2031,6 | -82,7 | -3,9 | bmh-MB |
| 1 | 100641 | 3399,3 | 2017 | 3369,2 | -30,1 | -0,9 | bmh-P/T |
| 2 | 73147 | 4339,5 | 2017 | 4405,8 | 66,3 | 1,5 | bmh-T |
| 1 | 72163 | 1325,7 | 2018 | 1295,9 | -29,8 | -2,2 | bs-T |
| 1 | 72149 | 1544,4 | 2018 | 1537,2 | -7,2 | -0,5 | bs-T/h |
| 1 | 96003 | 4140,6 | 2018 | 4182,1 | 41,5 | 1,0 | bmh-T |
| 2 | 94013 | 2546,3 | 2018 | 2412,2 | -134,1 | -5,3 | bp-M |
| 2 | 98095 | 3967,8 | 2018 | 3845,2 | -122,6 | -3,1 | bmh-P/p |
| 3 | 72181 | 3263,0 | 2018 | 3338,4 | 75,4 | 2,3 | bmh-P/T |
| 1 | 69537 | 4319,6 | 2019 | 4225,1 | -94,5 | -2,2 | bmh-P/T |
| 1 | 73145 | 3797,7 | 2019 | 4047,2 | 249,6 | 6,6 | bmh-P/T |
| 2 | 84225 | 1950,0 | 2019 | 1963,2 | 13,2 | 0,7 | bh-T |

Nota: Elaboración propia.

5.3. Temperatura media diaria y anual

La temperatura media diaria fue determinada por dos métodos. El primero como el promedio obtenido a partir de los valores máximos y mínimos diarios, y el segundo como el promedio de los registros de cada hora del día. De la misma manera, la temperatura media anual puede calcularse de dos formas, ya sea al obtener el promedio de los valores diarios o al determinar la temperatura media mensual y posteriormente el promedio anual. Al respecto, se hizo un análisis comparativo con los dos

procedimientos; se determinó que las diferencias son menores a una centésima de grado, inducido por la variación de días que tiene cada mes (información no presentada). Como es una diferencia que no alcanza al centésimo de grado, se utilizó la temperatura media mensual, sugerida por Holdridge

5.4. Biotemperatura media anual estimada por cuatro métodos

Al comparar la biotemperatura obtenida utilizando los registros mensuales y anuales de temperatura, ya sea considerando 24 horas o con la máxima y mínima diaria, se observó que la diferencia puede ser más de medio grado centígrado (Cuadro 6). Esto evidencia la importancia de aplicar la fórmula determinando la biotemperatura media mensual primero, para luego promediarlas y obtener la biotemperatura media anual; es decir, tal como Holdridge (1987) propuso en su fórmula de biotemperatura como se debía estimar, y no estimándola a partir de la temperatura media anual.

Cuadro 6. *Biotemperatura media anual considerando dos formas de estimación, según la fórmula del Holdridge, a partir de la temperatura media mensual y media anual*

| Código de estación | Biotemperatura 24 horas con temperatura mensual (°C) | Biotemperatura 24 horas con temperatura anual (°C) | Diferencia (°C) | Biotemperatura Min-Max con temperatura mensual (°C) | Biotemperatura Min-Max con temperatura anual (°C) | Diferencia (°C) |
|---------------------------|---|---|------------------------|--|--|------------------------|
| 69677 | 24,53 | 24,77 | -0,24 | 24,16 | 24,50 | -0,35 |
| 69647 | No aplica | No aplica | 0,00 | 24,06 | 24,29 | -0,23 |
| 98075 | No aplica | No aplica | 0,00 | No aplica | No aplica | 0,00 |
| 69633 | 24,58 | 24,75 | -0,17 | 24,34 | 24,52 | -0,17 |
| 88049 | 24,61 | 24,73 | -0,11 | 24,58 | 24,65 | -0,07 |
| 98091 | No aplica | No aplica | 0,00 | No aplica | No aplica | 0,00 |
| 84209 | No aplica | No aplica | 0,00 | 24,07 | 24,15 | -0,08 |
| 69695 | No aplica | No aplica | 0,00 | No aplica | No aplica | 0,00 |
| 72153 | 24,05 | 24,61 | -0,56 | 23,75 | 24,26 | -0,51 |
| 73167 | No aplica | No aplica | 0,00 | No aplica | No aplica | 0,00 |
| 76059 | 22,88 | 23,27 | -0,39 | 21,92 | 22,25 | -0,33 |
| 84187 | No aplica | No aplica | 0,00 | No aplica | No aplica | 0,00 |
| 88047 | No aplica | No aplica | 0,00 | No aplica | No aplica | 0,00 |
| 88051 | No aplica | No aplica | 0,00 | No aplica | No aplica | 0,00 |
| 94015 | No aplica | No aplica | 0,00 | No aplica | No aplica | 0,00 |
| 73147 | 23,98 | 24,18 | -0,21 | 24,37 | 24,60 | -0,23 |
| 100641 | 24,91 | 24,98 | -0,07 | 24,60 | 24,67 | -0,07 |
| 72163 | 24,50 | 24,71 | -0,22 | 24,54 | 24,77 | -0,22 |
| 72181 | 24,81 | 24,87 | -0,06 | 24,75 | 24,82 | -0,08 |
| 94013 | No aplica | No aplica | 0,00 | No aplica | No aplica | 0,00 |
| 96003 | 24,74 | 24,86 | -0,11 | 24,51 | 24,58 | -0,07 |
| 98095 | No aplica | No aplica | 0,00 | No aplica | No aplica | 0,00 |
| 73145 | 24,63 | 24,81 | -0,18 | 24,53 | 24,74 | -0,21 |
| 84225 | 24,25 | 24,82 | -0,57 | 24,22 | 24,77 | -0,55 |

También, es importante aclarar que, debido al planteamiento de la fórmula, los valores de temperatura iguales o menores a 24°C convierten en cero el factor de ajuste; lo que da como resultado que la temperatura y la biotemperatura son iguales. En el cuadro 6, se indica cuándo la fórmula no aplica porque no hay diferencias de biotemperatura entre los dos métodos. En las estaciones N°69647 y N°84209, por estar cerca de los 24°C, se aplica la fórmula para solo uno de los procedimientos.

En el cuadro 7, se muestran los valores de biotemperatura media anual obtenidos mediante los cuatro métodos planteados, para todas las estaciones seleccionadas, las cuales fueron ordenadas por su ubicación geográfica en cuanto a la latitud. Tal como se explicó en la metodología, los valores de los cuatro métodos de cálculo se diferenciaron con colores, de modo que permitiera una comparación visual. El azul representa el método que registró el menor valor, seguido por el verde, amarillo y hasta llegar al rojo, que indica el valor más alto.

Como se puede observar en el cuadro 7, el método de 0°C a 30 °C registró los valores más bajos para el 71% de las estaciones evaluadas; le sigue el método que considera las temperaturas diarias entre 0°C y 31°C. En el 92% de los casos, los valores más altos se obtuvieron al aplicar la fórmula propuesta por Holdridge; no obstante, entre ellos son mayores al utilizar las temperaturas mínimas y máximas que las horarias. El método que utilizó temperaturas horarias diarias presentó algunas excepciones con valores de biotemperaturas más bajos que los otros métodos. Esto se debe a que en estos casos no se aplica la fórmula, por lo que es igual o ligeramente inferior a los métodos que utilizaron rangos de temperatura. Con respecto al comportamiento de la latitud, no parece ser un factor que influya en los resultados, dado que la diferencia entre los métodos se mantiene independientemente del valor de la latitud.

Cuadro 7

Biotemperatura media anual para las 24 estaciones meteorológicas seleccionadas, estimada a partir de cuatro métodos distintos

| Código | Estación meteorológica | Latitud grados N | Precipitación (mm) | BioT 24 (°C) | BioT Min-Max (°C) | BioT 0-30 (°C) | BioT 0-31 (°C) |
|---------------|--|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 100641 | Coopeagrupal, Laurel | 8,472 | 3399,3 | 24,91 | 24,60 | 20,73 | 22,48 |
| 98075 | Las Brisas, Sabalito | 8,877 | 2628,4 | 20,69 | 21,45 | 20,62 | 20,63 |
| 98095 | Altamira | 9,029 | 3967,8 | 18,07 | 18,47 | 18,06 | 18,06 |
| 96003 | Guápil, Barú | 9,271 | 4140,6 | 24,74 | 24,51 | 21,60 | 24,43 |
| 94015 | Arunachala | 9,410 | 4386,5 | 20,50 | 21,00 | 20,49 | 20,49 |
| 98091 | Chirripó | 9,459 | 1696,3 | 8,12 | 9,47 | 8,12 | 8,12 |
| 88049 | Finca La Ligia, Parrita | 9,513 | 2947,2 | 24,61 | 24,58 | 24,34 | 25,81 |
| 94013 | Cerro Buenavista, CC. | 9,560 | 2546,3 | 7,41 | 8,08 | 7,44 | 7,44 |
| 72181 | Finca 033, Cabuya, Cabo Blanco | 9,594 | 3263,0 | 24,81 | 24,75 | 22,22 | 24,81 |
| 88051 | Rodeo de Tarrazú | 9,676 | 2114,3 | 17,83 | 18,34 | 17,82 | 17,82 |
| 88047 | La Lucha 2 | 9,737 | 1697,9 | 16,66 | 17,85 | 16,67 | 16,67 |
| 84209 | Universidad para La Paz, CC. | 9,920 | 1934,9 | 23,49 | 24,07 | 23,36 | 23,49 |
| 84225 | UTN, Balsa Atenas | 9,936 | 1950,0 | 24,25 | 24,22 | 20,93 | 22,08 |
| 73167 | Monumento Nacional Guayabo, Turrialba | 9,969 | 3368,8 | 19,53 | 20,19 | 19,53 | 19,53 |
| 84187 | Fabio Baudrit | 10,005 | 1772,8 | 22,87 | 23,89 | 21,57 | 22,32 |
| 69695 | Balsa, San Ramón | 10,174 | 2455,7 | 19,07 | 19,64 | 19,08 | 19,08 |
| 73145 | Earth, CC. | 10,210 | 3797,7 | 24,63 | 24,53 | 22,45 | 24,06 |
| 73147 | Guápiles | 10,212 | 4339,5 | 23,98 | 24,37 | 23,12 | 23,98 |
| 76059 | Hacienda Taboga, Cañas | 10,346 | 1412,1 | 22,88 | 21,92 | 19,28 | 21,29 |
| 72163 | Santa Rosa, CC. | 10,841 | 1325,7 | 24,50 | 24,54 | 23,08 | 24,00 |
| 69677 | Laguna Caño Negro | 10,892 | 2248,8 | 24,53 | 24,16 | 21,93 | 23,26 |
| 72153 | Santa Elena, La Cruz | 10,920 | 1576,1 | 24,05 | 23,75 | 21,25 | 22,80 |
| 69647 | Finca Brasilia del Oro | 10,983 | 3190,3 | 23,54 | 24,06 | 23,09 | 23,44 |
| 69633 | Comando Los Chiles | 11,032 | 1849,6 | 24,58 | 24,34 | 22,08 | 23,49 |

Nota: Elaboración propia.

El cuadro 8 muestra los resultados de la prueba de medias de Tukey, a partir de la cual se identificaron las diferencias estadísticamente significativas entre los cuatro métodos de cálculo de la biotemperatura. Cuando los valores de biotemperatura fueron inferiores a los 22°C, se registran la menor cantidad de diferencias significativas entre los métodos. Esto se explica porque no se aplicó la fórmula de biotemperatura propuesta por Holdridge. En algunas estaciones, principalmente cuando el valor es menor a los 18°C, el método de máxima y mínima es diferente a los demás. Esto se atribuye a que los tres métodos coincidentes utilizaron la temperatura media horaria.

Cuadro 8

Prueba de medias de Tukey para los cuatro métodos de cálculo de la biotemperatura media anual en las estaciones meteorológicas seleccionadas

| Código | Estación | BioT 24 (°C) | BioT 24 | BioT Min-Max | BioT 0-30 | BioT 0-31 |
|---------------|--|-------------------------|----------------|-------------------------|------------------|------------------|
| 98091 | Chirripó | 8.12 | B | A | B | B |
| 88047 | La Lucha 2 | 16.66 | B | A | B | B |
| 88051 | Rodeo de Tarrazú | 17.83 | A | A | A | A |
| 98095 | Altamira | 18.07 | B | A | B | B |
| 69695 | Balsa, San Ramón | 19.07 | A | A | A | A |
| 73167 | Monumento Nacional Guayabo, Turrialba | 19.53 | A | A | A | A |
| 94015 | Arunachala | 20.5 | A | A | A | A |
| 98075 | Las Brisas, Sabalito | 20.69 | B | A | B | B |
| 84187 | Fabio Baudrit | 22.87 | B | A | C | BC |
| 76059 | Hacienda Taboga, Cañas | 22.88 | A | A | B | AB |
| 84209 | Universidad para La Paz, CC. | 23.49 | B | A | B | B |
| 69647 | Finca Brasilia del Oro | 23.54 | AB | A | B | AB |
| 73147 | Guápiles | 23.98 | A | A | B | A |
| 72153 | Santa Elena, La Cruz | 24.05 | A | A | B | AB |
| 84225 | UTN, Balsa Atenas | 24.25 | A | A | B | B |
| 72163 | Santa Rosa, CC. | 24.5 | A | A | B | AB |
| 69677 | Laguna Caño Negro | 24.53 | A | AB | C | B |
| 69633 | Comando Los Chiles | 24.58 | A | A | B | AB |
| 88049 | Finca La Ligia, Parrita | 24.61 | AB | AB | B | A |
| 73145 | Earth, CC. | 24.63 | A | A | B | A |
| 96003 | Guápil, Barú | 24.74 | A | A | B | A |
| 72181 | Finca 033, Cabuya, Cabo Blanco | 24.81 | A | A | B | A |
| 100641 | Coopeagrupal, Laurel | 24.91 | A | A | B | B |

Nota: Elaboración propia.

Cuando los valores de biotemperatura son mayores a los 22°C, se nota que los métodos son significativamente diferentes. Estos resultados son coincidentes con las observaciones indicadas anteriormente mediante la comparación de colores; la aplicación de la fórmula propicia resultados diferentes con respecto a la estimación por rango de temperatura. Los dos métodos que aplicaron la fórmula no tienen diferencia significativa. Cuando la biotemperatura es mayor a los 24°C se registró mayor cantidad de diferencias entre los métodos que aplicaron la fórmula y las que establecieron un rango de temperaturas. El método que mantiene una diferencia de valores con respecto a los demás es el método de estimación con el rango de 0°C a 30°C. Entonces, podría interpretarse que el rango 0°C-

31°C, implica un aumento de la biotemperatura, lo que se asemeja a los resultados obtenidos por la fórmula.

Con el presente estudio, se logró estimar la biotemperatura media mensual y anual a partir de los datos horarios de temperatura diaria, según el concepto original establecido por Holdridge. De este modo, se pudo comparar estos valores en las estaciones seleccionadas, con los obtenidos aplicando la fórmula propuesta por Holdridge, la cual registró diferencias importantes con los valores obtenidos utilizando datos horarios de temperatura. La diferencia es mayor si se considera las temperaturas máximas y mínimas para obtener la temperatura media diaria. Esta situación sugiere que la aplicación de la fórmula no determina correctamente la biotemperatura, partiendo del concepto de biotemperatura establecido por el mismo Holdridge.

Si bien la fórmula no es consistente para determinar la biotemperatura, persiste la limitación práctica para estimar la biotemperatura que definirá la zona de vida, debido a la poca disponibilidad de datos horarios de temperatura. Se espera que, con el registro continuo de datos, dentro de unos 10 años se logre determinar la normalidad climática, con los que se tendrán valores de cerca de 30 años para ser utilizados en distintos objetivos prácticos y toma de decisiones. Lo anterior recalca la necesidad de ajustar la fórmula de cálculo de biotemperatura cuanto antes.

Holdridge estableció en la fórmula que, cuando la temperatura es igual o inferior a 24°C, la biotemperatura es igual a la temperatura media diaria. Sin embargo, cuando se comparan los valores promedio de biotemperatura, en las estaciones donde la temperatura media mensual es igual o menor a ese valor y se considera el rango horario entre 0°C y 30°C, se observan diferencias en los valores, incluso, en promedios cercanos a los 21°C. Estos resultados sugieren que el valor de 24°C debería ser revisado.

5.5. Zonas de vida según el método de estimación de la biotemperatura

La Figura 4 muestra la zona de vida en el diagrama de Holdridge correspondiente para cada estación meteorológica, con base en los cuatro diferentes métodos de cálculo de la biotemperatura. A modo de ejemplo, las líneas rojas muestran cómo se cruzaron los datos de precipitación y biotemperatura utilizando el programa Power Point.

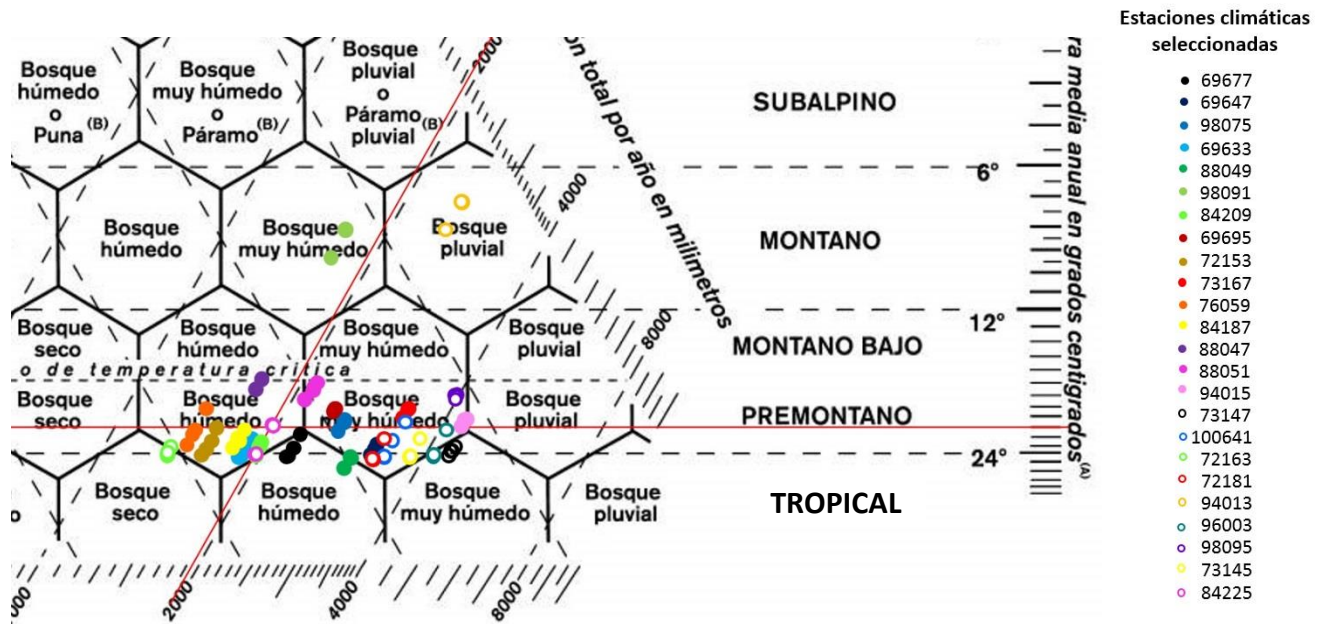


Figura 4. Ubicación de las estaciones meteorológicas seleccionadas en el diagrama de zonas de vida, elaboración propia.

Como puede notarse, en algunas estaciones la diferencia es considerable, como en el caso de las N°76059 (bh-P), N°94013 (bp-M) y N°98091 (bmh-M). Esto muestra que el cambio de zona de vida obedece más a la ubicación de los valores dentro del diagrama. Es decir, cuando los valores bioclimáticos se localizan hacia el centro del hexágono, no se presentan cambios de zona de vida, a pesar de registrar diferencias importantes en los valores de biotemperatura. No obstante, si esos valores se aproximan a los bordes del hexágono, principalmente en zonas de transición (los triángulos que se forman en los extremos compartidos entre zonas de vida), pequeños cambios en la biotemperatura inciden en el cambio de zona de vida.

Puede notarse que la mayoría de las estaciones se aglomeran en las franjas altitudinales Tropical y Premontano, en provincias de humedad clasificadas como Húmedo y Perhúmedo. Esto se debe al desarrollo humano en estas regiones; en otras zonas de vida, como las de alta montaña y climas pluviales, se cuenta con escasa presencia de estaciones meteorológicas.

Cuando se registraron cambios en las zonas de vida al utilizar los cuatro métodos de biotemperatura para ciertas estaciones meteorológicas, en todos los casos involucran o están cerca de una zona de transición. Esto se debe, como se ha dicho, a que cuando los valores se encuentran cerca de estas líneas de transición, pequeños cambios de biotemperatura determinan cambios en la zona de vida. Solamente la estación de Chirripó muestra una clasificación muy diferente a la observada en el campo, el páramo pluvial subalpino, que más adelante se tratará.

5.6. Comparación de valores de biotemperatura y zonas de vida

La primera comparación que se realizó fue entre los dos métodos que aplican la fórmula propuesta por Holdridge. El primero a partir de valores horarios de temperatura y el segundo con base en la temperatura máxima y mínima; para ambos los resultados de biotemperatura obtenidos se muestran en el cuadro 9. También, se exponen las zonas de vida determinadas en el diagrama de Holdridge, considerando los valores de precipitación media anual y la biotemperatura media anual para cada método. La diferencia en biotemperatura entre métodos de cálculo fue ordenada de menor a mayor y presentada tanto en sus valores absolutos, como porcentuales.

Cuando la biotemperatura es mayor a 24°C, las diferencias entre ambos métodos son mínimas; sin embargo, estas se incrementan cuando la biotemperatura es menor a los 24°C. Esto sugiere que aplicar la fórmula por cualquiera de los dos métodos no presenta diferencias importantes, pero son diferentes sin la fórmula, porque los valores de temperatura son estimados de diferente forma. Los cambios en la zona de vida, en estos casos, suceden porque su ubicación en el diagrama está cercano al límite de los hexágonos y cambios pequeños definen la zona de vida.

El cuadro 10 muestra las diferencias en los valores de biotemperatura y la respectiva zona de vida al comparar el cálculo por medio de la fórmula de Holdridge a partir de datos horarios de temperatura, (considerado por la OMM como el de mejor ajuste de la temperatura media diaria), con el estimado con el rango de temperaturas entre 0°C y 30°C.

Cuadro 9

Biotemperatura media anual utilizando la fórmula de Holdridge con dos métodos y las respectivas zonas de vida determinadas para cada estación meteorológica seleccionada

| Código | Estación | Latitud N | BioT 24 (°C) | Zona Vida BioT 24 | BioT Min-Max (°C) | Zona Vida BioT Min-Max | Diferencia BioT 24-Min Max (°C) | Diferencia (%) |
|--------|---------------------------------------|-----------|--------------|-------------------|-------------------|------------------------|---------------------------------|----------------|
| 84225 | UTN, Balsa Atenas | 9,936 | 24,25 | bh-P/T | 24,22 | bh-P/T | 0,03 | 0,13 |
| 88049 | Finca La Ligia, Parrita | 9,513 | 24,61 | bmh-P/T | 24,58 | bmh-P/T | 0,04 | 0,14 |
| 72163 | Santa Rosa, CC. | 10,841 | 24,50 | bs-T | 24,54 | bs-T | 0,04 | 0,17 |
| 72181 | Finca 033, Cabuya, Cabo Blanco | 9,594 | 24,81 | bmh-P/T | 24,75 | bmh-P/T | 0,06 | 0,24 |
| 73145 | Earth, CC. | 10,210 | 24,63 | bmh-P/T | 24,53 | bmh-P/T | 0,10 | 0,42 |
| 96003 | Guápil, Barú | 9,271 | 24,74 | bmh-T | 24,51 | bmh-T | 0,24 | 0,96 |
| 69633 | Comando Los Chiles | 11,032 | 24,58 | bh-P/T | 24,34 | bh-P/T | 0,24 | 0,98 |
| 72153 | Santa Elena, La Cruz | 10,920 | 24,05 | bh-P/T | 23,75 | bh-P | 0,30 | 1,27 |
| 100641 | Coopeagrupal, Laurel | 8,472 | 24,91 | bmh-P/T | 24,60 | bmh-P/T | 0,31 | 1,26 |
| 69677 | Laguna Caño Negro | 10,892 | 24,53 | bh-T | 24,16 | bh-T | 0,37 | 1,52 |
| 73147 | Guápiles | 10,212 | 23,98 | bmh-T/P | 24,37 | bmh-T | 0,39 | 1,65 |
| 98095 | Altamira | 9,029 | 18,07 | bmh-P | 18,47 | bmh-P | 0,41 | 2,26 |
| 94015 | Arunachala | 9,410 | 20,50 | bmh-P/p | 21,00 | bmh-P/p | 0,50 | 2,44 |
| 88051 | Rodeo de Tarrazú | 9,676 | 17,83 | bmh-P | 18,34 | bmh-P/h | 0,51 | 2,88 |
| 69647 | Finca Brasilia del Oro | 10,983 | 23,54 | bmh-P | 24,06 | bmh-P/T | 0,52 | 2,22 |
| 69695 | Balsa, San Ramón | 10,174 | 19,07 | bmh-P | 19,64 | bmh-P | 0,57 | 2,99 |
| 84209 | Universidad para La Paz, CC. | 9,920 | 23,49 | bh-P | 24,07 | bh-P/T | 0,58 | 2,47 |
| 73167 | Monumento Nacional Guayabo, Turrialba | 9,969 | 19,53 | bmh-P | 20,19 | bmh-P | 0,65 | 3,35 |
| 94013 | Cerro Buenavista, CC. | 9,560 | 7,41 | bp-M | 8,08 | bp-M | 0,67 | 9,01 |
| 98075 | Las Brisas, Sabalito | 8,877 | 20,69 | bmh-P | 21,45 | bmh-P | 0,76 | 3,68 |
| 76059 | Hacienda Taboga, Cañas | 10,346 | 22,88 | bh-P | 21,92 | bh-P | 0,95 | 4,16 |
| 84187 | Fabio Baudrit | 10,005 | 22,87 | bh-P | 23,89 | bh-P | 1,01 | 4,43 |
| 88047 | La Lucha 2 | 9,737 | 16,66 | bh-MB | 17,85 | bh-P | 1,19 | 7,14 |
| 98091 | Chirripó | 9,459 | 8,12 | bmh-M | 9,47 | bmh-M | 1,34 | 16,54 |

Nota: Elaboración propia. El color amarillo representa la diferencia de zonas de vida, según el método de estimación de biotemperatura.

Cuadro 10

Biotemperatura media anual utilizando la fórmula de Holdridge con la temperatura horaria y el rango de temperaturas diarias entre 0°C y 30°C y las respectivas zonas de vida determinadas para cada estación meteorológica seleccionada

| Código | Estación | Latitud N | BioT 24 (°C) | Zona Vida BioT 24 | BioT 0-30 (°C) | Zona Vida BioT 0-30 | Diferencia BioT 24 y 0-30 (°C) | Diferencia (%) |
|--------|---------------------------------------|-----------|--------------|-------------------|----------------|---------------------|--------------------------------|----------------|
| 98095 | Altamira | 9,029 | 18,07 | bmh-P | 18,06 | bmh-P | 0,00 | 0,01 |
| 88047 | La Lucha 2 | 9,737 | 16,66 | bh-MB | 16,67 | bh-MB | 0,00 | 0,01 |
| 98091 | Chirripó | 9,459 | 8,12 | bmh-M | 8,12 | bmh-M | 0,00 | 0,03 |
| 69695 | Balsa, San Ramón | 10,174 | 19,07 | bmh-P | 19,08 | bmh-P | 0,00 | 0,02 |
| 73167 | Monumento Nacional Guayabo, Turrialba | 9,969 | 19,53 | bmh-P | 19,53 | bmh-P | 0,00 | 0,02 |
| 88051 | Rodeo de Tarrazú | 9,676 | 17,83 | bmh-P | 17,82 | bmh-P | 0,00 | 0,03 |
| 94015 | Arunachala | 9,410 | 20,50 | bmh-P/p | 20,49 | bmh-P/p | 0,01 | 0,03 |
| 94013 | Cerro Buenavista, CC. | 9,560 | 7,41 | bp-M | 7,44 | bp-M | 0,03 | 0,42 |
| 98075 | Las Brisas, Sabalito | 8,877 | 20,69 | bmh-P | 20,62 | bmh-P | 0,06 | 0,31 |
| 84209 | Universidad para La Paz, CC. | 9,920 | 23,49 | bh-P | 23,36 | bh-P | 0,13 | 0,54 |
| 88049 | Finca La Ligia, Parrita | 9,513 | 24,61 | bmh-P/T | 24,34 | bmh-P/T | 0,27 | 1,11 |
| 69647 | Finca Brasilia del Oro | 10,983 | 23,54 | bmh-P | 23,09 | bmh-P | 0,45 | 1,95 |
| 73147 | Guápiles | 10,212 | 23,98 | bmh-T/P | 23,12 | bmh-T/P | 0,86 | 3,70 |
| 84187 | Fabio Baudrit | 10,005 | 22,87 | bh-P | 21,57 | bh-P | 1,30 | 6,03 |
| 72163 | Santa Rosa, CC. | 10,841 | 24,50 | bs-T | 23,08 | bs-T/P | 1,42 | 6,15 |
| 73145 | Earth, CC. | 10,210 | 24,63 | bmh-P/T | 22,45 | bmh-P | 2,18 | 9,73 |
| 69633 | Comando Los Chiles | 11,032 | 24,58 | bh-P/T | 22,08 | bh-P | 2,50 | 11,31 |
| 72181 | Finca 033, Cabuya, Cabo Blanco | 9,594 | 24,81 | bmh-P/T | 22,22 | bmh-P | 2,59 | 11,65 |
| 69677 | Laguna Caño Negro | 10,892 | 24,53 | bh-T | 21,93 | bh-T/P | 2,60 | 11,87 |
| 72153 | Santa Elena, La Cruz | 10,920 | 24,05 | bh-P/T | 21,25 | bh-P | 2,80 | 13,19 |
| 96003 | Guápil, Barú | 9,271 | 24,74 | bmh-T | 21,60 | bmh-P/p | 3,14 | 14,54 |
| 84225 | UTN, Balsa Atenas | 9,936 | 24,25 | bh-P/T | 20,93 | bh-P | 3,32 | 15,85 |
| 76059 | Hacienda Taboga, Cañas | 10,346 | 22,88 | bh-P | 19,28 | bh-P | 3,59 | 18,63 |
| 100641 | Coopeagrupal, Laurel | 8,472 | 24,91 | bmh-P/T | 20,73 | bmh-P | 4,18 | 20,18 |

Nota: Elaboración propia. El color amarillo representa la diferencia de zonas de vida, según el método de estimación de biotemperatura.

Tal como se muestra en el cuadro 10, la diferencia de biotemperaturas se da de manera inversa con respecto a la comparación anterior (Cuadro 9). En este caso, los valores menores a los 24°C (en donde no se aplica la fórmula), no presentan diferencias importantes y se registraron muy pocos cambios en cuanto a la identificación de las zonas de vida. Cuando se aplica la fórmula, los resultados son diferentes, lo cual sugiere que este método no calcula con certeza la biotemperatura. Esto si se parte del concepto original, en el que se determina la biotemperatura a partir del rango diario entre 0°C y 30°C.

Con respecto a las zonas de vida, se observa que hay mayor cambio cuando la temperatura es mayor a los 24°C, inducido por la diferencia de estos valores, como se indicó en el párrafo anterior. Igualmente, se da por la proximidad de los valores a las líneas de cambio de zona de vida en el diagrama de Holdridge.

El cuadro 11 muestra los valores de biotemperatura comparados con dos métodos: el de la fórmula de Holdridge a partir de datos horarios de temperatura (la OMM considera un mejor ajuste de la temperatura media diaria) y el estimado con el rango de temperaturas entre 0°C y 31°C. Se observa el mismo comportamiento que la comparación con el rango de 0°C a 30°C. No hay una diferencia importante cuando las temperaturas son menores a 24°C (no se aplica la fórmula de Holdridge), pero sí cuando se aplica (temperaturas mayores a 24°C). También, se presenta un cambio de zonas de vida, provocado por estas diferencias de biotemperatura y por estar cerca de los límites de transición.

El cuadro 12 muestra una comparación entre los dos métodos de estimación de la biotemperatura media anual a partir de los valores de biotemperatura diaria, considerando los dos rangos de temperatura de 0°C a 30°C y de 0°C a 31°C. Los valores de biotemperatura, utilizando los dos rangos de temperaturas diarias, muestran diferencia en los sitios más cálidos, lo cual se puede atribuir a que la diferencia de un grado centígrado suma al valor total de biotemperatura diaria y, por lo tanto, este intervalo de 0°C a 31°C es más cálido. Esta diferencia puede ser de hasta casi tres grados.

Cuadro 11

Biotemperatura media anual utilizando la fórmula de Holdridge, a partir de valores de temperatura horarios y considerando el rango de temperaturas diarias entre 0°C y 31°C y las respectivas zonas de vida determinadas para cada estación meteorológica seleccionada

| Código | Estación | Latitud N | BioT 24 (°C) | Zona Vida BioT 24 | BioT 0-31 (°C) | Zona Vida BioT 0-31 | Diferencia BioT 24 y 0-31 (°C) | Diferencia (%) |
|--------|---------------------------------------|-----------|--------------|-------------------|----------------|---------------------|--------------------------------|----------------|
| 98095 | Altamira | 9,029 | 18,07 | bmh-P | 18,06 | bmh-P | 0,00 | 0,01 |
| 84209 | Universidad para La Paz, CC. | 9,920 | 23,49 | bh-P | 23,49 | bh-P | 0,00 | 0,01 |
| 88047 | La Lucha 2 | 9,737 | 16,66 | bh-MB | 16,67 | bh-MB | 0,00 | 0,01 |
| 72181 | Finca 033, Cabuya, Cabo Blanco | 9,594 | 24,81 | bmh-P/T | 24,81 | bmh-P/T | 0,00 | 0,01 |
| 73167 | Monumento Nacional Guayabo, Turrialba | 9,969 | 19,53 | bmh-P | 19,53 | bmh-P | 0,00 | 0,02 |
| 69695 | Balsa, San Ramón | 10,174 | 19,07 | bmh-P | 19,08 | bmh-P | 0,00 | 0,02 |
| 88051 | Rodeo de Tarrazú | 9,676 | 17,83 | bmh-P | 17,82 | bmh-P | 0,00 | 0,03 |
| 73147 | Guápiles | 10,212 | 23,98 | bmh-T/P | 23,98 | bmh-T/P | 0,01 | 0,03 |
| 98091 | Chirripó | 9,459 | 8,12 | bmh-M | 8,12 | bmh-M | 0,00 | 0,03 |
| 94015 | Arunachala | 9,410 | 20,50 | bmh-P/p | 20,49 | bmh-P/p | 0,01 | 0,03 |
| 98075 | Las Brisas, Sabalito | 8,877 | 20,69 | bmh-P | 20,63 | bmh-P | 0,06 | 0,27 |
| 69647 | Finca Brasilia del Oro | 10,983 | 23,54 | bmh-P | 23,44 | bmh-P | 0,09 | 0,40 |
| 94013 | Cerro Buenavista, CC. | 9,560 | 7,41 | bp-M | 7,44 | bp-M | 0,03 | 0,42 |
| 96003 | Guápil, Barú | 9,271 | 24,74 | bmh-T | 24,43 | bmh-T | 0,32 | 1,31 |
| 72163 | Santa Rosa, CC. | 10,841 | 24,50 | bs-T | 24,00 | bs-T | 0,50 | 2,07 |
| 73145 | Earth, CC. | 10,210 | 24,63 | bmh-P/T | 24,06 | bmh-P/T | 0,57 | 2,37 |
| 84187 | Fabio Baudrit | 10,005 | 22,87 | bh-P | 22,32 | bh-P | 0,55 | 2,48 |
| 88049 | Finca La Ligia, Parrita | 9,513 | 24,61 | bmh-P/T | 25,81 | bh-T | 1,19 | 4,63 |
| 69633 | Comando Los Chiles | 11,032 | 24,58 | bh-P/T | 23,49 | bh-P | 1,10 | 4,67 |
| 69677 | Laguna Caño Negro | 10,892 | 24,53 | bh-T | 23,26 | bh-T/P | 1,27 | 5,44 |
| 72153 | Santa Elena, La Cruz | 10,920 | 24,05 | bh-P/T | 22,80 | bh-P | 1,25 | 5,47 |
| 76059 | Hacienda Taboga, Cañas | 10,346 | 22,88 | bh-P | 21,29 | bh-P | 1,59 | 7,46 |
| 84225 | UTN, Balsa Atenas | 9,936 | 24,25 | bh-P/T | 22,08 | bh-P | 2,17 | 9,82 |
| 100641 | Coopeagrupal, Laurel | 8,472 | 24,91 | bmh-P/T | 22,48 | bmh-P | 2,43 | 10,82 |

Nota: Elaboración propia. El color amarillo representa la diferencia de zonas de vida, según el método de estimación de biotemperatura.

Cuadro 12

Biotemperatura media anual utilizando el rango de temperaturas diarias entre 0°C a °C30 con el rango de 0°C a 31°C y las respectivas zonas de vida determinadas para cada estación meteorológica seleccionada

| Código | Estación | Latitud N | BioT 0-30 (°C) | Zona Vida BioT 0-30 | BioT 0-31 (°C) | Zona Vida BioT 0-31 | Diferencia 0-30 y 0-31 (°C) | Diferencia (%) |
|--------|--|--------------|-------------------|------------------------|-------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------|
| 98095 | Altamira | 9,029 | 18,06 | bmh-P | 18,06 | bmh-P | 0,00 | 0,00 |
| 88047 | La Lucha 2 | 9,737 | 16,67 | bh-MB | 16,67 | bh-MB | 0,00 | 0,00 |
| 73167 | Monumento Nacional Guayabo, Turrialba | 9,969 | 19,53 | bmh-P | 19,53 | bmh-P | 0,00 | 0,00 |
| 69695 | Balsa, San Ramón | 10,174 | 19,08 | bmh-P | 19,08 | bmh-P | 0,00 | 0,00 |
| 88051 | Rodeo de Tarrazú | 9,676 | 17,82 | bmh-P | 17,82 | bmh-P | 0,00 | 0,00 |
| 98091 | Chirripó | 9,459 | 8,12 | bmh-M | 8,12 | bmh-M | 0,00 | 0,00 |
| 94015 | Arunachala | 9,410 | 20,49 | bmh-P/p | 20,49 | bmh-P/p | 0,00 | 0,00 |
| 94013 | Cerro Buenavista, CC. | 9,60 | 7,44 | bp-M | 7,44 | bp-M | 0,00 | 0,00 |
| 98075 | Las Brisas, Sabalito | 8,877 | 20,62 | bmh-P | 20,63 | bmh-P | 0,01 | 0,03 |
| 84209 | Universidad para La Paz, CC. | 9,920 | 23,36 | bh-P | 23,49 | bh-P | 0,13 | 0,55 |
| 69647 | Finca Brasilia del Oro | 10,983 | 23,09 | bmh-P | 23,44 | bmh-P | 0,36 | 1,55 |
| 84187 | Fabio Baudrit | 10,005 | 21,57 | bh-P | 22,32 | bh-P | 0,75 | 3,46 |
| 73147 | Guápiles | 10,212 | 23,12 | bmh-T/P | 23,98 | bmh-T/P | 0,86 | 3,73 |
| 72163 | Santa Rosa, CC. | 10,841 | 23,08 | Bs-T/P | 24,00 | bs-T | 0,92 | 4,00 |
| 84225 | UTN, Balsa Atenas | 9,936 | 20,93 | bh-P | 22,08 | bh-P | 1,15 | 5,49 |
| 69677 | Laguna Caño Negro | 10,892 | 21,93 | bh-T/P | 23,26 | bh-T/P | 1,34 | 6,09 |
| 69633 | Comando Los Chiles | 11,032 | 22,08 | bh-P | 23,49 | bh-P | 1,40 | 6,35 |
| 88049 | Finca La Ligia, Parrita | 9,513 | 24,34 | bmh-P/T | 25,81 | bh-T | 1,47 | 6,02 |
| 72153 | Santa Elena, La Cruz | 10,920 | 21,25 | bh-P | 22,80 | bh-P | 1,56 | 7,33 |
| 73145 | Earth, CC. | 10,210 | 22,45 | bmh-P | 24,06 | bmh-P/T | 1,61 | 7,19 |
| 100641 | Coopeagrupal, Laurel | 8,472 | 20,73 | bmh-P | 22,48 | bmh-P | 1,75 | 8,45 |
| 76059 | Hacienda Taboga, Cañas | 10,346 | 19,28 | bh-P | 21,29 | bh-P | 2,00 | 10,39 |
| 72181 | Finca 033, Cabuya, Cabo Blanco | 9,594 | 22,22 | bmh-P | 24,81 | bmh-P/T | 2,59 | 11,66 |
| 96003 | Guápil, Barú | 9,271 | 21,60 | bmh-P/p | 24,43 | bmh-T | 2,82 | 13,06 |

Nota: Elaboración propia. El color amarillo representa la diferencia de zonas de vida, según el método de estimación de biotemperatura.

Finalmente, se compararon las zonas de vida que fueron identificadas en el presente estudio, mediante el cálculo de la biotemperatura por los cuatro métodos, con el mapa Ecológico de Costa Rica basado en zonas de vida elaborado por Bolaños y Watson (1993). Los resultados se muestran en el cuadro 13.

Cuadro 13

Zonas de vida determinadas a partir de diferentes métodos de biotemperatura para las estaciones meteorológicas seleccionadas, comparadas con el mapa ecológico basado en zonas de vida de Bolaños y Watson (1993)

| Código | Estación | Latitud N | Zona Vida BioT 24 | Zona Vida BioT Min-Max | Zona Vida BioT 0-30 | Zona Vida BioT 0-31 | Mapa Bolaños Watson |
|--------|---------------------------------------|-----------|-------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 88047 | La Lucha 2 | 9,737 | bh-MB | bh-P | bh-MB | bh-MB | bh-MB |
| 84187 | Fabio Baudrit | 10,005 | bh-P | bh-P | bh-P | bh-P | bh-P |
| 72153 | Santa Elena, La Cruz | 10,920 | bh-P/T | bh-P | bh-P | bh-P | bh-P/T |
| 76059 | Hacienda Taboga, Cañas | 10,346 | bh-P | bh-P | bh-P | bh-P | bh-P/T |
| 84225 | UTN, Balsa Atenas | 9,936 | bh-P/T | bh-P/T | bh-P | bh-P | bh-T |
| 69677 | Laguna Caño Negro | 10,892 | bh-T | bh-T | bh-T/P | bh-T/P | bh-T |
| 88049 | Finca La Ligia, Parrita | 9,513 | bmh-P/T | bmh-P/T | bmh-P/T | bh-T | bh-T/mh |
| 84209 | Universidad para La Paz, CC. | 9,920 | bh-P | bh-P/T | bh-P | bh-P | bh-T/P |
| 69633 | Comando Los Chiles | 11,032 | bh-P/T | bh-P/T | bh-P | bh-P | bh-T/s |
| 88051 | Rodeo de Tarrazú | 9,676 | bmh-P | bmh-P/h | bmh-P | bmh-P | bmh-MB |
| 98075 | Las Brisas, Sabalito | 8,877 | bmh-P | bmh-P | bmh-P | bmh-P | bmh-P |
| 98095 | Altamira | 9,029 | bmh-P | bmh-P | bmh-P | bmh-P | bmh-P/p |
| 69695 | Balsa, San Ramón | 10,174 | bmh-P | bmh-P | bmh-P | bmh-P | bmh-P/p |
| 73145 | Earth, CC. | 10,210 | bmh-P/T | bmh-P/T | bmh-P | bmh-P/T | bmh-P/T |
| 100641 | Coopeagrupal, Laurel | 8,472 | bmh-P/T | bmh-P/T | bmh-P | bmh-P | bmh-P/T |
| 72181 | Finca 033, Cabuya, Cabo Blanco | 9,594 | bmh-P/T | bmh-P/T | bmh-P | bmh-P/T | bmh-P/T |
| 73147 | Guápiles | 10,212 | bmh-T/P | bmh-T | bmh-T/P | bmh-T/P | bmh-T |
| 96003 | Guápil, Barú | 9,271 | bmh-T | bmh-T | bmh-P/p | bmh-T | bmh-T |
| 69647 | Finca Brasilia del Oro | 10,983 | bmh-P | bmh-P/T | bmh-P | bmh-P | bmh-T/P |
| 94013 | Cerro Buenavista, CC. | 9,560 | bp-M | bp-M | bp-M | bp-M | bp-M |
| 73167 | Monumento Nacional Guayabo, Turrialba | 9,969 | bmh-P | bmh-P | bmh-P | bmh-P | bp-P |
| 94015 | Arunachala | 9,410 | bmh-P/p | bmh-P/p | bmh-P/p | bmh-P/p | bp-P |
| 72163 | Santa Rosa, CC. | 10,841 | bs-T | bs-T | bs-T/P | bs-T | bs-T |
| 98091 | Chirripó | 9,459 | bmh-M | bmh-M | bmh-M | bmh-M | pp-SA |

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo con el cuadro 13, las zonas de vida definidas por el mapa Ecológico de Costa Rica para las estaciones meteorológicas estudiadas, se presenta una coincidencia en once casos aplicando el método de 24 horas; es decir el 46%. De estas, siete corresponden al piso basal Tropical. Cuando se

aplicó el método de mínima y máxima temperatura, hay coincidencia en diez estaciones con el mapa Ecológico (42%); de ellas, siete corresponden al piso basal Tropical. Con el método de 0°C a 30°C las zonas de vida definidas en el mapa, para las estaciones meteorológicas, coincide en solamente cuatro ocasiones (17%); ninguna corresponde al piso basal Tropical. Con respecto al método de 0°C a 31°C, hay coincidencia en ocho estaciones (33%); la mitad corresponden al piso basal tropical.

Al considerar los cuatro métodos aplicados, solamente tres estaciones coinciden con la zona de vida definida en el mapa ecológico (12,5%) y en cinco estaciones se determinó la misma zona de vida (21%) con tres métodos. Las estaciones presentan coincidencia con el mapa en un 50%, con al menos alguno de los métodos; es decir, el restante de estaciones (en color azul) no es coincidente las zonas de vida reportada con cualquiera de los métodos, con respecto al mapa.

Es posible que una de las razones para la poca coincidencia de los métodos utilizados con respecto al mapa, puede ser la poca disponibilidad de registros largos de datos, debido a que la mayoría de las estaciones meteorológicas automáticas tienen poco tiempo de funcionar (aproximadamente diez años).

Los estudios del Instituto Meteorológico Nacional han mostrado que el clima en el país está cambiando (Alvarado et al., 2012) (IMN, 2008); los valores de precipitación y temperatura media anual actuales son diferentes a los valores de la década de los noventa, cuando se hizo el mapa ecológico basado en zonas de vida. Esta situación propicia la necesidad de actualizar el mapa Ecológico basado en zonas de vida. Ello podría ser una razón importante para que existan diferencias entre las zonas de vida definidas con los métodos analizados y el mapa Ecológico de Costa Rica elaborado en 1993.

En el caso de la estación meteorológica ubicada en el cerro Chirripó, la clasificación de la zona de vida con los cuatro métodos es de bosque muy húmedo montano (bmh-M), lo cual no coincide con el mapa y es evidente en el campo, dada la presencia del páramo. Una razón podría ser la ubicación de la estación en la parte más baja del páramo; sin embargo, la diferencia de biotemperatura para que alcance la clasificación de páramo pluvial Subalpino es de dos grados centígrados. Se revisaron los datos horarios de temperatura para las dos estaciones y no se encontraron temperaturas menores a los 0°C. Esto no concuerda con lo afirmado por Chaverri (2008), quién indica que se ha informado de

temperaturas de -8°C durante los meses de febrero. Esta podría ser la razón de dicha diferencia de los valores aportados, dado que temperaturas inferiores a 0°C no suman y tienden a bajar el valor estimado de la biotemperatura.

6. Conclusiones y recomendaciones

La aplicación de la fórmula de Holdridge debe ser a partir del cálculo de la biotemperatura mensual y luego promediada para el año. Si se utilizan la temperatura media anual en la fórmula, las diferencias pueden ser de hasta más de medio grado centígrado con respecto a los obtenidos con el cálculo a partir de la biotemperatura mensual.

Los valores de biotemperatura al aplicar la fórmula de Holdridge son mayores que los obtenidos si se consideran las temperaturas medias diarias en los rangos de 0°C y 30°C y 0°C y 31°C . Entre los dos métodos que aplican dicha fórmula, la biotemperatura es mayor cuando se utiliza el promedio diario basado en la temperatura máxima y mínima.

No se observó influencia de la latitud en los resultados de biotemperatura; pese a ser una variable considerada en la fórmula.

No se registraron diferencias de biotemperatura cuando se aplica la fórmula con los dos métodos analizados, siempre que la temperatura sea mayor a los 24°C . Si las temperaturas son menores o iguales a 24°C , los valores de biotemperaturas son diferentes.

Resulta más confiable el método de cálculo de biotemperatura a partir de datos horarios, que aplicar la fórmula de Holdridge con temperatura máxima y mínima. Sin embargo, en la práctica, no hay suficientes estaciones meteorológicas que proporcionen datos horarios de temperatura.

La fórmula de Holdridge no representa bien la biotemperatura. Únicamente podría ser aplicada cuando el valor se ubique en el diagrama lejos de las líneas de transición o cambio de zona de vida; es decir, cuando los valores de biotemperatura y precipitación, se cruzan en el centro del hexágono; aquí las diferencias de biotemperatura con uno u otro método no determina el cambio de la zona de vida; no obstante, si se ubica cerca de los límites de las zonas de vida, las diferencias, aunque mínimas, pueden determinar el cambio de zona de vida.

Las zonas de vida clasificadas en el mapa Ecológico de Costa Rica, elaborado por Bolaños y Watson, tiene mínima coincidencia con las definidas utilizando los cuatro métodos de cálculo de biotemperatura, para las estaciones meteorológicas seleccionadas.

El país debe mejorar la disponibilidad de estaciones meteorológicas automáticas en sitios montanos y con climas pluviales. Para ello, debe hacerse un análisis de la ubicación de las estaciones en función de las zonas de vida y determinar en donde hay vacíos de información.

Proponer al Instituto Meteorológico Nacional que determine la biotemperatura media anual a partir de datos horarios de temperatura, para los sitios donde se encuentren las estaciones meteorológicas que registran dicha información.

A falta de datos horarios de temperatura, se puede aplicar la fórmula propuesta por Holdridge, considerando que los valores alcanzados son mayores a los obtenidos mediante el registro horario de temperaturas y que la ubicación de la zona de vida en el diagrama no tenga proximidad con transiciones o líneas de cambio de zona de vida. De darse esta situación, la información debe ser validada con análisis de campo.

Actualizar el mapa Ecológico de Costa Rica basado en zonas de vida considerando los factores que pueden estar afectando su vigencia, entre ellos el cambio climático.

7. Referencias

- Alpizar, E. (2014). *Zonificación agroecológica del café (Coffea arabica) y el cacao (Theobroma cacao, Lin) en Costa Rica, mediante el sistema de zonas de vida* (Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Costa Rica).
- Alpizar, E., Campos, M., Castro, G., Echeverría, J.G., Elizondo, L.H., Jiménez, Q., Rodríguez, E., Solórzano, R., Watson, V. & Vásquez, A. (1999). *Vulnerabilidad de los bosques de Costa Rica ante el cambio climático. Periodo de predicción 1999-2030*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- Alvarado, L.F., Contreras, W., Alfaro, M. & Jiménez, E. (2012). *Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional, MINAET: San José Costa Rica.
- Bolaños, R. (1994). *Guía para aprender a distinguir zonas de vida y asociaciones a nivel de campo*. San José: Centro Científico Tropical.
- Bolaños, R. & Watson, V. (1993). *Mapa Ecológico de Costa Rica. Escala 1:200.000*. San José: Centro Científico Tropical. 9 mapas.
- Brenes, A. & Saborío, V. F. (1995). *Elementos de climatología. Su aplicación didáctica a Costa Rica*. Editorial UNED. San José: Costa Rica. https://books.google.co.cr/books?id=G-Bb7ovml3AC&printsec=frontcover&source=gsb_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Castro, J. & Tencio, F. (2016). Sensación térmica en Costa Rica: Determinación de índices biometeorológicos aplicables. *Revista Tópicos meteorológicos y oceanográficos*, 15, 63-63.
- Chaverri, A. (2008). *Historial natural del Parque Nacional Chirripó, Costa Rica*. INBio, Editorial UNA, Centro Científico Tropical.
- Hartshorn, G., Hartshorn, L., Atmella, A., Gómez, L.D., Mata, A., Morales, R., Ocampo, R., Pool, D., Quesada, C., Solera, C., Solorzano, R., Stiles, G., Tosi, J.A., Umaña, A., Villalobos, C. & Wells, R. (1982). *Costa Rica. Perfil Ambiental: Estudio de campo. USAID Contrato No. 000-C-00-1004-00*. San José: Centro Científico Tropical.
- Holdridge, L.R. (1947). Determination of plant world formations from simple climatic data. *Science*, 105 (2727), 367–368.

- Holdridge, L.R. (1967). *El sistema de Zonas de Vida y aplicación al agro centroamericano*. Costa Rica: Tropical Science Center.
- Holdridge, L. (1987). *Ecología, basada en zonas de vida*. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Holdridge, L.R.; Grenke, W.; Hatheway, W.H.; Liang, T. & Tosi, J.A. (1971). *Forest Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study*. Oxford: Pergamon Press,.
- Instituto Meteorológico Nacional, Comité Regional de Recursos Hídrico. (2008). *Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica. Segunda Comunicación Nacional. Cambio Climático*. San José: MINAET/IMN/PNUD/CRRH. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/clima-variabilidad-y-cambio-climatico>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2020). Estaciones automáticas [Sitio web]. <https://www.imn.ac.cr/estaciones-automaticas>
- IMN. (2021). Datos de precipitación y temperatura [Sitio web]. <https://www.imn.ac.cr/clima-en-costa-rica>
- IPCC. (2013). *Cambio climático 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas*. Ginebra: IPCC.
- Jiménez, H. (1993). *Anatomía del sistema de ecología basada en zonas de vida de L.R Holdridge*. Costa Rica: Centro Científico Tropical.
- Organización Mundial de Meteorología. (2018). *Guía de prácticas climáticas. Edición 2018 OMM*. Ginebra: Organización Mundial de Meteorología. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10027
- Shibata, S. (1970). *Algunas Consideraciones sobre el criterio de biotemperatura de Holdridge*. Turrialba: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Centro de Enseñanza e investigación. Departamento de Ciencias Forestales.
- Tosi, J., Echeverría, J. & Watson, V. (1992). *Potencial impact of climatic change on the productive capacity of Costa Rica rain forest: a case study*. San José: CCT.
- Tosi, J. (1969). *Mapa ecológico de Costa Rica. Escala 1:750.000*. San José: Centro Científico Tropical.

8. Anexos

Anexo 1. Estaciones meteorológicas automáticas seleccionadas

| Prioridad | Código | Nombre de la estación meteorológica automática | Coordenadas CRTM05 | | Altitud (msnm) | Rango máximo Latitud | Latitud Norte | Longitud Oeste | ZonaVida |
|-----------|---------------|--|--------------------|--------------|----------------|----------------------|---------------|----------------|----------|
| | | | X | Y | | | | | |
| | | | 1 | 84125 | | | | | |
| 1 | 84187 | Fabio Baudrit | 470887 | 1106309 | 840 | 10.25 | 10.005 | 84.266 | bh-P |
| 1 | 76059 | Hacienda Taboga, Cañas | 371043 | 1144230 | 10 | 10.75 | 10.346 | 85.177 | bh-P/T |
| 1 | 69633 | Comando Los Chiles | 422253 | 1219933 | 40 | 11.25 | 11.032 | 84.712 | bh-T/s |
| 1 | 69556 | San Vicente, Ciudad Quesada | 456795 | 1136707 | 1431 | 10.75 | 10.280 | 84.394 | bmh-MB |
| 1 | 98075 | Las Brisas, Sabalito | 621979 | 981770 | 1056 | 9.25 | 8.877 | 82.891 | bmh-P |
| 1 | 100641 | Coopeagrupal, Laurel | 625457 | 936901 | 25 | 8.75 | 8.472 | 82.861 | bmh-P/T |
| 1 | 98087 | Pindeco | 572953 | 1011389 | 386 | 9.25 | 9.146 | 83.336 | bmh-P/T |
| 1 | 73145 | Earth, CC. | 544584 | 1128967 | 30 | 10.25 | 10.210 | 83.593 | bmh-P/T |
| 1 | 69537 | La Selva de Sarapiquí | 499680 | 1153460 | 37 | 10.75 | 10.431 | 84.003 | bmh-P/T |
| 1 | 69635 | Coopevega | 456218 | 1185250 | 88 | 10.75 | 10.719 | 84.400 | bmh-P/T |
| 1 | 96003 | Guápil, Barú | 513031 | 1025166 | 5 | 9.25 | 9.271 | 83.881 | bmh-T |
| 1 | 69647 | Finca Brasilia del Oro | 352759 | 1214822 | 381 | 11.25 | 10.983 | 85.347 | bmh-T/P |
| 1 | 94015 | Arunachala | 518422 | 1040489 | 1107 | 9.75 | 9.410 | 83.832 | bp-P |
| 1 | 72106 | Parque Nacional Santa Rosa | 323096 | 1198718 | 315 | 11.25 | 10.836 | 85.618 | bs-T |
| 1 | 72163 | Santa Rosa, CC. | 322916 | 1199241 | 301 | 11.25 | 10.841 | 85.619 | bs-T |
| 1 | 72149 | San José, Pinilla | 298657 | 1135084 | 29 | 10.75 | 10.260 | 85.838 | bs-T/h |
| 1 | 98091 | Chirripó | 554009 | 1045990 | 3564 | 9.75 | 9.459 | 83.508 | pp-SA |
| 2 | 88047 | La Lucha 2 | 499939 | 1076621 | 1740 | 9.75 | 9.737 | 84.001 | bh-MB |
| 2 | 72153 | Santa Elena, La Cruz | 323922 | 1207962 | 282 | 11.25 | 10.920 | 85.611 | bh-P/T |
| 2 | 84225 | UTN, Balsa Atenas | 458354 | 1098641 | 437 | 10.25 | 9.936 | 84.380 | bh-T |
| 2 | 69677 | Laguna Caño Negro | 413850 | 1204505 | 46 | 11.25 | 10.892 | 84.788 | bh-T |
| 2 | 88049 | Finca La Ligia, Parrita | 463374 | 1051878 | 6 | 9.75 | 9.513 | 84.334 | bh-T/mh |
| 2 | 84209 | Universidad para La Paz, CC. | 470088 | 1096940 | 818 | 10.25 | 9.920 | 84.273 | bh-T/P |
| 2 | 98095 | Altamira | 609088 | 998525 | 1370 | 9.25 | 9.029 | 83.008 | bmh-P/p |
| 2 | 69695 | Balsa, San Ramón | 445550 | 1125079 | 1113 | 10.25 | 10.174 | 84.497 | bmh-P/p |
| 2 | 73147 | Guápiles | 524982 | 1129169 | 262 | 10.25 | 10.212 | 83.772 | bmh-T |
| 2 | 94013 | Cerro Buenavista, CC. | 527047 | 1057092 | 3400 | 9.75 | 9.560 | 83.754 | bp-M |
| 3 | 88051 | Rodeo de Tarrazú | 497979 | 1069936 | 1647 | 9.75 | 9.676 | 84.018 | bmh-MB |
| 3 | 72181 | Finca 033, Cabuya, Cabo Blanco | 379993 | 1061015 | 14 | 9.75 | 9.594 | 85.093 | bmh-P/T |
| 3 | 73167 | Monumento Nacional Guayabo, Turrialba | 534079 | 1102380 | 1105 | 10.25 | 9.969 | 83.689 | bp-P |
| 4 | 82013 | La Trinidad Vieja, ABOPAC | 429204 | 1094169 | 94 | 10.25 | 9.895 | 84.646 | bh-P/T |

| | | | | | | | | | |
|---|---------------|---|--------|---------|------|-------|--------|--------|---------|
| 4 | 69747 | Asada San Rafael Guatuso | 410206 | 1180362 | 160 | 10.75 | 10.686 | 85.910 | bh-T/mh |
| 4 | 76067 | Asada Guayabo, Bagaces | 368613 | 1185079 | 787 | 10.75 | 10.715 | 85.201 | bh-T/P |
| 4 | 72187 | Asada San José de La Montaña | 313387 | 1128694 | 670 | 10.25 | 10.203 | 85.703 | bh-T/s |
| 4 | 84249 | Estación Experimental Alfredo Volio, Ochomogo | 504958 | 1095637 | 1592 | 10.25 | 9.909 | 83.955 | bmh-MB |
| 4 | 73173 | Centro Agronómico CATIE | 537713 | 1093752 | 610 | 10.25 | 9.891 | 83.656 | bmh-P |
| 4 | 100649 | Fundación Neotrópica, Rincón de Osa | 553459 | 961977 | 66 | 8.75 | 8.700 | 83.514 | bmh-T |
| 4 | 71023 | Hotel Mawamba, Tortuguero | 553899 | 1166739 | 8 | 10.75 | 10.551 | 83.507 | bmh-T |
| 4 | 69719 | Reserva El Ceibo del Minae | 491388 | 1141963 | 526 | 10.75 | 10.327 | 84.079 | bmh-T/P |
| 4 | 84221 | Laguna Volcán Poás | 474470 | 1126889 | 2598 | 10.25 | 10.190 | 83.232 | bp-M |
| 4 | 69749 | Parque Nacional Volcán Tenorio | 392043 | 1185057 | 680 | 10.75 | 10.716 | 84.987 | bp-P |
| 4 | 76065 | Río Bagaces, Guanacaste | 363598 | 1169765 | 175 | 10.75 | 10.576 | 85.246 | bs-T |

Anexo 2. Precipitación anual de las estaciones meteorológicas seleccionadas.

| Nivel | Estación | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | Promedio |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 1 | 69537 | 4749.3 | 4042.5 | 3533.6 | 3160.7 | 4682.6 | 5783.9 | 4074.8 | 3482.9 | 5460.1 | 4225.1 | 4319.6 |
| 1 | 69556 | 5446.3 | 4152.7 | 3952.5 | 3206.0 | 4398.4 | 4028.7 | 4226.7 | 4351.5 | 4458.6 | 3179.0 | 4140.0 |
| 1 | 69633 | 1553.5 | - | 1549.7 | 1606.1 | 1640.0 | 1433.4 | 2113.0 | 2318.8 | 2582.0 | - | 1849.6 |
| 1 | 69635 | 3007.1 | 2718.3 | 2351.2 | 2404.6 | 3366.9 | 3637.6 | 3106.0 | 2803.1 | 3364.3 | 3125.6 | 2988.5 |
| 1 | 69647 | 2312.3 | 3333.7 | 3276.1 | 2955.4 | 3003.2 | 3024.9 | 3658.1 | 3958.6 | - | - | 3190.3 |
| 1 | 72106 | 2820.2 | 2554.8 | 1258.1 | 1591.6 | 1112.9 | 627.0 | 1752.5 | 1746.3 | 1129.5 | - | 1621.4 |
| 1 | 72149 | - | - | - | 1205.0 | 1156.8 | 1056.1 | 1692.5 | 2495.0 | 1537.2 | 1668.5 | 1544.4 |
| 1 | 72163 | | | - | 1427.8 | 1075.5 | 680.7 | 1438.6 | 2198.9 | 1295.9 | 1162.5 | 1325.7 |
| 1 | 73145 | | 984.5 | 3044.7 | - | - | 5120.4 | 2982.9 | 3372.2 | 4218.5 | 4047.2 | 3797.7 |
| 1 | 76059 | | 1328.1 | 1161.8 | 1544.0 | 1114.8 | 893.6 | 1517.4 | 2235.6 | 1539.8 | 1289.8 | 1412.1 |
| 1 | 84125 | 2553.5 | 2172.0 | 1340.1 | 1541.0 | 1402.1 | 1272.5 | 1765.2 | 1855.6 | 1396.8 | 1322.1 | 1662.1 |
| 1 | 84187 | 2063.2 | 2002.3 | 1509.2 | 1672.9 | 1696.8 | 1661.8 | 1806.6 | 2198.6 | 1592.2 | 1524.4 | 1772.8 |
| 1 | 94015 | | | | | 3522.6 | 3885.2 | 4524.2 | 5387.9 | 4723.2 | 3412.2 | 4386.5 |
| 1 | 96003 | | | | 3160.5 | 4370.8 | 3238.7 | 4368.1 | 4867.6 | 4182.1 | 3816.2 | 4140.6 |
| 1 | 98075 | - | - | 2689.7 | 2388.4 | 2974.3 | 2010.7 | 2021.2 | 3601.2 | 3113.2 | 2228.4 | 2628.4 |
| 1 | 98087 | 3189.2 | - | - | 2983.8 | 3356.3 | 3019.9 | 2872.7 | 3640.4 | 3458.8 | 2716.0 | 3154.6 |
| 1 | 98091 | 2569.1 | 1902.1 | 1738.7 | 1200.8 | 1715.2 | 1364.0 | 1419.0 | 2056.9 | 1597.5 | 1399.9 | 1696.3 |
| 1 | 100641 | 3336.0 | - | 2670.1 | 3235.5 | 3518.5 | 3192.6 | 3730.1 | 3369.2 | 4142.2 | - | 3399.3 |
| 2 | 69677 | 1708.6 | 2025.4 | 1863.7 | 2022.4 | 1744.8 | - | 2487.2 | 2854.4 | 2941.2 | 2591.8 | 2248.8 |
| 2 | 69695 | 3618.4 | 2112.4 | - | 2128.0 | - | - | 2521.1 | 2327.9 | 2214.8 | 2267.4 | 2455.7 |
| 2 | 72153 | 2630.9 | - | - | - | - | 739.2 | 1725.9 | 2023.0 | 1151.4 | 1186.2 | 1576.1 |
| 2 | 73147 | | | 3904.8 | 3604.2 | 5282.1 | - | 4110.3 | 4405.8 | 4894.6 | 4174.6 | 4339.5 |
| 2 | 84209 | | 931.1 | 1540.6 | - | 1667.1 | 2054.7 | - | - | 2254.6 | 2157.6 | 1934.9 |
| 2 | 84225 | | | 299.7 | 2069.6 | - | - | 1463.1 | 2561.8 | 1692.4 | 1963.2 | 1950.0 |
| 2 | 88047 | 2654.4 | - | 1478.2 | - | 1712.3 | 1215.4 | 1713.7 | - | 1473.3 | 1637.8 | 1697.9 |
| 2 | 88049 | | | | 1700.6 | 2952.0 | 1847.4 | 3511.0 | 3822.4 | - | 2603.0 | 2947.2 |
| 2 | 94013 | | | - | - | 2225.7 | 1773.8 | - | 2991.8 | 2412.2 | 3328.0 | 2546.3 |
| 2 | 98095 | 5447.7 | 4350.7 | 3311.6 | 3433.8 | 3809.0 | 3183.0 | 4361.6 | - | 3845.2 | - | 3967.8 |
| 3 | 72181 | | | | | | 1967.6 | 2536.8 | 3747.0 | 3338.4 | 3429.6 | 3263.0 |
| 3 | 73167 | | | | | | 3628.4 | 3175.8 | 3114.4 | 4061.4 | 3123.4 | 3368.8 |
| 3 | 88051 | | | | | | 1465.0 | 2031.6 | 2697.2 | 1851.2 | 1877.0 | 2114.3 |
| Estaciones según año | | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 9 | 2 | 6 | 3 | 31 |

Anexo 3. Valor de desviación de la precipitación con respecto al año considerado representativo

| Nivel | Estación | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|-------|---------------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 69537 | 429.8 | -277.1 | -786.0 | -1158.9 | 363.1 | 1464.4 | -244.8 | -836.7 | 1140.6 | -94.5 |
| 1 | 69556 | 1306.3 | 12.7 | -187.5 | -934.0 | 258.4 | -111.3 | 86.7 | 211.5 | 318.6 | -961.0 |
| 1 | 69633 | -296.1 | - | -299.9 | -243.5 | -209.6 | -416.2 | 263.4 | 469.2 | 732.4 | - |
| 1 | 69635 | 18.6 | -270.2 | -637.3 | -583.9 | 378.4 | 649.1 | 117.5 | -185.4 | 375.8 | 137.1 |
| 1 | 69647 | -878.0 | 143.4 | 85.8 | -234.9 | -187.1 | -165.4 | 467.8 | 768.3 | - | - |
| 1 | 72106 | 1198.8 | 933.4 | -363.3 | -29.8 | -508.5 | -994.4 | 131.1 | 124.9 | -491.9 | - |
| 1 | 72149 | - | - | - | -339.4 | -387.6 | -488.3 | 148.1 | 950.6 | -7.2 | 124.1 |
| 1 | 72163 | - | - | - | 102.1 | -250.2 | -645.0 | 112.9 | 873.2 | -29.8 | -163.2 |
| 1 | 73145 | -3797.7 | -2813.2 | -753.0 | - | - | 1322.8 | -814.8 | -425.5 | 420.9 | 249.6 |
| 1 | 76059 | - | -84.0 | -250.3 | 131.9 | -297.3 | -518.5 | 105.3 | 823.5 | 127.7 | -122.3 |
| 1 | 84125 | 891.4 | 509.9 | -322.0 | -121.1 | -260.0 | -389.6 | 103.1 | 193.5 | -265.3 | -340.0 |
| 1 | 84187 | 290.4 | 229.5 | -263.6 | -99.9 | -76.0 | -111.0 | 33.8 | 425.8 | -180.6 | -248.4 |
| 1 | 94015 | - | - | - | - | -863.9 | -501.3 | 137.7 | 1001.4 | 336.7 | -974.3 |
| 1 | 96003 | - | - | - | -980.1 | 230.2 | -901.9 | 227.5 | 727.0 | 41.5 | -324.4 |
| 1 | 98075 | - | - | 61.3 | -240.0 | 345.9 | -617.7 | -607.2 | 972.8 | 484.8 | -400.0 |
| 1 | 98087 | 34.6 | - | - | -170.8 | 201.7 | -134.7 | -281.9 | 485.8 | 304.2 | -438.6 |
| 1 | 98091 | 872.8 | 205.8 | 42.4 | -495.5 | 18.9 | -332.3 | -277.3 | 360.6 | -98.8 | -296.4 |
| 1 | 100641 | -63.3 | - | -729.2 | -163.8 | 119.2 | -206.7 | 330.8 | -30.1 | 742.9 | - |
| 2 | 69677 | -540.2 | -223.4 | -385.1 | -226.4 | -504.0 | - | 238.4 | 605.6 | 692.4 | 343.0 |
| 2 | 69695 | 1162.7 | -343.3 | - | -327.7 | - | - | 65.4 | -127.8 | -240.9 | -188.3 |
| 2 | 72153 | 1054.8 | - | - | - | - | -836.9 | 149.8 | 446.9 | -424.7 | -389.9 |
| 2 | 73147 | - | - | -434.7 | -735.3 | 942.6 | - | -229.2 | 66.3 | 555.1 | -164.9 |
| 2 | 84209 | - | -1003.8 | -394.3 | - | -267.8 | 119.8 | - | - | 319.7 | 222.7 |
| 2 | 84225 | - | - | -1650.3 | 119.6 | - | - | -486.9 | 611.8 | -257.6 | 13.2 |
| 2 | 88047 | 956.5 | - | -219.7 | - | 14.4 | -482.5 | 15.8 | - | -224.6 | -60.1 |
| 2 | 88049 | - | - | - | -1246.6 | 4.8 | -1099.8 | 563.8 | 875.2 | - | -344.2 |
| 2 | 94013 | - | - | - | - | -320.6 | -772.5 | - | 445.5 | -134.1 | 781.7 |
| 2 | 98095 | 1479.9 | 382.9 | -656.2 | -534.0 | -158.8 | -784.8 | 393.8 | - | -122.6 | - |
| 3 | 72181 | - | - | - | - | - | -1295.4 | -726.2 | 484.1 | 75.4 | 166.7 |
| 3 | 73167 | - | - | - | - | - | 259.7 | -192.9 | -254.4 | 692.7 | -245.3 |
| 3 | 88051 | - | - | - | - | - | -649.3 | -82.7 | 583.0 | -263.1 | -237.3 |

El color celeste corresponde al año representativo cercano al promedio; el color naranja corresponde a datos incompletos por inicio de funcionamiento de la estación meteorológica.

Anexo 4. Zona de vida en estaciones meteorológicas seleccionadas según valores de biotemperatura, mediante cuatro métodos.

| Código | Estación | Latitud N | Precipitación (mm) | BioT 24 | | BioT Min-Max | | BioT 0-30 | | BioT 0-31 | | Mapa Bolaños Watson |
|--------|---------------------------------------|-----------|--------------------|---------|--------------|--------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|---------------------|
| | | | | °C | Zona de vida | °C | Zona de vida | °C | Zona de vida | °C | Zona de vida | Zona de vida |
| 69677 | Laguna Caño Negro | 10.892 | 2248.8 | 24.53 | bh-T | 24.16 | bh-T | 21.9 | bh-T/P | 23.26 | bh-T/P | bh-T |
| 69647 | Finca Brasilia del Oro | 10.983 | 3190.3 | 23.54 | bmh-P | 24.06 | bmh-P/T | 23.1 | bmh-P | 23.44 | bmh-P | bmh-T/P |
| 98075 | Las Brisas, Sabalito | 8.877 | 2628.4 | 20.69 | bmh-P | 21.45 | bmh-P | 20.6 | bmh-P | 20.63 | bmh-P | bmh-P |
| 69633 | Comando Los Chiles | 11.032 | 1849.6 | 24.58 | bh-P/T | 24.34 | bh-P/T | 22.1 | bh-P | 23.49 | bh-P | bh-T/s |
| 88049 | Finca La Ligia, Parrita | 9.513 | 2947.2 | 24.61 | bmh-P/T | 24.58 | bmh-P/T | 24.3 | bmh-P/T | 25.81 | bh-T | bh-T/mh |
| 98091 | Chirripó | 9.459 | 1696.3 | 8.12 | bmh-M | 9.47 | bmh-M | 8.1 | bmh-M | 8.12 | bmh-M | pp-SA |
| 84209 | Universidad para La Paz, CC. | 9.92 | 1934.9 | 23.49 | bh-P | 24.07 | bh-P/T | 23.4 | bh-P | 23.49 | bh-P | bh-T/P |
| 69695 | Balsa, San Ramón | 10.174 | 2455.7 | 19.07 | bmh-P | 19.64 | bmh-P | 19.1 | bmh-P | 19.08 | bmh-P | bmh-P/p |
| 72153 | Santa Elena, La Cruz | 10.92 | 1576.1 | 24.05 | bh-P/T | 23.75 | bh-P | 21.2 | bh-P | 22.80 | bh-P | bh-P/T |
| 73167 | Monumento Nacional Guayabo, Turrialba | 9.969 | 3368.8 | 19.53 | bmh-P | 20.19 | bmh-P | 19.5 | bmh-P | 19.53 | bmh-P | bp-P |
| 76059 | Hacienda Taboga, Cañas | 10.346 | 1412.1 | 22.88 | bh-P | 21.92 | bh-P | 19.3 | bh-P | 21.29 | bh-P | bh-P/T |
| 84187 | Fabio Baudrit | 10.005 | 1772.8 | 22.87 | bh-P | 23.89 | bh-P | 21.6 | bh-P | 22.32 | bh-P | bh-P |
| 88047 | La Lucha 2 | 9.737 | 1697.9 | 16.66 | bh-MB | 17.85 | bh-P | 16.7 | bh-MB | 16.67 | bh-MB | bh-MB |
| 88051 | Rodeo de Tarrazú | 9.676 | 2114.3 | 17.83 | bmh-P/h | 18.34 | bmh-P | 17.8 | bmh-P/h | 17.82 | bmh-P/h | bmh-MB |
| 94015 | Arunachala | 9.41 | 4386.5 | 20.5 | bmh-P/p | 21 | bmh-P/p | 20.5 | bmh-P/p | 20.49 | bmh-P/p | bp-P |
| 73147 | Guápiles | 10.212 | 4339.5 | 23.98 | bmh-T/P | 24.37 | bmh-T | 23.1 | bmh-T/P | 23.98 | bmh-T/P | bmh-T |
| 100641 | Coopeagrupal, Laurel | 8.472 | 3399.3 | 24.91 | bmh-P/T | 24.6 | bmh-P/T | 20.7 | bmh-P | 22.48 | bmh-P | bmh-P/T |
| 72163 | Santa Rosa, CC. | 10.841 | 1325.7 | 24.5 | bs-T | 24.54 | bs-T | 23.1 | bh-P | 24.003 | bs-T | bs-T |
| 72181 | Finca 033, Cabuya, Cabo Blanco | 9.594 | 3263.0 | 24.81 | bmh-P/T | 24.75 | bmh-P/T | 22.2 | bmh-P | 24.81 | bmh-P/T | bmh-P/T |
| 94013 | Cerro Buenavista, CC. | 9.56 | 2546.3 | 7.41 | bp-M | 8.08 | bp-M | 7.4 | bp-M | 7.44 | bp-M | bp-M |
| 96003 | Guápil, Barú | 9.271 | 4140.6 | 24.74 | bmh-T | 24.51 | bmh-T | 21.6 | bmh-P/p | 24.43 | bmh-T | bmh-T |
| 98095 | Altamira | 9.029 | 3967.8 | 18.07 | bmh-P | 18.47 | bmh-P | 18.1 | bmh-P | 18.06 | bmh-P | bmh-P/p |
| 73145 | Earth, CC. | 10.21 | 3797.7 | 24.63 | bmh-P/T | 24.53 | bmh-P/T | 22.4 | bmh-P | 24.06 | bmh-P/T | bmh-P/T |
| 84225 | UTN, Balsa Atenas | 9.936 | 1950.0 | 24.25 | bh-P/T | 24.22 | bh-P/T | 20.9 | bh-P | 22.08 | bh-P | bh-T |

Anexo 5. Código de las zonas de vida

| Código | Zona de vida | Piso altitudinal |
|-------------------|--|-------------------------|
| bs-T | Bosque seco Tropical | Basal |
| bh-T | Bosque húmedo Tropical | Basal |
| bmh-T | Bosque muy húmedo Tropical | Basal |
| bh-P | Bosque húmedo Premontano | Premontano |
| bmh-P | Bosque muy húmedo Premontano | Premontano |
| bp-P | Bosque pluvial Premontano | Premontano |
| bh-MB | Bosque húmedo Montano Bajo | Montano Bajo |
| bmh-MB | Bosque muy húmedo Montano Bajo | Montano Bajo |
| bp-MB * | Bosque pluvial Montano Bajo | Montano Bajo |
| bhm-M * | Bosque muy húmedo Montano | Montano |
| bp-M | Bosque pluvial Montano | Montano |
| pp-SA | Páramo pluvial Sub Alpino | Sub Alpino |
| Transición | | |
| bh-P/T | Bosque húmedo Premontano transición a basal | Premontano a basal |
| bh-T/mh | Bosque húmedo Tropical transición a muy húmedo | Húmedo a muy húmedo |
| bh-T/P | Bosque húmedo Tropical transición a Premontano | Basal a Premontano |
| bh-T/s | Bosque húmedo Tropical transición a seco | Húmedo a seco |
| bmh-P/p | Bosque muy húmedo Premontano transición a pluvial | Muy húmedo a pluvial |
| bmh-P/T | Bosque muy húmedo Premontano transición a basal | Premontano a basal |
| bmh-T/P | Bosque muy húmedo Tropical transición a Premontano | Basal a Premontano |
| bs-T/h | Bosque seco Tropical transición a húmedo | Seco a húmedo |