

## Cambios en la temperatura ambiental de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, San Ramón, Costa Rica, en el período 2010-2019

Changes in the environmental temperature of the Alberto Manuel Brenes Biological Reserve, San Ramón, Costa Rica, in the period 2010-2019

Cartín Núñez Melvin<sup>1</sup>

Araya Alpizar Carlomagno<sup>2</sup>

Fecha de recepción: 4-11-2021

Fecha de aceptación: 3-08-2021

### Resumen

El cambio climático es considerado el mayor desafío que enfrenta la humanidad. Durante los últimos 30 años cada década ha sido más caliente que la anterior. Este artículo es un análisis estadístico de la temperatura ambiental por medio de modelos lineales simples para conocer la tendencia promedio entre los años 2010 y 2019 en la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes (Costa Rica). Para este estudio se usaron datos de una estación meteorológica ubicada en la reserva. La temperatura promedio ha variado en forma significativa entre los años 2010 y 2019, en la temporada seca la temperatura ha aumentado, pero en la temporada lluviosa ha disminuido. Se considera un modelo de crecimiento aritmético entre los años 2010-2019, se estima que la temperatura media de la REBAMB para la temporada seca sea 21.1°C para el 2030 y 22.42°C para el 2050. Por el contrario, suponiendo un modelo de regresión lineal simple, para la temporada lluviosa se espera que la temperatura sea 18.051 °C para el 2030 y 15.831 °C para el 2050. Las consecuencias de estos cambios sobre la biodiversidad de la Reserva Alberto Manuel Brenes aún no se conocen.

**Palabras claves:** cambio climático, áreas protegidas, biodiversidad, conservación.

### Abstract

Climate change is considered the greatest challenge facing humanity today. For the past 30 years, each decade has been hotter than the previous one. This article presents a statistical analysis of environmental temperature using simple linear models to investigate the trends of average temperature between 2010 and 2019 at the Alberto Manuel Brenes Biological Reserve (REBAMB), Costa Rica. Data was collected using a meteorological station located at the REBAMB. The average temperature has varied significantly between 2010 and 2019, temperatures have increased during the dry seasons and decreased during the rainy seasons. Projections made using an arithmetic growth model for the 2010-2019 period, estimate average temperatures of 21.11 °C and 22.42 °C for the dry seasons of 2030 and 2050, respectively. On the other hand, if a simple linear regression model is used to make the same projections for the wet seasons, the resulting average temperatures will be 18.051 °C and 15.831 °C. It is not yet known how these temperature changes will affect the biodiversity of the REBAMB.

**Keywords:** climate change, protected areas, biodiversity, conservation.

<sup>1</sup> Magíster en Desarrollo Sostenible, Profesor Interino de Biología, Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente, Costa Rica. Correo electrónico: melvin.cartin@ucr.ac.cr. <https://orcid.org/0000-0002-2724-7498>

<sup>2</sup> Doctor en Estadística Multivariada, Profesor Catedrático de Estadística, Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente, Costa Rica. Correo electrónico: carlo.araya@ucr.ac.cr

## I. Introducción.

En los últimos años, la preocupación ante el cambio climático ha aumentado de manera importante, hasta el punto de ser considerado el mayor desafío que enfrenta la humanidad. Según el quinto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC), en los pasados 130 años el mundo se ha calentado aproximadamente 0,85 °C (IPCC, 2014). Durante los últimos 30 años, cada década ha sido más cálida que cualquier las precedentes desde 1850, y el año 2019 ha sido el segundo más caliente después de 2016 (Naciones Unidas, 2020). Solamente el 3 % de la superficie continental ha experimentado un enfriamiento significativo (Sun *et al.*, 2014).

De seguir la tendencia, se cree que para finales de siglo la temperatura del planeta haya experimentado un aumento de 3 a 5 °C (Naciones Unidas, 2020). Es de esperar que muchos ecosistemas, sino la mayoría, estén bajo condiciones de estrés debido a que este aumento de temperatura está ocurriendo a una velocidad mucho mayor a la del pasado (Tanner-McAllister *et al.*, 2017). Sabemos que cada especie presenta una curva de actividad biológica en función de la temperatura (Alcázar, 2012), por lo que muchas especies, probablemente, se vean afectadas.

Asimismo, pocas áreas protegidas cuentan con su propia estación meteorológica; en Costa Rica, la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes (REBAMB) es una de ellas, gracias a un convenio entre la administración del área protegida y el Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica (Salazar y Vargas, 2017). Aprovechando esta circunstancia, el presente trabajo tuvo como objetivo hacer un análisis estadístico de las temperaturas promedios diarias de la REBAMB durante el período 2010-2019, a partir de los datos *in situ* de la estación meteorológica. Esto para demostrar cambios significativos que durante la última década ha tenido la temperatura promedio mensual, anual y por temporada del año, en dicho lugar.

## II. Materiales y métodos

La Reserva Alberto Manuel Brenes (REBAMB) tiene una superficie de 7800 hectáreas y se ubica, mayoritariamente, en el cantón de San Ramón, provincia de Alajuela, Costa Rica (**figura 1**). Los datos recolectados provienen de una estación meteorológica automática, marca Davis, estilo Vantage Pro2, ubicada en las coordenadas N10°13'12.0", O84°35'13.3", a una de altitud 967 msnm, 1 km al este de la Estación Biológica (Salazar y Vargas, 2017). A su vez, los datos corresponden al período comprendido entre enero de 2010 y octubre de 2019, en promedio más de 20 datos por día. En total, son 163953 mediciones (o tamaño de la muestra).

De esta manera, la estación meteorológica proporciona datos diarios de temperatura máxima, temperatura media, temperatura mínima (°C); humedad relativa (%); precipitación (mm); velocidad del viento (m/s); velocidad máxima del viento (m/s); radiación total (kJ/m<sup>2</sup>) y presión atmosférica (hPa). De todas estas variables climáticas, seleccionamos únicamente los datos de temperatura a diferentes horas de cada día. Se creó un archivo en una hoja de cálculo y posteriormente los datos fueron procesados con el paquete estadístico IBM SPSS Statistics ®.

Para el análisis de la tendencia y variabilidad de la temperatura en la REBAMB, es oportuno considerar que Costa Rica no tiene cuatro estaciones definidas como primavera, verano, otoño e invierno. Las estaciones están divididas en temporada seca y lluviosa; la temporada seca está comprendida entre los meses de diciembre a abril y la temporada lluviosa desde mayo a noviembre, aproximadamente.

### 2.1 Análisis de varianza

Para determinar si la temperatura ha variado significativamente a través de los años y de los meses según la temporada, se aplicó análisis de varianza. El análisis de la varianza de una vía (ANDEVA) es una metodología para analizar la variación entre muestras (o tratamientos) y la variación al interior de las mismas a través de las varianzas determinadas. Asimismo,

es llamado de una vía porque analiza una variable independiente (o predictora), por ejemplo, mes o estación. Como tal, es un método estadístico útil para comparar dos o más medias poblacionales.

En efecto, la hipótesis nula de la que parte el ANDEVA es que la media aritmética de la variable estudiada (en esta investigación, temperatura) es la misma en los diferentes tratamientos,  $H_0 \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$  (meses y años), en contraposición a la hipótesis alternativa de que al menos una media difiere de forma significativa.

De esta manera, el ANDEVA requiere un conjunto de supuestos teóricos. Primero, las muestras aleatorias para cada tratamiento son seleccionadas al azar, por lo tanto, cada unidad experimental tiene la misma probabilidad de ser seleccionada para formar parte de la muestra y estas son independientes. Segundo, la variable de análisis tiene una distribución de probabilidad normal en todos los tratamientos. Tercero, se da homogeneidad en las varianzas de todos los tratamientos, esto implica que la variable de interés en el estudio tiene niveles similares de variabilidad en cada una de los tratamientos.

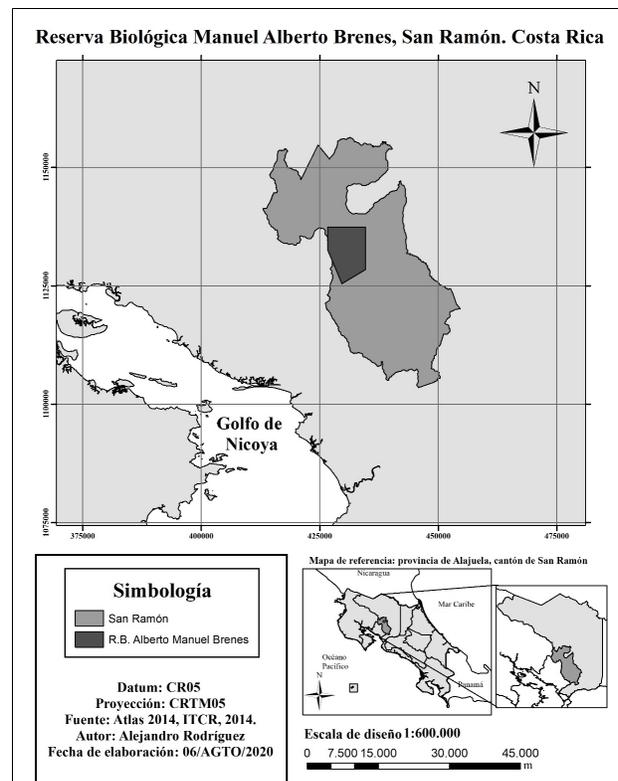
Por lo tanto, el análisis de la varianza se basa en comparar la varianza experimental teniendo en cuenta que por azar es posible encontrar un cierto nivel de variabilidad dentro de los tratamientos, si la variabilidad de error supera de forma significativa a la variabilidad dentro de los tratamientos, podemos afirmar que los efectos de la variable independiente son importantes. En consecuencia, hay diferencias significativas entre los tratamientos. El estadístico de contraste es, por tanto, la razón que se distribuye según  $F$  con los grados de libertad (gl) correspondientes al numerador (tratamientos) y al denominador (error).

$$F = \frac{\text{Cuadrados medios de tratamientos (CMtrat)}}{\text{Cuadrados medios de error (CMerror)}}$$

De tal forma, el valor obtenido para  $F$  puede ser comparado con el valor crítico que delimita la región de rechazo asociada al error máximo  $\alpha$ . Por ello, al tener en cuenta que se trata de un contraste unilateral derecho, cualquier valor observado de  $F$  que supere al valor crítico

permite rechazar la hipótesis nula y afirmar con un nivel de significación que existen diferencias significativas entre las medias de los  $k$  grupos.

**Figura 1. Ubicación geográfica de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, San Ramón, Costa Rica**



### III. Resultados

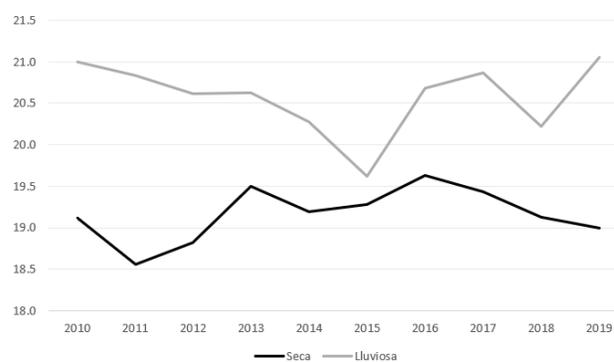
La temperatura promedio anual ha tenido cambios estadísticamente significativos entre 2010 y 2019 ( $F=212.9$   $p<0,001$ ). Durante el 2010 la temperatura media fue de  $19,8^{\circ}\text{C}$  y, aunque tendió a decrecer en los años 2014 y 2018, durante el año 2019 alcanzó el valor máximo de  $20,39^{\circ}\text{C}$  (Tabla 1). La variabilidad de la temperatura medida por la desviación estándar resultó mayor durante el 2011 al 2012. Entre el año 2010 y el 2019, la variación relativa de la temperatura fue de 2,97 %, que equivale en términos absolutos a 0,5885 grados. El año 2011 presentó la mayor desviación estándar de la temperatura del periodo de estudio con  $2,46^{\circ}\text{C}$  y la menor variabilidad el 2014 con una desviación estándar de  $1,76^{\circ}\text{C}$ .

**Tabla 1. Temperaturas medias anuales (en °C) en la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, San Ramón, Costa Rica, período 2010-2019**

Año	N.	Media	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza del promedio al 95 %		Mínimo	Máximo
					Límite inferior.	Límite superior.		
2010	14283	19.80	2.30	0.02	19.77	19.84	12.73	29.40
2011	16478	19.78	2.46	0.02	19.75	19.83	11.45	30.53
2012	16897	19.74	2.37	0.02	19.70	19.78	10.25	33.20
2013	16815	20.05	2.11	0.02	20.01	20.08	12.85	31.90
2014	15670	19.66	1.76	0.01	19.69	13.80	13.80	28.23
2015	17515	19.74	1.88	0.01	19.77	13.70	13.70	31.90
2016	17566	20.16	1.94	0.01	20.13	20.19	13.30	29.65
2017	17520	20.15	2.10	0.02	20.12	20.18	14.10	31.80
2018	17520	19.76	1.89	0.01	19.73	19.79	13.58	28.40
2019	13689	20.39	1.92	0.02	20.36	20.42	15.03	28.53
Total	163953	19.92	2.10	0.01	19.91	19.93	10.25	33.20

### 3.1 Época seca

Por su parte, la tendencia anual de la temperatura en la temporada seca durante el período de estudio ha sido creciente, con una media aritmética de  $19.17^{\circ}\text{C}$ , a pesar de una leve disminución en el 2014 y 2015 (**figura 2**). Durante los meses de dicha temporada, las temperaturas promedio han variado significativamente, esto implica que, comparando cada uno de los meses desde diciembre hasta abril, el promedio aritmético de la temperatura en cada mes ha variado en forma significativa (**Tabla 2**) y con una tendencia al alza. Por ejemplo, desde el año 2011, los meses de diciembre tienen una tendencia creciente: para el 2011 la temperatura media fue  $16.91^{\circ}\text{C}$ , en tanto, para el 2018 fue de  $19.04^{\circ}\text{C}$  (**Tabla 3**).



**Figura 2. Temperatura media según temporada en la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, San Ramón, Costa Rica, 2010-2019**

De esta forma, el comportamiento inverso se ha presentado en los meses de febrero, puesto que, la temperatura media decreció desde el 2010. Para el 2010 la media aritmética de la temperatura fue de 20.2°C y para el 2019 disminuyó a una media de 19.4°C. Por lo tanto, los meses de abril tienen una tendencia creciente en la temperatura media, ha crecido desde 20.1 (en 2011) hasta 20.8 °C (en 2019); para el 2011 y el 2016 abril presentó las

mayores dispersiones, debido a que la desviación estándar fue de 2, 5 y 2, 2 grados, respectivamente (**figura 3**).

Al considerar un modelo de crecimiento aritmético entre los años 2010-2019, se estima que la temperatura media de la REBAMB para la temporada seca sea 21.11°C para el 2030 y 22.42°C para el 2050, con la posibilidad de una temperatura promedio de 25.69°C para el 2100.

**Tabla 2. Resultado del análisis de varianza para los meses de la temporada seca, Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, San Ramón, Costa Rica, período 2010-2019**

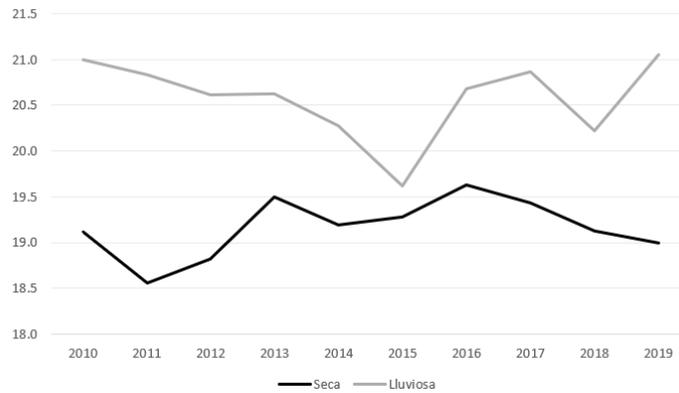
		ANDEVA				
Mes		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Significancia
Enero	Entre grupos	6060.705	9	674.412	224.73	0.000
	Dentro de grupos	48318.984	16101	3.001		
	Total	54388.689	16110			
Febrero	Entre grupos	4957.567	9	550.841	171.257	0.000
	Dentro de grupos	45979.237	14295	3.216		
	Total	50936.804	14304			
Marzo	Entre grupos	1855.673	8	231.959	55.911	0.000
	Dentro de grupos	55705.228	13427	4.149		
	Total	57560.901	13435			
Abril	Entre grupos	1815.629	8	226.954	46.182	0.000
	Dentro de grupos	59129.273	12032	4.914		
	Total	60944.902	12040			
Noviembre	Entre grupos	2974.736	8	371.842	172.951	0.000
	Dentro de grupos	25629.959	11921	2.150		
	Total	28604.695	11929			
Diciembre	Entre grupos	17040.098	8	2130.012	942.096	0.000
	Dentro de grupos	29710.855	13141	2.261		
	Total	46750.954	13149			

**tabla 3. Temperatura media en temporada seca por mes y año, Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, San Ramón, Costa Rica, 2010-2019.**

Mes	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Noviembre	18.98	19.16	18.41	19.85	19.23	18.44	19.56	19.52	19.82	<sup>a</sup>
Diciembre	16.91	16.19	19.20	19.19	18.35	20.24	19.11	18.59	19.04	<sup>a</sup>
Enero	19.09	18.35	16.99	19.03	18.62	18.23	19.05	18.72	17.90	18.70
Febrero	20.23	18.64	18.77	19.06	18.85	18.24	18.69	19.35	18.53	18.41
Marzo	19.19	18.87	19.15	19.34	19.79	19.95	20.06	19.52	19.35	19.06
Abril	20.33	20.13	20.40	20.52	20.32	20.22	21.29	20.89	20.13	20.81

<sup>a</sup> Datos no disponibles

**Figura 3. Temperatura media en temporada seca en la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, San Ramón, Costa Rica, 2010-2019**

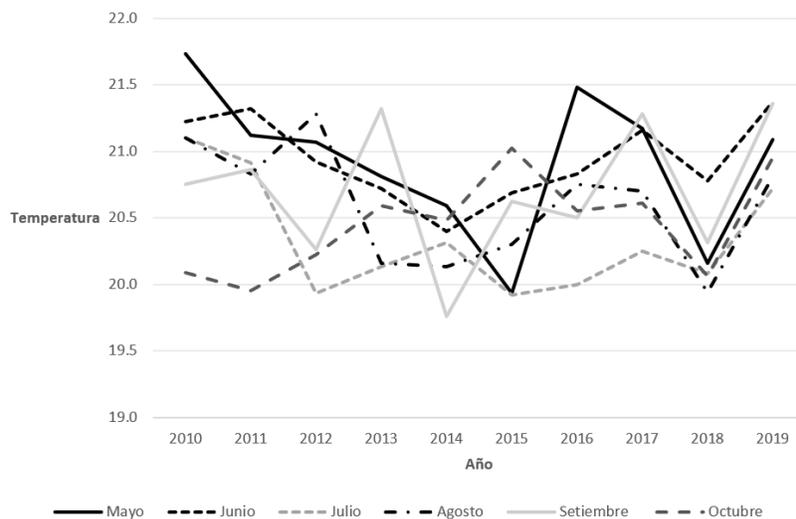


### 3.2 Época lluviosa

En cuanto a la temporada de lluvias, la temperatura mostró una media aritmética de 20.65 °C. En esta, la temperatura diaria mínima fue de 14.23°C en el 2015 y la máxima 33,2 grados en el 2010. Por lo tanto, se puede afirmar que la verdadera media aritmética de la temperatura estuvo entre 20.64°C y 20.67°C a un nivel de confianza del 95%.

Para esta temporada, también se han presentado cambios significativos en los promedios de la temperatura para todos los meses, especialmente para junio, julio, agosto y octubre (Figura 4, Tabla 4). En general, se observa que la temperatura desde el 2010 al 2014 experimentó un decrecimiento, pero a partir de 2015 tiene tendencia a la alza.

**Figura 4. Temperatura media en temporada lluviosa, Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, San Ramón, Costa Rica, 2010-2019**



Por consiguiente, se determinó que hay diferencias altamente significativas en el promedio de la temperatura entre cada mes de la temporada de lluvias ( **Tabla 4**). Los resultados muestran que las diferencias de las temperaturas promedio resultan relevantes a un nivel de confianza del 99%. Además, la disminución de la

temperatura media ha sido mayor para el mes de julio, tal que pasó de 21.10°C para el 2010 hasta 20.08°C y 20.83°C en el 2018 y 2019, respectivamente. Igualmente, resultó el comportamiento del promedio de la temperatura mensual para el mes de agosto, puesto que pasó de 21.10°C durante el 2010 a 20.83°C en el 2019 ( **Tabla 5**).

**Tabla 4. Resultado del análisis de varianza para los meses de la temporada lluviosa, Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, San Ramón, Costa Rica, período 2010-2019**

Mes		Suma de cuadrados	ANDEVA			
			Gl	Media cuadrática	F	Significancia
Mayo	Entre grupos	2520.741	9	280.082	66.354	0.000
	Dentro de grupos	56030.311	13274	4.221		
	Total	58551.053	13283			
Junio	Entre grupos	1002.274	9	111.364	35.128	0.000
	Dentro de grupos	42147.792	13295	3.170		
	Total	43150.066	13304			
Julio	Entre grupos	2397.166	9	266.352	127.527	0.000
	Dentro de grupos	30278.361	14497	2.089		
	Total	32675.527	14506			
Agosto	Entre grupos	2938.667	9	326.519	102.670	0.000
	Dentro de grupos	47436.906	14916	3.180		
	Total	50375.573	14925			
Setiembre	Entre grupos	2666.804	9	296.312	73.007	0.000
	Dentro de grupos	5615.373	13835	4.059		
	Total	58818.178	13844			
Octubre	Entre grupos	1489.202	9	165.467	46.988	0.000
	Dentro de grupos	46142.103	13103	3.521		
	Total	47631.305	13112			

Al respecto, los meses de octubre de cada año durante el periodo de estudio tienen, más bien, una tendencia creciente, debido a que la temperatura media del 2010 fue de 20.09°C, en tanto, para el 2019 es de 20.80°C, esto implica un aumento de 0.71°C. Por lo tanto, si se asume un modelo lineal entre los años de la temperatura media, se espera que la temperatura de la temporada lluviosa

tienda a decrecer en 0.111°C a través de los años. Se puede estimar, por medio del modelo de regresión lineal, que la temperatura media de la reserva sea 18.051°C para el 2030 y 15.831°C para el 2050.

**Tabla 5. Temperatura media en temporada lluviosa por mes y año, Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, San Ramón, Costa Rica, 2010-2019**

Mes	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Mayo	21.73	21.12	21.07	20.80	20.59	19.93	21.48	21.17	20.16	21.16
Junio	21.22	21.32	20.92	20.72	20.40	20.69	20.83	21.16	20.78	21.19
Julio	21.10	20.91	19.93	20.13	20.31	19.92	20.00	20.25	20.08	20.83
Agosto	21.10	20.83	21.28	20.16	20.13	20.30	20.75	20.70	19.94	21.11
Setiembre	20.75	20.86	20.26	21.32	19.76	20.63	20.50	21.28	20.31	21.10
Octubre	20.09	19.95	20.22	20.59	20.48	21.02	20.55	20.61	20.07	20.80

#### IV. Discusión.

Por consiguiente, aunque la temperatura media anual en la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes muestra una tendencia creciente, como en el resto del planeta, existen diferencias entre la temporada seca y la temporada lluviosa. En cuanto a la temporada seca (conocida como verano en Costa Rica), la temperatura promedio del período de estudio mostró una tendencia creciente. En el caso de la temporada lluviosa, los datos parecen indicar más bien una disminución en la temperatura, particularmente a mediados de año. Esto último, probablemente esté relacionado con una mayor intensidad de los vientos alisios, fenómeno que se ha descrito en años recientes (England *et al.*, 2014) y que ha generado temperaturas menores a las esperadas como consecuencia del cambio climático.

De acuerdo con el sistema de clasificación de Holdridge (1967), la REBAMB presenta dos zonas de vida: bosque pluvial premontano (la mayor parte del área) y bosque pluvial montano bajo, así como dos zonas de transición: bosque tropical muy húmedo transición a premontano y bosque muy húmedo premontano transición a pluvial (Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC], 2008). A su vez, estas zonas de vida (montano bajo y premontano) se encuentran dentro de las más amenazadas según los modelos hechos bajo diferentes escenarios (e. g. Enquist, 2002).

En particular, el bosque tropical montano es el que probablemente se vea más afectado por los cambios en la temperatura y la precipitación (Karmalkar *et al.*,

2008), como consecuencia del cambio climático. En el caso del bosque premontano, algunos modelos predicen la aparición de una nueva zona de vida: el “bosque seco premontano” (Jiménez, 2019), aunque no necesariamente en el área geográfica de la REBAMB.

Por lo tanto, estos cambios de la temperatura media en la REBAMB son un síntoma del cambio climático y como consecuencia, algunas especies podrían verse afectadas. Asimismo, diferentes estudios sugieren que con el aumento de temperatura la productividad primaria de los bosques tropicales disminuye; por ejemplo, en un estudio realizado en la estación biológica La Selva de Sarapiquí (Costa Rica), Clark y colaboradores (2010, 2013), encontraron que los árboles crecen significativamente menos en aquellos años con noches más cálidas y en aquellos años con temporadas secas más severas. Las posibles consecuencias a futuro, si sigue el aumento de temperatura, serían una reducción significativa en el crecimiento de los árboles y una mayor tasa de mortalidad de algunas especies (Clark, *et al.*, 2010, 2013, Russell y Parton Jr., 2020). Además, una reacción natural de las poblaciones de plantas y animales ante un cambio de clima es un desplazamiento gradual, esto coincide con el movimiento de las zonas climáticas que presentan condiciones apropiadas para su supervivencia (Trouwborst, 2011). Sin embargo, por la velocidad en la que se presentan estos cambios, es difícil esperar que la mayoría de poblaciones vegetales logren este desplazamiento.

Además de cambiar su distribución, hay otras formas en las que una especie puede responder ante el cambio climático: i) aclimatarse a través de su plasticidad

fenotípica, ii) adaptarse por medio de cambios genéticos, o simplemente iii) extinguirse (Feeley *et al.*, 2012). Cabe mencionar que, la REBAMB protege una gran riqueza biológica, pero se carece de datos suficientes en la mayoría de los grupos biológicos para establecer cuál es la forma en la que están respondiendo hasta el día de hoy.

En relación con lo anterior, en el caso de los anfibios, se sabe que el aumento de la temperatura y cambios en los patrones de lluvias, podrían estar alterando de forma distinta a las especies, algunas se vuelven más raras y otras parecen no sufrir grandes cambios (e. g. Ryan *et al.*, 2014). Según los autores Morera y Sánchez (2015), indican que para la REBAMB, 13 especies de anfibios previamente reportados por Bolaños y Beck (1996) se han dejado de observar, mientras que solamente 6 nuevas especies enriquecen el registro. Por su parte, los reptiles muestran un comportamiento similar al de anfibios, con especies que han dejado de observarse (9) y otras que han sido nuevos reportes (19).

Ante ello, cabe preguntarse si estos nuevos reportes son simplemente reflejo de la ausencia de estudios previos. En el caso de las aves, se sabe que especies de tierras bajas han empezado a subir a mayores altitudes y las de zonas altas experimentan cambios en su abundancia (SINAC, 2009), pero no se cuenta con datos propios de la REBAMB. Sobre la riqueza de especies, Guido y Rodríguez (2013) indican que 64 especies de aves, de 225 reportadas a inicios de la década de los 90 por Stiles (1991), se han dejado de observar. En cuanto a mamíferos, en años recientes, se han empezado a dar esfuerzos para conocer el estado poblacional de algunas especies, pero son apenas datos de línea base (Cartín y Carrillo, 2017).

En general, es de esperar que las poblaciones de los diferentes organismos que habitan en áreas protegidas, como la REBAMB, se vean menos afectadas que las que habitan fuera de ellas (Gaüzere *et al.*, 2016); sin embargo, quedan muchas preguntas cuya respuesta no conocemos, por ejemplo: ¿qué ha pasado con las poblaciones de las especies que ya no se observan en la REBAMB?, ¿son los nuevos registros evidencia de que la REBAMB facilita la colonización de algunas especies o simplemente no se habían notado con anterioridad?, ¿qué papel ha

desempeñado el cambio climático en la composición actual de especies dentro de la REBAMB? De ahí la importancia de promover la investigación y monitoreo de los diversos grupos biológicos, de manera constante en dicha área protegida así como en sus alrededores para poder establecer puntos de comparación en el futuro.

## V. Conclusiones.

En conclusión, la temperatura promedio ha cambiado significativamente entre 2010 y 2019, tanto en la temporada seca como lluviosa. En cuanto a la temporada lluviosa, tiende a disminuir, mientras que en la temporada seca a aumentar significativamente. Por ello, al considerar un modelo de crecimiento aritmético entre los años 2010-2019, se estima que la temperatura media de la REBAMB en la temporada seca sea 21.11° C para el 2030 y 22.42° C para el 2050. Por el contrario, si se supone un modelo de regresión lineal simple, se espera que la temperatura media en la temporada lluviosa sea 18.051° C para el 2030 y 15.831° C para el 2050. Asimismo, las consecuencias de estos cambios en la biodiversidad de la Reserva Alberto Manuel Brenes aún no se conocen, aunque, en diferentes taxa, muchas especies han dejado de observarse y otras más bien han sido reportadas por primera vez dentro del área protegida.

## VI. Agradecimientos

A la administración de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes por facilitar los datos de la estación meteorológica. A Alejandro Rodríguez por la elaboración del mapa del área de estudio.

## VII. Bibliografía

- Alcázar, F.J. (2012). *Temperatura, luz, atmósfera, viento*. Universidad de Murcia, España.
- Bolaños, F. y J. Ehmcke. (1996). Anfibios y reptiles de la Reserva Biológica San Ramón, Costa Rica. *Pensamiento Actual*, 2(2), 107-112.
- Cartín, M. y E. Carrillo. (2017). Estado poblacional de mamíferos terrestres en dos áreas protegidas de la región central occidental de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 65(2), 493-503. doi:10.15517/rbt.v65i2.24418
- Clark, D.B.; Clark, D.A.; Oberbauer, S.F. (2010). Annual wood production in a tropical rain forest in NE Costa Rica linked to climatic variation but not to increasing CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology*, 16, 747-759. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02004.x
- Clark, D.A., Clark, D.B. y S.F. Oberbauer. (2013). Field-quantified responses of tropical rainforest aboveground productivity to increasing CO<sub>2</sub> and climatic stress, 1997-2009. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 118, 783-794.
- England, M.H., McGregor, S., Spence, P., Meehl, G., Timmermann, A., Cai, W., Gupta, A., McPhaden, M., Purich, A. y A. Santoso. (2014). Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus. *Nature Climate Change*, 4 (3), 222-27. <https://doi.org/10.1038/nclimate2106>.
- Enquist, C. (2002). Predicted regional impacts of climate change on the geographical distribution and diversity of tropical forests in Costa Rica. *Journal of Biogeography*, 29(4), 519-534.
- Feeley, K., Rehm, E. y B. Machovina. (2012). The responses of tropical forest species to global climate change: acclimate, adapt, migrate or go extinct? *Frontiers of Biogeography*, 4(2), 69-84.
- Gaüzere, P., Jiguet, F. y V. Devictor. (2016). Can protected areas mitigate the impacts of climate change on birds species and communities? *Diversity and Distributions*, 22 (6), 625-637.
- Guido, I. y C. Rodríguez. (2013). Lista actualizada de las especies de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes y su área de amortiguamiento. *Brenesia*, 80, 40-58.
- Holdridge, L. (1967). *Life zone ecology*. Tropical Science Center.
- Jiménez, M. (2019). *Impacto climático en las zonas de vida de Holdridge en Costa Rica para el período 2061-2080*. [Tesis de Licenciatura]. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Karmalkar, A. V., Bradley, R. S. y H. F. Diaz (2008), Climate change scenario for Costa Rican montane forests. *Geophysical Research Letters*, 35, L11702, doi:10.1029/2008GL033940.
- Morera, B. y R. Sánchez. (2015). Anfibios y reptiles de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes. *Pensamiento Actual*, 15(25), 39-59.
- Naciones Unidas. (2020, enero 15). *Cambio climático: el año 2019, el segundo más cálido registrado tras 2016*. <https://news.un.org/es/story/2020/01/1468012>
- Russell, A. y W. Parton Jr. (2020). Modeling the effects of global change on ecosystem processes in a tropical rainforest. *Forests*, 11,213. doi:10.3390/f11020213
- Ryan, M., Fuller, M., Scott, N., Cook, J., Poe, S., Willink, B., Chaves, G. y F. Bolaños. (2014). Individualistic population responses of five frog species in two changing tropical environments over time. *Plos One*, 9(5), e98351. doi:10.1371/journal.pone.0098351

Salazar, A. y J. Vargas. (2017). Algunos aspectos técnicos sobre la Estación Meteorológica Automática de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes. *Pensamiento Actual*, 17(1), 96-104.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2008). *Plan general de manejo de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes*. <http://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/Plan%20Manejo%20ACC/Reserva%20Biol%20B3gica%20Alberto%20Manuel%20Brenes.pdf>

Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2009). *IV Informe de País al Convenio sobre diversidad biológica*. GEF-UNUD. <https://chmcostarica.go.cr/sites/default/files/content/cr-nr-04-es.pdf>

Stiles, G. (1991). Lista preliminar de la avifauna de la Reserva Forestal de San Ramón. *EN: R. Ortiz (ed). Memorias de Investigación Reserva Forestal de San Ramón*. Serie Cátedra Universitaria. (pp. 73-78). Universidad de Costa Rica.

Sun, Q., Kong, D., Miao, C., Duan, Q., Yang, T., Ye, A., Di, Z. y W.Gong. (2014). Variations in global temperature and precipitation for the period of 1948 to 2010. *Environment Monitoring and Assessment*, 186 (9), 5663-5679.

Tanner-McAllister, S., Rhodes, J. y M. Hokcings. (2017). Managing for climate change on protected areas: An adaptive management decision making framework. *Journal of Environmental Management*, 204(1), 510-518. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.038>

Trouwborst, A. (2011). La adaptación de la flora y la fauna al cambio climático en un paisaje fragmentado, y el derecho europeo sobre la conservación de la naturaleza. *Revista Catalana de Dret Ambiental*, 2(2), 1-18.