

Efecto del gradiente altitudinal sobre el desarrollo inicial de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Jarabacoa, República Dominicana

Effect of the altitudinal gradient on the initial development of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Jarabacoa, Dominican Republic

Navarrete Espinoza, E.^{1,2*}, Peña, G.³, Milla Araneda, F.^{1,2}, Núñez Arias, J.A.³

¹ Departamento de Ciencias y Tecnología Vegetal. Universidad de Concepción, Campus Los Ángeles. Juan Antonio Coloma, 0201. C.P 4440000, Los Ángeles, Biobío, Chile.

² Grupo de Estudios Silvoecológicos GESE. Universidad de Concepción, Campus Los Ángeles. Juan Antonio Coloma, 0201. C.P 4440000, Los Ángeles, Biobío, Chile.

³ Departamento de Cambio Climático. Universidad Fernando Arturo de Meriño, Avenida Víctor Méndez Capellán, 800. C.P 4100, Palo Blanco, Jarabacoa, La Vega, República Dominicana.



Please cite this article as/Como citar este artículo:

Navarrete-Espinoza, E., Peña, G., Milla-Araneda, F., Núñez-Arias, J.A. (2025). Effect of the altitudinal gradient on the initial development of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Jarabacoa, Dominican Republic. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1682. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1682>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: May 16th 2024.

Accepted/Aceptado: June 06th 2025.

Available on line/Publicado: June 23th 2025.

RESUMEN

Los cambios de temperatura y regímenes de precipitación causados por el cambio climático han traído como consecuencia el desplazamiento de las áreas de producción, tanto de café, como de cacao, a zonas con condiciones más favorables para su desarrollo. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la adaptación del cultivo de cacao en diferentes niveles de altitud en el municipio de Jarabacoa, provincia de La Vega, República Dominicana, para lo cual se analizó su sobrevivencia y desarrollo inicial en áreas donde se ha degradado el cultivo de café. Para cumplir con los objetivos planteados se establecieron diferentes unidades experimentales basadas en un arreglo factorial bajo un diseño completamente aleatorio, con dos tipos de plantas de cacao, injerto e híbrido, en tres rangos altitudinales de la cuenca. En cada unidad muestral se evaluó el crecimiento aéreo, condición sanitaria y sobrevivencia de las plantas. Se concluye que la altitud afectó significativamente las variables morfológicas altura total, diámetro de cuello, índice de productividad, así como también la sobrevivencia. En general, el crecimiento aéreo de la planta fue disminuyendo a medida que aumentaba la altitud sobre el nivel del mar, sin importar el tipo de planta utilizada. Las mayores tasas de sobrevivencia se presentaron en los rangos altitudinales RA1 y RA3, sin distinción del origen de la planta. Los resultados de la presente investigación constituyen un aporte al conocimiento de la producción de cacao, cultivo económicamente significativo en la República Dominicana y a nivel mundial.

PALABRAS CLAVE: Crecimiento de cacao, altitud, adaptación de cultivos.

*Corresponding Author:

Eduardo Navarrete-Espinoza. Departamento de Ciencias y Tecnología Vegetal. Universidad de Concepción, Campus Los Ángeles. Juan Antonio Coloma, 0201. C.P 4440000, Los Ángeles, Biobío, Chile. Teléfono: (56) 432405217. E-mail: ednavarr@udec.cl

ABSTRACT

The changes in temperature and reception regimes caused by climate change have resulted in the displacement of production areas, both coffee and cocoa, to areas with more favorable conditions for their development. The objective of this study was to evaluate the adaptation of cocoa cultivation at different altitude levels in the municipality of Jarabacoa, province of La Vega, Dominican Republic, for which its survival and initial development was analyzed in areas where the crop has been degraded. of coffee. To meet the stated objectives, different experimental units are established based on a factorial arrangement under a completely random design, with two types of cocoa plants, injector and hybrid, in three altitudinal ranges of the basin. In each sample unit, aerial growth, health condition and survival of the plants were evaluated. It is concluded that altitude significantly affected the morphological variables total height, neck diameter, productivity index, as well as survival. In general, aerial plant growth decreased as altitude above sea level increased, regardless of the type of plant used. The highest survival rates occur in the RA1 and RA3 altitudinal ranges, without distinction of the origin of the plant. The results of this research constitute a contribution to the knowledge of cocoa production, an economically significant crop in the Dominican Republic and worldwide.

KEY WORDS: Cocoa growth, altitude, crop adaptation.

Introducción

El cambio climático está provocando el derretimiento de glaciares, y con ello, la modificación de la distribución estacional de los caudales de agua, la intensificación de los fenómenos de sequía y cambios en las estaciones de cultivo (IPCC, 2014). Uno de los sectores más vulnerables al cambio climático, a nivel mundial, es la agricultura, pues es altamente sensible a los cambios de temperatura y a los regímenes de precipitación (Viguera *et al.*, 2017). El aumento de la temperatura y la reducción de las precipitaciones disminuirán la productividad agrícola en el corto plazo (2030), amenazando la seguridad alimentaria de la población más pobre (FAO, 2014).

Uno de los sistemas productivos agrícolas que sufre los impactos negativos de las variaciones climáticas es el cacao (*Theobroma cacao* L.), al experimentar los efectos en su rendimiento (Harvey *et al.*, 2018; Sada *et al.*, 2018; PNUD, 2021), alteraciones en las variables fisiológicas y reproductivas de las plantas (Gourdji *et al.*, 2013; Nendel *et al.*, 2019), infestación de plagas, malezas y enfermedades, además de la disminución de la calidad de las cosechas (D'Agostino & Schlenker, 2016; Lachaud *et al.*, 2017). Estas presiones climáticas sobre el cultivo y los productores de cacao han comenzado a impulsar el desplazamiento de las áreas sembradas

hacia gradientes altitudinales mayores, en la búsqueda de mejores climas, suelos y agua (Aguirre, 2013; Bakri *et al.*, 2018; Ziska *et al.*, 2018), que les garantice escenarios óptimos para el cultivo y una producción rentable y sostenible (Gram *et al.*, 2018).

En el caso del cultivo de cacao en los países del Sistema de Integración Centroamericana (SICA), los grupos de actores del subsector cacao clasifican esta actividad productiva como altamente vulnerable y con baja capacidad adaptativa (Bunn *et al.*, 2019a; SICA, 2021). En la práctica, esto está provocando el traslado de este cultivo a zonas donde se presenten condiciones favorables para su desarrollo (Meza, 2015), evidenciándose un desplazamiento de las áreas de producción, demandando cada vez más altitud sobre el nivel medio del mar para mejorar la productividad (Núñez-Rodríguez *et al.*, 2020). Los análisis sugieren una necesidad urgente de pasar de las prácticas actuales de cultivo a prácticas adaptadas a las características climáticas de cada zona, denominadas cultivo de Cacao Sostenible Adaptado al Clima (CSAC) (Bunn *et al.*, 2019b).

En República Dominicana se cultiva alrededor de 175,875 ha de cacao, distribuidas en siete regiones del país, constituyéndose en el noveno productor del mundo, el segundo en producción orgánica y el sexto productor en tenor de cacao fino y de aroma (Hinojosa, 2022). La cadena de valor del cacao enfrenta retos importantes en aspectos sensibles relacionados con la productividad, la calidad, la adaptación del cultivo al cambio climático, la fitoprotección, el consumo interno, la competitividad, la equidad de género, el relevo generacional y la mejora de la calidad de vida de las familias productoras (MMARN, 2022).

En relación con el impacto del cambio climático en la producción de cacao, Bunn *et al.* (2019a) señalan que para República Dominicana existirá un incremento del área idónea para su cultivo, con lo que el nivel de esfuerzos de adaptación para el país es mayormente incremental, aunque para algunas zonas al noroeste será necesaria una adaptación sistémica o una transformación a otro cultivo. Asimismo, los autores destacan que República Dominicana es el único país de Centroamérica y El Caribe que presenta aumentos de zonas propicias para el cultivo del cacao en el periodo 2020-2049, en contraste con la reducción significativa de superficies adecuadas para el cultivo de esta especie en la región del SICA en el mismo periodo.

En este contexto, el objetivo general de la investigación fue evaluar la adaptación del cultivo del cacao en tres diferentes niveles de altitud en el municipio de Jarabacoa, provincia de La Vega, República Dominicana. En específico, se evaluó la sobrevivencia, desarrollo inicial y condición sanitaria del cultivo de cacao en áreas de Jarabacoa donde se ha degradado el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), como alternativa de adaptación agroforestal ante el cambio climático.

Material y Métodos

Área de estudio

El área de estudio corresponde al municipio de Jarabacoa, provincia de La Vega, ubicada principalmente en la zona alta de la Cuenca del Río Yaque del Norte (CAYN), República Dominicana (Figura 1). El clima se caracteriza por ser tropical, la temperatura y precipitación media anual es de 21.4 °C y 1502 mm, respectivamente, con altitudes que varían entre los 400 y los 2200 msnm. Los suelos son derivados principalmente de materiales ígneos y basaltos (Milla *et al.*, 2014). La CAYN está localizada en la pendiente Norte de la Cordillera Central de República Dominicana (coordenadas 18° 55' Norte, 70° 50' Oeste) y abarca una superficie total de 77,846 ha, la cual está dividida en 13 usos de suelo. De estos, 6 corresponden a la foresta, con una superficie total de 43,025 ha, lo que equivale al 55.3 % de la superficie de la cuenca. El uso agrícola tiene una superficie de 22,328 ha, lo que corresponde a un 28.7 %. El 70 % de la superficie total está ubicada dentro de los límites geográficos del municipio de Jarabacoa (Acosta, 2017). En esta zona, desde hace mucho tiempo se establecieron plantaciones de café, las cuales se han degradado por condiciones relacionadas con el calentamiento global y el cambio climático (MARENA, 2012).

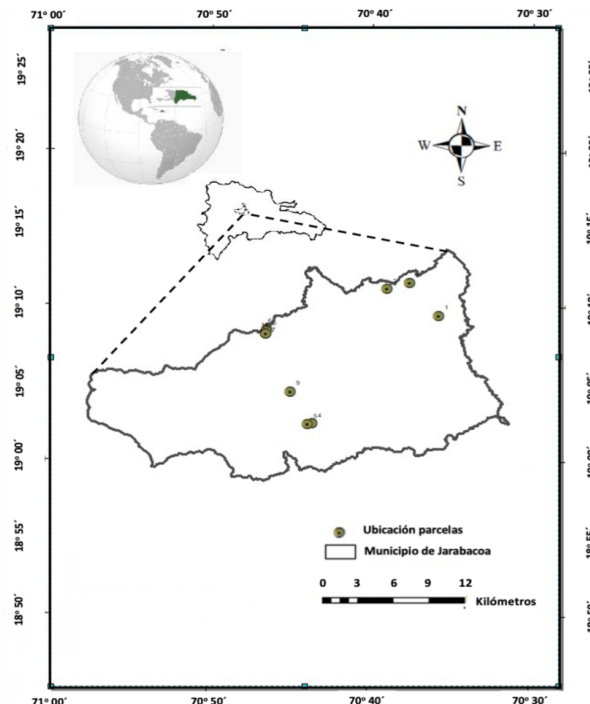


Figura 1. Ubicación del área de estudio y distribución de las unidades muestrales en los diferentes rangos altitudinales en el municipio de Jarabacoa, República Dominicana.

Selección y caracterización de las áreas de instalación de parcelas

Dentro del área seleccionada (con presencia de cafetales degradados) se ubicaron 3 sitios donde se establecieron las unidades experimentales (parcelas), con una diferencia de altura sobre el nivel medio del mar de aproximadamente 250 metros entre estos (rangos altitudinales). En cada sitio se instalaron parcelas contiguas de cacao, compuestas de plantas híbridas, en calidad de testigo, y parcelas con plantas injertas. Al momento de la plantación se realizó un desmalezado manual en el área de influencia de la planta y aplicó fertilizante orgánico bocashi según lo recomendado por Arvelo *et al.* (2017).

Características de los sitios de estudio

Los extremos altitudinales en los cuales se establecieron las unidades experimentales corresponden a las zonas de producción de café de Buena Vista (520 msnm) hasta Manabao (1158 msnm) (Cuenca Alta del Río Yaque del Norte) (Tabla 1).

Los suelos del rango altitudinal RA1 corresponden a cerros de poca elevación y pendientes suaves, desarrollados a expensas de rocas intrusivas granulares arenosos gruesos. Poseen buen drenaje superficial e interno, se han desarrollado a expensas de materiales tobáceos y consisten esencialmente de un horizonte franco arenoso color pardo (FAO, 2003). Los suelos del rango altitudinal RA2, se han originado a partir de rocas ígneas y metamórficas muy alternadas, principalmente tobas y esquistos, que han formado suelos con profundidad moderada. Presentan un primer horizonte con espesor de 20 a 25 cm de color variable de pardo grisáceo claro a pardo oscuro, textura arcillosa a franco arcillosa, estructura en bloques subangulares, medios y débiles, de consistencia friable, en húmedo. Los suelos del rango altitudinal RA3 se originan en las posiciones más altas del relieve, a partir de rocas ígneas intrusivas de tipo tonalita con intrusiones de traquiandesita, formando suelos de desarrollo moderado. Poseen un primer horizonte con espesor de 16 cm de color marrón rojizo, estructura en gránulos y débiles, de consistencia friable, en húmedo (IDIAF, 2010).

Para la totalidad de la zona de estudio, los valores en pendiente del terreno fluctuaron entre los 16 y 41 °. A medida que aumentó la altitud a nivel del mar, disminuyó la temperatura e incrementó la precipitación media acumulada (Tabla 1).

Tabla 1. Valores medios de altitud, pendiente, temperatura y precipitación según rango altitudinal en el área de estudio.

Rango altitudinal (RA) (m.s.n.m.)	Altitud media (m.s.n.m.)	Pendiente media (°)	Temperatura media período medición (°C)	Precipitación anual media acumulada período medición (mm)
RA1: 520 - 605	560 ± 35	20.0 ± 4.3	23.1	990.1
RA2: 822 – 850	840 ± 11	25.5 ± 9.2	21.6	1260.8
RA3: 954 - 1158	1085 ± 93	22.0 ± 4.9	20.0	1350.5

Diseño experimental

El estudio se basó en un arreglo factorial bajo un diseño completamente aleatorio. Los factores bajo estudio fueron: Condición altitudinal (3) y Tipo de planta (2), lo que define un experimento 3×2 (6 tratamientos en total).

Se establecieron 3 parcelas (réplicas) de cada cultivar (injerto e híbrido) en el Rango altitudinal 1 (RA1: 520-605 m.s.n.m.), 4 en el Rango altitudinal 2 (RA2: 822-850 m.s.n.m.) y 3 en el Rango altitudinal 3 (RA3: 954-1158 m.s.n.m.), lo que genera el establecimiento de 20 unidades experimentales (parcelas) en toda el área de estudio.

La densidad de plantación según tipo de planta se determinó de acuerdo con lo recomendado por Enríquez (2010), CATIE (2012) y Díaz *et al.* (2013). Cada parcela de cacao de injerto (700 m²) estuvo conformada por 76 plantas (3×3 m), lo que determina un total de 760 plantas (en las 10 unidades experimentales). Para el caso de cacao híbrido, la parcela (625 m²) estuvo conformada por 100 plantas (2.5×2.5 m), determinándose un total de 1000 plantas (en las 10 unidades experimentales).

En cada unidad experimental se registraron las coordenadas geográficas, altitud y pendiente, (GPS Garmin 64s). Los registros de temperatura y precipitación para el periodo de medición (2022-2023) se obtuvieron del sitio meteorológico Meteoblue (Windy.com Company).

Evaluación del desarrollo de las plantas de Cacao

Para las evaluaciones relativas a la adaptación y desarrollo de las plantas, se realizaron dos mediciones, distanciadas 11 meses (Mayo 2022 y Abril 2023), de las siguientes variables: altura total en cm, desde el cuello de la raíz de la planta hasta la rama a mayor altura del suelo (con cinta métrica precisión 1 mm), diámetro de cuello (Dac) en mm (con caliper digital INGCO HDCD01150 precisión 0.01 mm), número de ramas y hojas de cada planta, realizándose además, evaluaciones fitosanitarias según inspección visual. En base a la altura y diámetro de cuello de la planta, se determinó su índice de productividad d²h en cm³ (indicador de biomasa), además de la sobrevivencia en cada unidad experimental.

Análisis estadístico

El efecto de cada uno de los factores bajo estudio, así como también la combinación de los niveles de cada uno de estos (interacción), se realizó a través de un análisis de varianza (ANOVA) basada en el diseño y tipo de experimento anteriormente detallado. Las variables medidas en porcentaje (%) fueron transformadas a través de la expresión:

$$y^* = \sin^{-1} \sqrt{0/1}.$$

En el caso manifestarse significancias estadísticas para alguna fuente de variación, la identificación de dichas diferencias se realizó a través del test *post hoc* de Duncan. El diagnóstico de los residuos (errores) del modelo se realizó a través de los test de Kolgomorov-Smirnov (normalidad), Cochran (homocedasticidad) y de Durbin-Watson (independencia). La totalidad de los análisis se realizó con un nivel de significancia del 0.05. Los datos fueron analizados mediante el software STATISTICA v.10.0 (StatSoft Inc., 2004).

Resultados y Discusión

Variables morfológicas y crecimiento a los 11 meses de establecido el ensayo

El análisis de varianza determinó que sólo el factor Rango altitudinal (RA) afectó significativamente los incrementos para las variables altura total ($p = 0.009$), diámetro de cuello (Dac) ($p = 0.012$) e índice de productividad (d^2h) ($p = 0.008$), no así el Tipo de planta (TP) ($p > 0.05$), observándose a su vez, que el efecto de ambos factores es independiente para las variables antes mencionadas ($p > 0.05$ para interacciones) (Tabla 2). Estos resultados difieren de lo encontrado por Besse *et al.* (2020) en una plantación de cacao establecida a diferentes altitudes en Indonesia, en donde la elevación altitudinal no afectó significativamente la altura, número de ramas primarias y de flores, diámetro de cuello y de copa de las plantas.

Para el caso de la variable incremento en altura total, los mayores valores se registraron en el RA2, tanto para las plantas de origen híbrido, así como también para injerto, seguidos por el RA1, no manifestándose diferencias estadísticas entre estos. Los menores valores incrementales se presentaron en el rango altitudinal mayor (RA3), siendo estadísticamente distintos al resto de las altitudes. Respecto a las variables de incremento en Dac e Índice de productividad (d^2h), éstas presentaron los mayores valores, tanto para híbridos, así como también para injertos, en el RA1, seguidos de manera consecutiva por los RA2 y RA3 respectivamente, siendo los valores en este último rango altitudinal, significativamente diferentes a las dos altitudes menores (Tabla 2).

El aumento en los valores de las variables antes mencionadas es una característica altamente deseable, ya que la variable altura es un indicador de la superficie fotosintética y representa, al mismo tiempo, la capacidad de almacenar carbohidratos (Orozco *et al.*, 2010); así como también el Dac, que constituye un buen predictor de resistencia al doblamiento y tolerancia de daños por plagas (Mexal & Landis, 1990). Al respecto, Almeida y Valle (2007) mencionan que a medida que la planta de cacao incrementa su altura, el diámetro del tallo aumenta, lo que posibilita una mayor resistencia física de ésta, así como también un mayor ingreso de nutrientes y agua desde el suelo para suplir la demanda de toda la planta. Para Muñoz *et al.* (2015), el Dac constituye la característica de calidad más importante, dado que permite predecir la supervivencia en campo y definir la robustez del tallo, asociándose al vigor de la planta.

Tabla 2. Efecto del rango altitudinal y tipo de planta sobre el crecimiento en altura total, diámetro de cuello e índice de productividad.

Tipo de planta	Rango altitudinal (RA)	Medición altura media (cm)			Medición de diámetro de cuello (mm)			Medición de índice de productividad (d ² h) (cm ³)		
		Inicial	Final	Incremento	Inicial	Final	Incremento	Inicial	Final	Incremento
Híbrido	RA1	69.1 ± 6.4	86.4 ± 3.9	17.3 ± 8.4 ^{abc}	7.5 ± 2.4	13.2 ± 1.2	5.7 ± 3.5 ^a	46.7 ± 27.1	163.1 ± 18.5	116.4 ± 43.6 ^a
	RA2	63.3 ± 4.2	81.9 ± 4.7	18.6 ± 6.3 ^{ab}	7.9 ± 1.5	12.3 ± 0.7	4.4 ± 1.5 ^{ab}	43.6 ± 13.3	135.0 ± 25.0	91.5 ± 31.4 ^{ab}
	RA3	73.5 ± 1.1	83.4 ± 5.2	9.9 ± 4.1 ^{bc}	9.2 ± 0.4	10.9 ± 1.0	1.8 ± 1.1 ^b	68.4 ± 3.6	109.3 ± 25.2	40.9 ± 26.9 ^{bc}
Injerto	RA1	57.0 ± 2.7	71.9 ± 4.5	14.9 ± 6.4 ^{abc}	7.5 ± 2.5	13.2 ± 1.5	5.7 ± 3.4 ^a	37.2 ± 43.4	138.4 ± 8.3	101.1 ± 45.9 ^a
	RA2	56.2 ± 3.2	76.5 ± 4.8	20.3 ± 2.7 ^a	9.1 ± 0.3	12.7 ± 1.1	3.7 ± 0.8 ^{ab}	50.9 ± 31.4	131.8 ± 21.4	80.9 ± 22.1 ^{ab}
	RA3	58.9 ± 9.7	66.9 ± 8.0	8.0 ± 1.8 ^c	8.4 ± 0.4	9.7 ± 0.7	1.3 ± 0.4 ^b	45.8 ± 26.9	68.0 ± 10.7	22.2 ± 6.0 ^c
Pr (F)										
Tipo de planta (TP)		-	-	0.726	-	-	0.658	-	-	0.422
Rango altitudinal (RA)		-	-	0.009	-	-	0.012	-	-	0.008
TP × RA		-	-	0.724	-	-	0.938	-	-	0.945

Con RA1: 520-605 m.s.n.m.; RA2: 822-850 m.s.n.m.; RA3: 954-1158 m.s.n.m., Incremento: medición final – inicial, d: diámetro de cuello (mm), h: altura total (cm), Pr (F): Probabilidad prueba de Fisher (tabla ANOVA). En columnas, letras iguales no difieren significativamente ($p < 0.05$, Prueba de Duncan). Media ± desviación estándar.

El análisis de varianza determinó que ninguno de los factores bajo estudio (Tipo de planta y Rango altitudinal) afectó significativamente el comportamiento de las variables número de ramas, número de hojas y daño sanitario, presentándose igual situación para la evaluación de las interacciones ($p > 0.05$). La variable sobrevivencia fue influenciada significativamente ($p = 0.008$) sólo por el factor Rango altitudinal (Tabla 3).

Debido a la corta edad de la plantación (aproximadamente un año), era esperable que no se presentara floración, y tampoco un aumento en el número de ramas. Al respecto, Arnold *et al.* (2018) mencionan que cacao comienza la floración y producción de frutos recién a los 2 o 3 años de edad. Los mayores valores, tanto en incremento del número de hojas, así como también en el porcentaje de plantas con manifestación de daño sanitario se presentaron en el menor rango altitudinal (RA1), con una tendencia a disminuir a medida que la altitud aumentaba. Cabe destacar, que para RA3 no se presentaron plantas con afectación de sanidad. Respecto de la sobrevivencia de plantas, los mayores valores se presentaron en los rangos altitudinales RA3 y RA1 para ambos orígenes de plantas respectivamente, siendo estadísticamente superiores al rango altitudinal intermedio (RA2) (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto del rango altitudinal y tipo de planta sobre número de ramas y de hojas, daño sanitario y sobrevivencia.

Tipo de planta	Rango altitudinal (RA)	Medición número de ramas			Medición número de hojas			Daño sanitario (%)	Sobrevivencia (%)
		Inicial	Final	Incremento	Inicial	Final	Incremento		
Híbrido	RA1	1	2	1	8	13	5 ^a	7.4 ± 6.7 ^a	80.2 ± 3.3 ^{ab}
	RA2	1	1	0	6	10	4 ^a	2.1 ± 4.2 ^a	68.4 ± 9.3 ^b
	RA3	1	1	0	5	8	3 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	84.4 ± 6.7 ^a
Injerto	RA1	2	2	0	7	13	6 ^a	12.5 ± 21.7 ^a	81.9 ± 7.4 ^{ab}
	RA2	2	2	0	7	11	4 ^a	0.5 ± 1.0 ^a	70.6 ± 6.6 ^b
	RA3	1	2	1	7	10	3 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	81.4 ± 9.3 ^{ab}
Pr (F)									
Tipo de planta (TP)		-	-	-	-	-	0.537	0.855	0.926
Rango altitudinal (RA)		-	-	-	-	-	0.256	0.112	0.008
TP × RA		-	-	-	-	-	0.968	0.976	0.778

Con RA1: 520-605 m.s.n.m.; RA2: 822-850 m.s.n.m.; RA3: 954-1158 m.s.n.m., Incremento: medición final – inicial, d: diámetro de cuello (mm), h: altura total (cm), Pr (F): Probabilidad prueba de Fisher (tabla ANOVA). En columnas, letras iguales no difieren significativamente ($p < 0.05$, Prueba de Duncan). Media ± desviación estándar.

Respecto al rango altitudinal óptimo para el cultivo de cacao, los resultados del presente estudio coinciden con diferentes autores, tales como García *et al.* (2007), quienes indican que,

para el caso de Colombia, las regiones clasificadas como sumamente aptas para el cultivo se localizan en alturas de 400 a 800 msnm. Existen también regiones moderadamente aptas, con alturas de 0 a 400 msnm y de 800 a 1000 msnm; marginalmente aptas de 1000 a 1200 msnm.; y no aptas, con alturas superiores a 1200 msnm. Según Paredes (2003), el cacao crece mejor en las zonas tropicales, cultivándose desde el nivel del mar hasta los 800 metros de altitud; por su parte, INIFAP (2011) y López (2011) señalan que para México, el cacao se cultiva casi desde el nivel del mar y hasta los 1200 msnm, siendo el óptimo de 300 a 400 msnm y de 600 a 800 msnm; sin embargo, en plantaciones cerca de la línea del ecuador, se desarrolla de manera normal en altitudes mayores: desde los 1000 hasta los 1400 msnm (Sánchez *et al.*, 2017).

Según Besse *et al.* (2020), la elevación o altitud influyen en las condiciones microclimáticas que rodean a la planta. Al respecto, Mora y Cortés (2021), mencionan que la altitud es el principal factor condicionante de la temperatura, humedad y precipitación, y ejerce una significativa influencia en la adaptación del cacao a los efectos de las variaciones climáticas (Bermeo & Ospina-Noreña, 2017). Quiroz y Maestanza (2012) afirman que los factores climáticos críticos para el desarrollo del cacao son la temperatura y la lluvia. A estos se le unen el viento y la luz o radiación solar. La humedad relativa también es importante, ya que puede contribuir a la propagación de algunas enfermedades del fruto. Estas exigencias climáticas han hecho que el cultivo de cacao se concentre en las tierras bajas tropicales. Respecto de la temperatura, ésta presentó una variación entre 20 a 23 °C en las diferentes zonas de estudio, disminuyendo a medida que aumentó la altitud (Tabla 1), tendencia que concuerda con lo determinado por González y Garreaud (2017).

La mayoría de los autores coinciden en que el cacao no soporta temperaturas bajas, siendo su límite medio anual de temperatura los 21 °C. Las temperaturas extremas muy altas pueden provocar alteraciones fisiológicas en el árbol, por lo que es un cultivo que debe estar bajo sombra para que los rayos solares no incidan directamente y se incremente la temperatura. Las temperaturas de los 21 °C a los 25 °C favorecen a la formación de flores, haciéndola más abundante; con temperaturas menores de 20 °C, la floración es menor (Quiroz, 2010; Loli & Caverro, 2011). Por su parte, Paredes (2003) y MAR (2018) mencionan que la temperatura es un factor de mucha importancia debido a su relación con el desarrollo, floración y fructificación del cacao, debiendo ser la temperatura media anual de alrededor de 25 °C. El efecto de temperaturas bajas se manifiesta en la velocidad de crecimiento vegetativo, desarrollo de fruto y en la intensidad de floración (menor intensidad). Asimismo, controla la actividad de las raíces y de los brotes de la planta. La temperatura para el cultivo de cacao debe estar entre los valores siguientes: Mínima 23 °C - Máxima 32 °C - Óptima 25 °C. García *et al.* (2007) indican que, para Colombia, las regiones aptas tienen un rango de 24 a 28 °C, y las no aptas, donde es difícil el desarrollo del cultivo, tienen temperaturas menores a 18°C o mayores a 32°C. En cuanto a las precipitaciones en la zona de estudio, éstas se fueron incrementando a medida que aumentada la altitud, aunque la máxima presentada (1350.5 mm en RA3) (Tabla 1) es inferior a la recomendada por diferentes autores. Gómez *et al.* (2014) menciona que el cultivo de cacao presenta baja tolerancia al déficit de agua y en los meses con menos de 100 mm se genera déficit hídrico, lo que afecta la floración y el brote de hojas. Por lo tanto, se reconoce que esta especie crece en climas tropicales con áreas de alta precipitación (1500 a 2000 mm) (Angulo *et*

al., 2021). Diversos estudios han revelado que el clima actual cambiará en los próximos años, en especial en los trópicos y subtropicos, donde en zonas de altitudes bajas las precipitaciones disminuirán y en altitudes superiores, éstas aumentarán (IPCC, 2014; Ospina *et al.*, 2017).

Conclusiones

El factor de estudio Rango altitudinal afectó significativamente las variables morfológicas altura total, diámetro de cuello (Dac), índice de productividad (d^2h), así como también la sobrevivencia; no así el factor Tipo de planta, determinándose, a su vez, que el efecto de ambos factores resultó independiente (ausencia de interacción). Los rangos altitudinales menores (RA1 y RA2) presentaron mayores valores en incrementos en altura, Dac y d^2h , observándose una tendencia decreciente en crecimiento a medida que aumentaba la altitud.

Los mayores valores en sobrevivencia se presentaron en los rangos altitudinales RA3 y RA1 para ambos orígenes de plantas respectivamente (híbrido e injerto), siendo estadísticamente superiores al rango altitudinal intermedio (RA2).

Las variables número de ramas, de hojas y de flores no fueron afectadas por la altitud ni por el tipo de planta; sin embargo, los mayores valores, tanto en incremento del número de hojas, así como también en el porcentaje de plantas con manifestación de daño sanitario se presentaron en el menor rango altitudinal (RA1), con una tendencia a disminuir a medida que aumentaba la altitud.

Los resultados de la investigación constituyen un aporte al conocimiento de la producción de cacao, cultivo económicamente significativo en la República Dominicana y a nivel mundial.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, GP, JANA, ENE, FMA; desarrollo de la metodología, GP, JANA, ENE, FMA; manejo de software, ENE; validación experimental, GP, ENE, FMA; análisis de resultados, ENE, GP; Manejo de datos, GP, ENE; escritura y preparación del manuscrito, ENE, GP, JANA, FMA; redacción, revisión y edición, ENE, GP, JANA; administrador de proyectos, GP, JANA; adquisición de fondos, GP, JANA.

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por el FONDO NACIONAL DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO (FONDOCYT), República Dominicana, Subvención 2018-2019-2D5-359.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo en terreno brindado por los profesionales Kelvin Ortiz, Lourdes Quiroz, Elvis Lizardo y alumnos/as del Instituto Técnico de Estudios Superiores en Medio Ambiente y Recursos Naturales de Jarabacoa, República Dominicana.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Acosta, J. (2017). La contaminación del agua superficial del río Yaque del Norte. *Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 28. <http://www.eumed.net/rev/delos/28/agua-contaminacion.html>
- Aguirre, Y. (2013). El desplazamiento de los pisos térmicos y el lenguaje semiótico de las plantas como una expresión de su estrés biológico: dos imaginarios sociales de la población caldense sobre los efectos generados por el cambio climático. *Luna Azul*, 36. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321728584005>
- Almeida, A., & Valle, R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4). <https://www.scielo.br/j/bjpp/a/CH3fMFFp6wY4mfZYFPmS7cj/>
- Angulo, C., Mathios, M., Racchumi, A., Bardales-Lozano, R., & Ayala, D. (2021). Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao*) en vivero, usando diferentes volúmenes de sustrato. *Manglar*, 18(3). <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2021.034>
- Arnold, S., Bridgemohan, P., Perry, G., Spinelli, G., Pierre, B., Murray, F., Haughton, C., Dockery, O., Grey, L., Murphy, S., Belmain, S., & Stevenson, P. (2018). The significance of climate in the pollinator dynamics of a tropical agroforestry system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.013>
- Arvelo, M., González, D., Maroto, S., Delgado, T., & Montoya, P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao: Prácticas Latinoamericanas. San José, Costa Rica: IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- Bakri, S., Setiawan, A., & Nurhaida, I. (2018). Coffee bean physical quality: The effect of climate change adaptation behavior of shifting up cultivation area to a higher elevation. *Biodiversitas*, 19(2). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190208>
- Bermeo, P., & J. Ospina-Noreña, J. (2017). Evaluación de los requerimientos hídricos actuales y futuros, bajo escenarios de cambio climático en cultivos de cacao en el municipio de Nilo, Cundinamarca. Colombia. International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Perú, pp. 13-17. <https://www.icco.org/wp-content/uploads/T4.228.EVALUACION-DE-LOS-REQUERIMIENTOS-HIDRICOS-ACTUALES-Y-FUTUROS-BAJO-ESCENARIOS-DE-CAMBIO-CLIMATICO-EN-CULTIVOS-DE-CACAO-EN-EL-MUNICIPI.pdf>
- Besse, A., Augusta, H., Yahya, S., Wachja, A., & Tjoa, A. (2020). Plant growth performance of top

- grafted young cacao at various elevations in Indonesia. *Journal of Tropical Crop Science*, 7(2). <https://j-tropical-crops.com/index.php/agro/article/view/304>
- Bunn, C., Lundy, M., Wiege, J., & Castro-Llanos, F. (2019a). Impacto del cambio climático en la producción de cacao para Centroamérica y El Caribe. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 35 p. <https://alliancebioiversityciat.org/publications-data/impacto-del-cambio-climatico-en-la-produccion-de-cacao-para-centroamerica-y-el>
- Bunn, C., Fernández-Kolb, P., Wiegel, J., Guharay, F., Hurtado, N., Castro-Llanos, F., & Lundy, M. (2019b). Cacao sostenible adaptado al clima en Centroamérica y el Caribe. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 13 p. <https://cgspace.cgiar.org/items/72da6fca-e103-44f9-b80e-0d030aed78de>
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE]. (2012). El ciclo de vida y el manejo del cacaotal. Costa Rica. <http://biblioteca.catie.ac.cr:5151/repositoriomap/bitstream/123456789/90/4/EI.pdf>
- D'Agostino, A., & Schlenker, W. (2016). Recent weather fluctuations and agricultural yields: implications for climate change. *Agricultural Economics*, 47(1). <https://doi.org/10.1111/agec.12315>
- Díaz, O., Porras, V., & Aguilar, J. (2013). El cacao (*Theobroma cacao* L.): avances y retos en la gestión de la innovación. Colección Trópico Húmedo. Universidad Autónoma Chapingo Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial, 136. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/2132555d-b655-4ed3-8ba5-42369955db5d>
- Enríquez, G. (2010). Cacao orgánico. Guía para productores ecuatorianos. INIAP. Manual N°. 54. Quito, Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4571>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2003). Los suelos de la República Dominicana. Gustavo Tirado F. (Eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Santo Domingo, República Dominicana. 240 p. <https://intranet.cedaf.org.do/digital/suelos.agricolas.dominicanos.pdf>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2014). Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Política. Salcedo S. y Guzmán L. (Eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Santiago, Chile. 486 p. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/RecomendacionesPolAgriFAMILAC.pdf
- García, J., Romero, M., & Ortiz, L. (2007). Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de cacao. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2189>
- Gómez, R., García, R., Tong, F., & González, C. (2014). Paquete tecnológico del cultivo de cacao fino de aroma. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. https://vinculate.concytec.gob.pe/wp-content/files/Paquete_Tecnologico_Cultivo_Cacao.pdf
- González, S., & Garreaud, R. (2017). Spatial variability of near-surface temperature over the coastal mountains in southern Chile (38°S). *Meteorol Atmosph Phys*, 129. <https://doi.org/10.1007/s00703-017-0555-4>
- Gourdji, S., Sibley, A., & Lobell, D. (2013). Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. *Environmental Research Letters*, 8(2). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024041>
- Gram, G., Vaast, P., Van der, J., & Jassogne, L. (2018). Local tree knowledge can fast-track

- agroforestry recommendations for coffee smallholders along a climate gradient in Mount Elgon, Uganda. *Agroforestry Systems*, 92(6). <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0111-8>
- Harvey, C., Saborio-Rodríguez, Martínez-Rodríguez, M., Viguera, B., Cadena-Guadarrama, A., Vignola, R., & Alpizar, F. (2018). Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. *Agriculture and Food Security*, (7)1. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0209-x>
- Hinojosa, J. (2022). Sistema de gestión integral para la sostenibilidad del sub-sector cacotero de República Dominicana. Presentación en el encuentro de intercambio de conocimiento entre países SICACAO. Departamento del Caco, Ministerio de Agricultura de República Dominicana. 23 p. https://sicacao.info/wp-content/uploads/2022/02/Dpto.-Cacao-Estructura-y-Sostenibilidad.JAHG_.pdf.
- Instituto Dominicano de investigaciones Agropecuarias y Forestales [IDIAF]. (2010). Caracterización de suelos en zonas cafetaleras de la República Dominicana: Resultados de Investigación. IDIAF. Santo Domingo, DO. 125 p. <https://intranet.cedaf.org.do/digital/idiad.cafe.suelos.caracterizacion.dominicana.pdf>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP]. (2011). Establecimiento y Mantenimiento. Paquete tecnológico del cacao (*Theobroma cacao* L) Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la región Sur-Sureste de México: Trópico húmedo 2011. https://censalud.ues.edu.sv/CDOCDeployment/documentos/cacao_establecimiento_y_mantenimiento.pdf <https://doi.org/10.18845/tm.v25i5.473>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2014). Cambio Climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial (OMM). Ginebra, Suiza. 200 p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure_es-1.pdf
- Lachaud, M., Bravo-Ureta, B., & Ludena, C. (2017). Agricultural productivity in Latin America and the Caribbean in the presence of unobserved heterogeneity and climatic effects. *Climatic Change*, 143. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2013-1>
- Loli, O., & Cavero, J. (2011). Fertilización y post cosecha. Guía técnica Jornada de Capacitación. UNAL-AGROBANCO. Juanjui – Tarapoto – Perú. https://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/FERTILIZACION_Y_POST_COSECHA_DEL_CACAO.pdf
- López, P. (2011). Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Trópico Húmedo 2011. Huimanguillo. Tabasco: Centro de Investigación Regional-Golfo Centro. http://www.inifap.gob.mx/Documents/inicio/paquetes/cacao_produccion.pdf
- Meza, L. (2015). Impactos del cambio climático en la agricultura familiar y oportunidades para la adaptación. En Adaptación al cambio climático de la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. IX Taller de seguimiento técnico de proyectos FONTAGRO 8 Julio de 2015, Santiago, Chile. pp 19-22. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/handle/20.500.12650/5846>
- Mexal, J., & Landis, T. (1990). Target seedling concepts: height and diameter. In Proceeding, *western Forest nursery association*, 13-17. <https://rngr.net/publications/proceedings/1990/>

[mexal.pdf](#)

- Milla, F., Emanuelli, P., & Díaz, R. (2014). Planificación Inventario Forestal Multipropósito en el Área Piloto Cuenca Alta de Yaque del Norte. República Dominicana. Nota Técnica N° 10 Monitoreo Forestal, Programa Regional REDD/CCAD-GIZ. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10297.77922>
- Ministerio de Agricultura y Riego [MAR]. (2018). Análisis de la cadena productiva del cacao. 85. <https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/66>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales [MARENA]. (2012). Estudio de uso y cobertura de suelo 2012. Santo Domingo, R.D. <https://bvearmb.do/handle/123456789/641>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales [MMARN]. (2022). Guía Técnica de Buenas Prácticas Ambientales y Sociales de Sistemas Agroforestales: Cacao Bajo Sombra en el Marco de REDD+ en República Dominicana. Proyecto de Preparación para REDD+. Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques / Grupo Banco Mundial. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales Santo Domingo, República Dominicana. 106 p. <https://ambiente.gob.do/app/uploads/2022/08/GTBP-Produccion-de-Cacao-Bajo-Sombra.pdf>
- Mora, K., & J. Cortés, J. (2021). Bajo el sol ardiente y la lluvia torrencial. Viajeros extranjeros y clima colombiano en el siglo XIX. *Anuario de Historia Regional y de las Fronteras*, 26(2). <http://dx.doi.org/10.18273/revanu.v26n2-2021005>.
- Muñoz, H., Sáenz, J., Coria, V., García, J., & G. Manzanilla. (2015). Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27). <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v6n27/v6n27a7.pdf>
- Nendel, C., Rötter, R., Thorburn, Boote, P., & Ewert, F. (2019). Modelling cropping systems under climate variability and change: impacts, risk and adaptation. *Agricultural systems*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.11.005>
- Núñez-Rodríguez, J., Mendoza-Ferreira, O., González-Verjel, M., Carvajal-Rodríguez, C., & Carrero-Carmona, D. (2020). Desplazamiento altitudinal de las zonas productoras de cacao en el departamento Norte de Santander por efectos de las variaciones climáticas. *Aibi*, 8(1). <http://dx.doi.org/10.15649/2346030X.2432>
- Orozco, G., Muñoz, J., Rueda, A., Sigala, J., Prieto, J., & García, J. (2010). Diagnóstico de calidad de planta en los viveros forestales del Estado de Colima. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *Rev. Mex. Cien. For.* 1(2). <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v1n2/v1n2a11.pdf>
- Ospina, J., Domínguez-Ramírez, C., Vega-Rodríguez, E., Darghan-Contreras, A., & Rodríguez-Molano, L. (2017). Analysis of the water balance under regional scenarios of climate change for arid zones of Colombia. *Atmósfera*, 30(1). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187623617300425>
- Paredes, M. (2003). Manual de cultivo del cacao. Ministerio de agricultura programa para el desarrollo de la amazonia proamazonia. Perú. <https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/bitstream/20.500.13036/372/1/cacao%20-%20copia.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2021). Distribución presente y futura de café y cacao por efectos del cambio climático: Potencial distribución espacial del café y cacao en seis departamentos del Perú: Cusco, Huánuco, Junín, Madre de Dios, Pasco y Ucayali. Proyecto Amazonía Resiliente, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Lima, Perú. 71 p. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/>

- [migration/pe/PE_PNUD_Distribucion-cafe-y-cacao.pdf](#)
- Quiroz, J. (2010). Sistema de sombra de cacao con maderables. INIAP- Estación Experimental Litoral Sur. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2060>
- Quiroz, J., & S. Maestanza (2012). Establecimiento y manejo de una plantación de Cacao. Boletín Técnico No.146 Enero, Quito, Ecuador. https://books.google.cl/books?id=I3kzAQAAMAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Sada, R., Shrestha, A., Kumar, A., & Anna, L. (2018). People's experience and facts of changing climate: impacts and responses. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 6(1). <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-04-2013-0047>
- Sánchez, M., León, D., Arce, S., López, T., & Rodríguez, P. (2017). Manual Técnico para el Cultivo de Cacao Buenas Prácticas para América Latina. IICA, 143. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- Sistema de Integración Centroamericana [SICA]. (2021). Estrategia regional de cacao en la región del SICA 2022-2032. 86 p. https://assets.rikolto.org/estrategia-regional-de-cacao-2022-2032_1.pdf
- StatSoft, Inc. (2004): STATISTICA. Sistema de software de análisis de datos, versión 7®. StatSoft, Inc. Tulsa, OK., EUA.
- Viguera, B., Martínez-Rodríguez, M.R., Donatti, C., Harvey, C.A., & Alpízar, F. (2017). Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica, estrategias de mitigación y adaptación. Módulo 2. Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA. Conservación Internacional (CI) - Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 47 p. https://www.conservation.org/docs/default-source/publication-pdfs/cascade_modulo-2-impactos-del-cambio-climatico-en-la-agricultura-de-centroamerica.pdf
- Windy.com Company. (2024). <https://www.meteoblue.com/>
- Ziska, L., Bradley, B., Wallace, R., Barger, C., LaForest, J., Choudhury, R., Garrett, K., & Vega, F. (2018). Climate change, carbon dioxide, and pest biology, managing the future: Coffee as a case study. *Agronomy*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy8080152>