

# Influencia de la altitud en la morfología y peso de las almendras de cacao en el departamento Norte de Santander, Colombia.

## Influence of altitude on the morphology and weight of cocoa beans in the Northern department of Santander, Colombia.

José de Jesús Nuñez-Rodríguez<sup>1</sup>, May Stefanny González-Verjel<sup>2</sup>, Luisa Lorena Ramírez-Novoa<sup>3</sup>,  
Julio César Carvajal-Rodríguez<sup>4</sup>,

<sup>1,2,3,4,5</sup>Universidad de Santander, Cúcuta - Colombia

ORCID: <sup>1</sup>[0000-0002-4120-0215](https://orcid.org/0000-0002-4120-0215), <sup>2</sup>[0000-0002-9305-0212](https://orcid.org/0000-0002-9305-0212), <sup>3</sup>[0000-0001-7945-0028](https://orcid.org/0000-0001-7945-0028), <sup>4</sup>[0000-0003-4517-8817](https://orcid.org/0000-0003-4517-8817)

Recibido: 13 de diciembre de 2022.

Aceptado: 19 de abril de 2023.

Publicado: 01 de mayo de 2023.

**Resumen-** La producción de cacao es un tema ampliamente estudiado por los investigadores, no obstante, el comportamiento del rendimiento y características de las almendras en diferentes pisos altitudinales evidencia en la literatura científica publicada un escaso abordaje. El objetivo de la investigación fue establecer la relación entre la morfología y peso de las almendras de cacao (*Theobroma cacao*, L) en relación a 6 gradientes altitudinales, desde los 0 hasta los 1.200 m. s.n.m., en el departamento Norte de Santander (Colombia). En cada gradiente se seleccionaron al azar 5 fincas y analizaron las cosechas 2019 y 2020, para un total de 60 observaciones. Por muestra se determinaron los pesos y el porcentaje de cascarillas en 100 almendras secas (n=100) y; la morfología (largo, ancho y espesor) en 20 almendras secas (n=20). Los datos se analizaron con estimadores estadísticos descriptivos, análisis de la varianza y pruebas de Tukey. El estudio determinó una relación positiva entre la altitud, el peso y la morfología de las almendras al obtenerse los mayores valores en el gradiente de 801-1000 m. s.n.m. (147,47 g ± 10,36 g) y; menores entre los 0-200 m.s.n.m. (130,6 g ± 17,40 g); en la morfología de las almendras el gradiente de 801-1000 m.s.n.m. obtuvo mayores volúmenes promedios (2,766 cm<sup>3</sup>) y el gradiente de 201-400 m.s.n.m. valores más bajos (2,452 cm<sup>3</sup>). El porcentaje de cascarilla evidenció una relación inversamente proporcional con respecto a la altitud con valores bajos en el gradiente de 801-1000 m.s.n.m. (11,08% ± 0,79%) y altos entre los 201-400 m.s.n.m. (14,05% ± 0,92%).

**Palabras clave:** agricultura, altitud, cacao, clima, rendimiento.

**Abstract—** Cocoa production is a subject widely studied by researchers, however, the yield behavior and characteristics of cocoa beans at different altitudinal levels have been scarcely addressed in the published scientific literature. The objective of the research was to establish the relationship between the morphology and weight of cocoa beans (*Theobroma cacao*, L) in relation to 6 altitudinal gradients, from 0 to 1,200 m. a.s.l., in the department of Norte de Santander (Colombia). In each gradient, 5 farms were randomly selected and the 2019 and 2020 harvests were analyzed, for a total of 60 observations. Per sample, we determined the weights and percentage of hulls in 100 dry almonds (n=100) and morphology (length, width and thickness) in 20 dry almonds (n=20). The data were analyzed with descriptive statistical estimators, analysis of variance and Tukey tests. The study determined a positive relationship between altitude, weight and morphology of the almonds with the highest values obtained in the gradient of 801-1000 m.a.s.l. (147.47 g ± 10.36 g) and the lowest between 0-200 m.a.s.l. (130.6 g ± 17.36 g). (130.6 g ± 17.40 g); in the morphology of the kernels, the gradient of 801-1000 m.a.s.l. obtained higher average volumes (2.766 cm<sup>3</sup>) and the gradient of 201-400 m.a.s.l., lower values (2.452 cm<sup>3</sup>). The percentage of husk evidenced an inversely proportional relationship with respect to altitude with low values in the gradient of 801-1000 m.a.s.l. (11.08% ± 0.79%) and high values between 201-400 m.a.s.l. (14.05% ± 0.79%) and 201-400 m.a.s.l. (14.05% ± 0.79% ± 0.79%). (14, 05% ± 0, 92%).

**Keywords:** agriculture, altitude, cocoa, climate, yield, altitude, cocoa, climate, yield.

\*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [jo.nunez@mail.udes.edu.co](mailto:jo.nunez@mail.udes.edu.co) (José de Jesús Nuñez Rodríguez).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad de Santander.

Este es un artículo bajo la licencia CC BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Como citar este artículo: J. J. Nuñez-Rodríguez, M. S. González-Verjel, L. L. Ramírez-Novoa y J. C. Carvajal-Rodríguez, "Influencia de la altitud en la morfología y peso de las almendras de cacao en el departamento Norte de Santander, Colombia", *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería*, vol. 11, no. 2, pp. 20-28 2023, doi: [10.15649/2346030X.3096](https://doi.org/10.15649/2346030X.3096)

## I. INTRODUCCIÓN

La altitud como el principal factor condicionante de la temperatura, humedad y precipitación [1] y ejerce una significativa influencia en la adaptación del cacao a los efectos de las variaciones climáticas [2]. En Colombia, se presentan variaciones de temperaturas de 0,61 °C/100 m. en la región Andina y de 0,55-0,58 °C/100 m en las regiones Pacífico, Orinoquia y Amazonia [3]. Estudios sobre el cacao indican la alta vulnerabilidad de las plantaciones al cambio climático [4] por la relación estrecha que existe entre la temperatura, humedad, altitud y la dinámica de las plagas y enfermedades [5]. En los pisos altitudinales bajos las elevadas temperaturas producen estrés fisiológico que afectan negativamente el número de vainas, o mazorcas, de cacao por planta [6], altas infestaciones de agentes patógenos [7], muerte de plantaciones o problemas en el crecimiento, floración y rendimiento del cultivo por efectos de las sequías [8], que intervienen en la producción y calidad del cacao [9], [10], [11].

Estos factores climáticos limitantes están impulsando una redistribución de las zonas productoras hacia nuevas áreas ecológicas que garanticen la sostenibilidad económica a los productores de cacao [12]. Un incremento de más de 2,0 °C de la temperatura media [13], afectará de manera drástica la producción de cacao en las regiones de tierras bajas, presionando hacia un desplazamiento altitudinal de las áreas de cultivo [14], [15] y a la sustitución de las zonas productoras de café por el cacao [16].

La investigación fue desarrollada durante los años 2019 y 2020, en el departamento Norte de Santander (Colombia), con el objetivo de establecer la influencia de la altitud en la morfología y peso de las almendras de cacao en las áreas de cultivo. Los hallazgos del estudio son relevantes y pertinentes para las comunidades académicas, científicas y el sector productivo por la determinación puntual de los gradientes altitudinales donde ocurren cambios significativos en las almendras de cacao, siendo esta una información muy útil para la orientación de los productores sobre las tendencias en los rendimientos del cultivo en los diferentes pisos altitudinales del departamento, en un escenario de cambio climático.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Las zonas productoras de cacao en el departamento Norte de Santander se ubican entre los 6°58' de latitud norte y 72°03' y 73°35' de longitud occidental [17], en la frontera con la República de Venezuela, con altitudes que van desde 50 m.s.n.m. hasta los 2.000 m.s.n.m., y que derivan en una amplia variedad de características climáticas de temperaturas entre los 18 °C a más de 24 °C y precipitaciones entre los 1000 m.m.-5000 m.m. al año [18].

En la investigación se empleó un diseño relacional, cuasi-experimental completamente aleatorizado, siendo el factor tratamiento la división en 6 gradientes altitudinales representativos de las zonas productoras del departamento de Norte de Santander, quedando de la siguiente forma: 1) Inferiores a 200 m.s.n.m.; 2) 201-400 m.s.n.m.; 3) 401-600 m.s.n.m.; 4) 601-800 m.s.n.m.; 5) 801-1.000 m.s.n.m. y; 6) 1.001-1.200 m. s.n.m.

En cada gradiente se seleccionaron al azar 5 fincas (unidades de análisis) con 2 repeticiones de muestreo (cosechas 2019 y 2020), para un total de 60 observaciones. Se pesaron muestras de 100 almendras secas (n=100), con manejo postcosecha del agricultor, provenientes de la mezcla de los materiales vegetales CCN-51, ICS-91, FEAR-5, IMS-67, Tame, ICS-60 e Híbridos, cultivados en las fincas seleccionadas. Asimismo, se seleccionaron al azar 20 almendras por muestra (n=20) con el fin de determinar las características morfológicas de las semillas (largo, ancho, espesor y volumen) y separar manualmente la almendra y la cascarilla para establecer el porcentaje de cascarilla.

Las almendras fueron pesadas, con un porcentaje de humedad promedio del 12%, en una balanza electrónica previamente calibrada. En el estudio se utilizó una mezcla de almendras secas de las variedades descritas suministradas por los agricultores sin hacer distinción de cada variedad.

Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente en dos vías; la primera, descriptiva mediante la utilización de estimadores de tendencia central y de dispersión y; la segunda, de tipo inferencial a través del uso del ANAVAR, y en los casos con diferencias significativas de medias se aplicó la Prueba de Comparaciones Múltiples de Tukey.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### a. Tendencias del peso de las almendras de cacao por gradiente altitudinal

La tabla 1 contiene un resumen de los pesos de 100 almendras secas, en ambas cosechas, por gradiente altitudinal. Los rendimientos para la cosecha 2019 superan, en todos gradientes, a los rendimientos producidos en la cosecha 2020. La media general de la cosecha 2019 fue de 138,67 g, con una desviación de 13,84 g y; el año 2020 la media general fue de 130,32 g, con una desviación de 16,46 g.

El menor valor promedio observado fue de 117,20 g en el año 2020 en el gradiente inferior a 200 m.s.n.m., mientras que el peso promedio más alto (147,47 g) se corresponde al gradiente entre los 801-1000 m.s.n.m., en la cosecha 2019. Asimismo, el Coeficiente de Variación más alto se observa en el gradiente de 601-800 m.s.n.m., de 14,6 % en la cosecha 2020 y el menor valor fue de 3,90 % en el gradiente de 201-400 m.s.n.m., en la cosecha 2020.

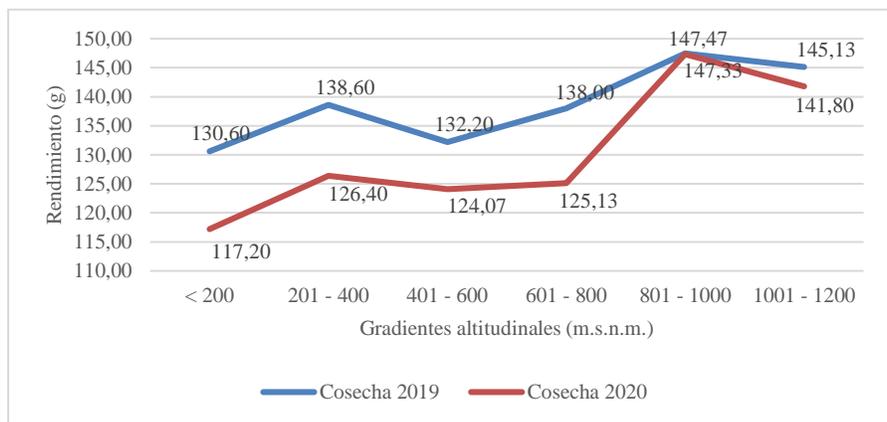
Los mejores rendimientos se presentan en los gradientes desde los 801-1000 m.s.n.m. y 1001-1200 m.s.n.m. con promedios de 147,40 g y 143,47 g, respectivamente (figura 1), superando a las medias generales en 9,59 % y 6,67 %, respectivamente.

Tabla 1: Tendencias del peso de las almendras de cacao por gradiente altitudinal.

Gradiente (m.s.n.m)	Cosechas (año)	Mediana (g)	Media (g)	Desviación (g)	C.V (%)	Mín. (g)	Máx. (g)	Intervalo de confianza (95%) de	
General	2019	139,00	138,67	13,84	9,98	105,00	165,00	135,81	141,53
	2020	127,00	130,32	16,46	12,63	100,00	167,00	126,92	133,72
<200	2019	134,00	130,60	17,40	13,32	105,00	155,00	120,97	140,23
	2020	118,00	117,20	14,85	12,67	100,00	142,00	108,98	125,42
201-400	2019	132,00	138,60	16,43	11,85	118,00	165,00	129,50	147,70
	2020	127,00	126,40	4,93	3,90	118,00	137,00	123,67	129,13
401-600	2019	137,00	132,20	8,76	6,63	118,00	144,00	127,35	137,05
	2020	125,00	124,07	5,87	4,73	115,00	135,00	120,81	127,32
601-800	2019	138,00	138,00	12,95	9,38	118,00	163,00	130,83	145,17
	2020	116,00	125,13	18,27	14,60	110,00	160,00	115,02	135,25
801-1000	2019	151,00	147,47	10,36	7,02	132,00	163,00	141,73	153,20
	2020	154,00	147,33	12,29	8,34	130,00	163,00	140,53	154,14
1001-1200	2019	146,00	145,13	7,18	4,95	128,00	154,00	141,16	149,11
	2020	136,00	141,80	15,33	10,81	124,00	167,00	133,31	150,29

Fuente: Elaboración propia.

La figura 1 permite observar el comportamiento de los pesos promedios de las almendras en los gradientes altitudinales. Los menores pesos registrados se corresponden con el gradiente inferior a los 200 m.s.n.m.; luego en la franja de los 201 hasta los 400 m.s.n.m. el peso de las almendras se incrementan para luego descender entre los 401-600 m.s.n.m. Desde este gradiente hasta los 1000 m.s.n.m. se evidencia una tendencia al incremento del peso promedio, de las dos cosechas, al pasar de 128,14g hasta los 147,40 g, respectivamente. En el último gradiente se observa un ligero descenso en el peso promedio (143,47 g), con respecto al gradiente anterior, no obstante, constituye el segundo mejor promedio de peso del análisis realizado.



Gráfica 1: Tendencias del peso de las almendras de cacao por gradiente altitudinal.

Fuente: Elaboración propia.

El ANAVAR para las cosechas 2019 y 2020, evidencia diferencias altamente significativas,  $p < 0,01$ ,  $F_c = 3,63$ , entre los rendimientos medios de los seis gradientes altitudinales. La interacción gradiente\*cosecha también produjo diferencias significativas, al 5 %, ( $F_c = 2,94$ ), siendo el principal aportador de tal diferencia el gradiente de 801-1000 m.s.n.m.

En la prueba de Tukey se conformaron dos grupos homogéneos dentro de sí y heterogéneos entre sí; uno conformado por los gradientes desde 201-400 m.s.n.m. hasta 1001-1200 m.s.n.m. y; el otro por los gradientes < 200 m.s.n.m. y 1001-1200 m.s.n.m. La diferencia entre ambos grupos es aportada por los pesos medios extremos de los gradientes < 200 m.s.n.m. (123,9 g) y 801-1000 m.s.n.m. (147,40 g).

Estudios realizados al respecto tienen correspondencia con los hallazgos de la presente investigación. Sitohang y Siahaan [19] hallaron que el tamaño de las mazorcas de cacao, el peso seco de las almendras y el número de granos por fruto se incrementaron con la altitud y las mejores características del cacao se encontraron a 600 m.s.n.m. Vithva et al. [20] encontraron una correlación significativa y positiva entre los pesos de los granos secos y el rendimiento por árbol; mientras que Walque [21] afirma que a mayores altitudes obtienen granos más pesados en comparación con los gradientes más bajos, atribuidos estos resultados a las condiciones climáticas y a la presencia de plagas y enfermedades.

Los factores genéticos de los granos y las condiciones ambientales intervienen en el peso de los granos de cacao [22] al asociarse la altitud con climas más fríos que influyen en la duración de la fructificación y, por ende, en el peso y calidad del cacao. No obstante, Kunikullava et al. [23] consideran que la influencia ambiental es mínima en la expresión genética de los granos de cacao. García-Cruzatty et al. [24] establecieron una relación de las variaciones climáticas con la producción de polen y la reproducción del cacao y que influyen en la productividad y rentabilidad [25].

Con condiciones climáticas más cálidas, los árboles de cacao luchan por conseguir suficiente agua durante la época de crecimiento, restringiendo así el desarrollo de las vainas, que contienen el grano. Estudios reportados por organizaciones internacionales [26], [27] e investigadores [9], [28], [10] atribuyen el impacto de las variaciones climáticas en la cantidad, calidad y productividad del cacao y en el desplazamiento del cultivo hacia pisos altitudinales altos en búsqueda de mejores condiciones climáticas para su desarrollo. El árbol de cacao es muy sensible a los aumentos de las temperaturas, sequías prolongadas y a la infestación de plagas y enfermedades [16], [4].

Asimismo, la altitud y el clima influyen en las características químicas de los granos al encontrarse evidencias del incremento en la producción de polifenoles [29] y en el perfil isotópico de los granos de cacao [30], [31] en mayores gradientes altitudinales.

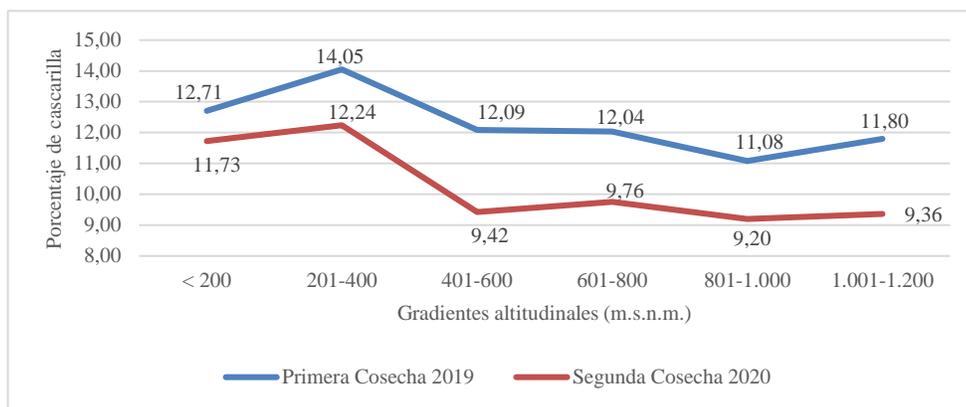
**b. Porcentajes de cascarillas en las almendras de cacao por gradiente altitudinal**

El porcentaje de cascarillas (testas) de las almendras de cacao muestra fluctuaciones entre los gradientes altitudinales (tabla 2 y figura 2). Los mayores porcentajes de cascarillas se encuentran en los gradientes que comprenden altitudes entre los 0 m.s.n.m. hasta los 400 m.s.n.m., y los porcentajes más bajos están en los gradientes de 601-800 m.s.n.m. (10,90 %), 801-1000 m.s.n.m. (10,14 %) y 1001-1200 m.s.n.m. (10,58 %). Estos últimos gradientes, de acuerdo a la clasificación de la Federación de Cacaoteros de Colombia (2012), reúnen almendras con porcentajes de cascarillas inferiores al 11 % e Índice de Grano superior al 1,2 g. con calidades del cacao para la exportación.

Tabla 2: Tendencias del porcentaje de cascarillas de las almendras de cacao por gradiente altitudinal.

Gradiente (m.s.n.m.)	Cosechas (año)	Mediana (%)	Media (%)	Desviación (%)	C.V (%)	Min. (%)	Máx. (%)	Intervalo de confianza (95%)	
General	2019	12,00	12,29	2,06	16,74	6,90	17,24	11,56	13,03
	2020	9,38	10,29	2,95	28,67	3,85	17,24	9,23	11,34
<200	2019	12,12	12,71	3,31	26,03	8,33	17,24	8,60	16,82
	2020	11,54	11,73	3,35	28,59	8,33	17,24	7,57	15,89
201-400	2019	13,94	14,05	0,92	6,52	13,12	15,39	12,91	15,18
	2020	11,54	12,24	2,70	22,06	8,70	15,39	8,89	15,59
401-600	2019	12,00	12,09	0,41	3,35	11,58	12,50	11,59	12,59
	2020	7,69	9,42	2,39	25,41	7,69	12,50	6,45	12,40
601-800	2019	12,00	12,04	3,26	27,09	6,90	15,63	7,99	16,09
	2020	9,09	9,76	2,23	22,83	8,00	13,64	6,99	12,53
801-1000	2019	11,11	11,08	0,79	7,15	10,00	12,12	10,09	12,06
	2020	9,38	9,20	3,22	35,01	3,85	12,00	5,20	13,21
1001-1200	2019	11,77	11,80	1,06	8,90	10,35	13,33	10,50	13,11
	2020	7,69	9,36	3,50	37,43	6,67	15,39	5,01	13,71

Fuente: Elaboración propia.



Grafica 2: Tendencias del porcentaje de cascarillas de las almendras de cacao por gradiente altitudinal.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la varianza, para ambas cosechas, no indicó la presencia de diferencias significativas entre las medias de los porcentajes de los pesos de las cáscaras ( $F_c=0,57$ ) entre los pisos altitudinales, y para la relación piso-cosecha ( $F_c=0,21$ ), por lo que se infiere que el peso de cascarillas es similar en cada gradiente altitudinal.

Los resultados revelan que el porcentaje de cascarilla en los 6 gradientes altitudinales tienen una media general de  $12,29\% \pm 2,06\%$  para la cosecha 2019 y  $10,24\% \pm 2,95\%$  para la cosecha 2020. Estudios realizados por Quintana et al. [32], en la montaña santandereana de Colombia, con materiales vegetales similares a los utilizados en esta investigación (CCN-51, ICS-60 y ICS-95) indican que los porcentajes de cascarillas oscilaron entre el 10,05% hasta el 16,22% y establecieron una relación inversamente proporcional con respecto al tamaño del grano, es decir a mayor tamaño del grano el porcentaje de cascarilla es menor. Estos valores se corresponden con los valores obtenidos en la investigación al obtener las almendras porcentajes mínimos de cascarilla de  $9,36\% \pm 3,50\%$  (gradiente 1001-1200 m.s.n.m.) y máximos de  $14,05\% \pm 0,92\%$  en el gradiente de 201-400 m.s.n.m.

Asimismo, Vera, Veliz y Herrera [33] reportan contenidos de testa en granos fermentados del 17.11% en 13 clones elites de Ecuador y; en Perú, Ecuador y Venezuela. Andrade et al. [34], para el clon CCN-51, refieren que los porcentajes de cascarillas fueron de  $12,33\% \pm 0,34\%$ ;  $10,05\% \pm 0,54\%$  y; entre 14,8%-15.1%, respectivamente.

Resalta en los resultados de esta investigación la relación negativa entre el porcentaje de cascarillas y el piso altitudinal derivado de mayores tamaños de las almendras en los gradientes superiores.

**c. Morfología de las almendras de cacao**

**1. Longitud de las almendras de cacao por gradiente altitudinal**

Los datos obtenidos muestran una tendencia al incremento de la longitud de la almendra al aumentar la altitud de las zonas de cultivo (tabla 3 y figura 3), con excepción de los gradientes 2 y 6. Los pisos 5 y 3 presentan las mayores longitudes promedios con  $2,43\text{ cm} \pm 0,25\text{ cm}$  y  $2,39\text{ cm} \pm 0,23\text{ cm}$ , respectivamente, mientras que los menores valores los obtienen los pisos 1 y 2 con  $2,30\text{ cm} \pm 0,30\text{ cm}$  y  $2,29\text{ cm} \pm 0,23\text{ cm}$ ,

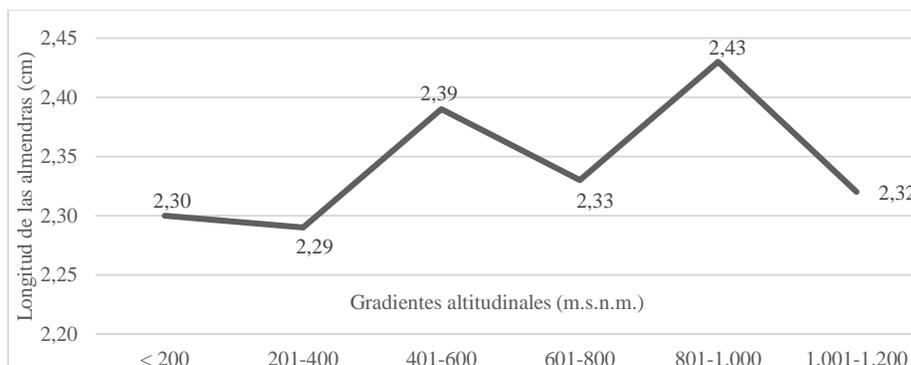
respectivamente. En el piso 5 se encontraron las almendras más grandes (1,90 cm- 3,10 cm) y en el gradiente 6 las almendras más pequeñas (1,60 cm-3,00 cm).

El piso altitudinal 6 (1001-1200 m.s.n.m.) presenta valores por debajo de la media general (2,34 cm  $\pm$  0,26 cm) con 2,32 cm  $\pm$  0,28 cm, observándose un quiebre en el crecimiento de la tendencia de los pisos 2, 3 y 5.

Tabla 3: Longitud de las almendras de cacao por gradiente altitudinal (cm).

Pisos	Gradientes (m.s.n.m.)	Mediana	Media	Desviación	C.V. (%)	Min	Max	Intervalo de Confianza (95%)	
General		2,30	2,34	0,26	11,03	1,60	3,10	2,32	2,36
Piso 1	< 200	2,30	2,30	0,30	12,95	1,70	2,90	2,24	2,36
Piso 2	201-400	2,25	2,29	0,23	9,96	1,80	3,00	2,24	2,33
Piso 3	401-600	2,40	2,39	0,23	9,51	1,80	2,90	2,34	2,43
Piso 4	601-800	2,30	2,33	0,23	10,07	1,80	3,00	2,29	2,38
Piso 5	801-1.000	2,40	2,43	0,25	10,19	1,90	3,10	2,38	2,48
Piso 6	1.001-1.200	2,20	2,32	0,28	12,16	1,60	3,00	2,27	2,38

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 3: Longitud de las almendras de cacao por gradiente altitudinal.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la varianza determinó la existencia de diferencias significativas entre los pisos altitudinales,  $F_c=4,72$ , por lo que se infiere que la altitud es un factor que influye en la longitud de las almendras de cacao. La prueba de Tukey estableció la distribución diferenciada de los grupos de los pisos 3, 4, 5 y 6 (mayores valores promedios) con respecto a los pisos 1 y 2, lo que corrobora los hallazgos del análisis descriptivo y de la varianza.

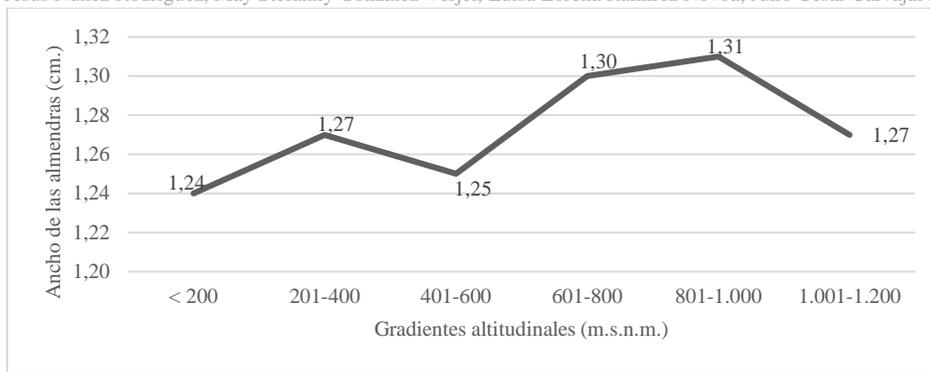
## 2. Ancho de las almendras de cacao por gradiente altitudinal

En la medición del ancho de las almendras de cacao se encontró que la media general para todos los gradientes altitudinales fue de 1,27 cm  $\pm$  0,15 cm y los pisos con mayores valores fueron el 5 con 1,31 cm  $\pm$  0,16 cm y el gradiente 4 con un promedio de 1,30 cm  $\pm$  0,14 cm. Las magnitudes menores se hallaron en los gradientes 1 con 1,24 cm  $\pm$  0,16 cm y el 3 con un promedio de 1,25 cm  $\pm$  0,14 cm. En el piso 1 se localizaron los valores mínimos (0,90 cm) y máximos (1,90 cm) del ancho de las almendras. Esta variabilidad se evidencia en el coeficiente de variación del 13,29%, el más alto de las muestras analizadas (tabla 4 y figura 4).

Tabla 4: Ancho de las almendras de cacao por piso altitudinal (cm).

	Gradientes (m.s.n.m.)	Mediana	Media	Desviación	C.V. (%)	Min	Max	Intervalo de Confianza (95%)	
General		1,30	1,27	0,15	11,80	0,90	1,90	1,26	1,29
Piso 1	< 200	1,20	1,24	0,16	13,29	0,90	1,90	1,20	1,27
Piso 2	201-400	1,30	1,27	0,13	10,50	0,90	1,60	1,25	1,30
Piso 3	401-600	1,20	1,25	0,14	10,91	0,90	1,50	1,22	1,27
Piso 4	601-800	1,30	1,30	0,14	11,10	1,00	1,70	1,27	1,33
Piso 5	801-1.000	1,30	1,31	0,16	11,83	1,00	1,80	1,29	1,35
Piso 6	1.001-1.200	1,20	1,27	0,15	11,97	1,00	1,70	1,24	1,30

Fuente: Elaboración propia.



Grafica 4: Ancho de las almendras de cacao por gradiente altitudinal.  
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la varianza para el ancho de las almendras de cacao comprobó que existen diferencias significativas entre los gradientes altitudinales para los anchos de las almendras ( $F_c=4,60$ ). La prueba de Tukey indicó la conformación de dos grupos homogéneos, los pisos 5, 4, 2 y 6 con los mayores valores de medias y los pisos 3 y 1 con los promedios más bajos en el ancho de las almendras.

### 3. Espesor de las almendras de cacao por gradiente altitudinal

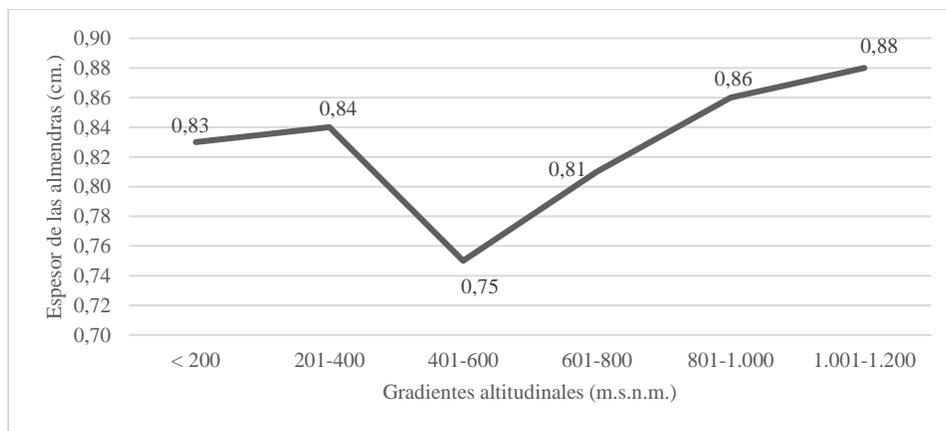
La media general para los espesores de las almendras de cacao en los 6 gradientes altitudinales fue de  $0,83 \text{ cm} \pm 0,11 \text{ cm}$ . Los pisos 6 y 5 obtuvieron los mayores promedios con  $0,88 \text{ cm} \pm 0,11 \text{ cm}$  y  $0,86 \text{ cm} \pm 0,11 \text{ cm}$ , respectivamente. El menor valor promedio se observó en el piso 3 con  $0,75 \text{ cm} \pm 0,14 \text{ cm}$  (tabla 5, figura 5). Los valores mínimos para el espesor se encontraron en los pisos 1, 2, 3 y 4 ( $0,50 \text{ cm}$ ) y los valores máximos en los gradientes 5 y 6 ( $0,60 \text{ cm}$ ). En el piso 1 se halló el máximo valor del espesor con  $1,40 \text{ cm}$ .

Tabla 5: Espesor de las almendras de cacao por gradiente altitudinal (cm).

	Gradientes (m.s.n.m.)	Mediana	Media	Desviación	C.V. (%)	Mín	Max	Intervalo de Confianza (95%)	
General		0,80	0,83	0,14	16,48	0,50	1,40	0,82	0,84
Piso 1	< 200	0,80	0,83	0,14	16,29	0,50	1,40	0,80	0,86
Piso 2	201-400	0,80	0,84	0,14	17,10	0,50	1,10	0,81	0,87
Piso 3	401-600	0,70	0,75	0,14	19,38	0,50	1,00	0,72	0,77
Piso 4	601-800	0,80	0,81	0,13	16,18	0,50	1,20	0,79	0,84
Piso 5	801-1.000	0,80	0,86	0,11	13,25	0,60	1,10	0,84	0,88
Piso 6	1.001-1.200	0,90	0,88	0,11	12,48	0,60	1,10	0,85	0,90

Fuente: Elaboración propia.

La figura 5 permite observar una tendencia de aumento del espesor de las almendras desde los 600 hasta los 1200 m.s.n.m., correspondientes a los pisos 4, 5 y 6.



Grafica 5: Espesor de las almendras de cacao por gradiente altitudinal.  
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis de la varianza indican que existen niveles significativos de diferencias entre las medias entre los pisos altitudinales ( $F_c=12,2$ ), evidenciando la influencia de la altitud en el espesor de las almendras de cacao. En el espesor de las almendras de cacao la prueba de Tukey discriminó la agrupación de las muestras con mayores espesores en los pisos 6, 5, 2, 1 y 4 y al piso 3 con el menor espesor observado.

### 4. Volumen de las almendras de cacao por gradiente altitudinal

El cálculo de los volúmenes promedio de las muestras de cacao (con base a los datos de largo, ancho y espesor) permite determinar que los pisos 5 (801-1000 m.s.n.m.) y 6 (1001-1200 m.s.n.m.) presentan los volúmenes de almendras mayores con medias de  $2,766 \text{ cm}^3 \pm 0,635 \text{ cm}^3$  y  $2,607 \text{ cm}^3 \pm 0,646 \text{ cm}^3$ , respectivamente. La media general fue de  $2,486 \text{ cm}^3 \pm 0,655 \text{ cm}^3$ . El piso 3 obtuvo el menor volumen promedio con

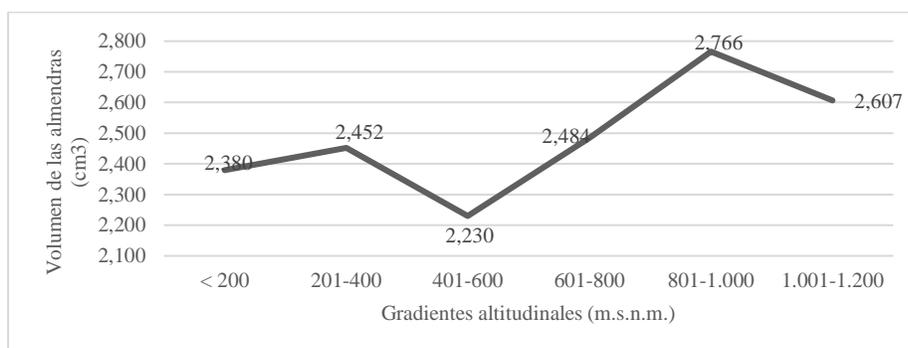
2,230 cm<sup>3</sup> ± 0,585 cm<sup>3</sup> (tabla 6). El valor puntual del volumen máximo se encontró en el piso 1 con 5,49 cm<sup>3</sup> y el mínimo en el piso 3 con 1,04 cm<sup>3</sup>.

Tabla 6: Volumen de las almendras de cacao por gradiente altitudinal (cm<sup>3</sup>).

	Gradientes (m.s.n.m.)	Mediana	Media	Desviación	C.V. (%)	Mín	Max	Intervalo de Confianza (95%)	
General		2,400	2,486	0,654	26,29	1,04	5,49	2,43	2,54
Piso 1	< 200	2,296	2,380	0,713	29,94	1,05	5,49	2,24	2,52
Piso 2	201-400	2,461	2,452	0,578	23,58	1,44	3,78	2,34	2,57
Piso 3	401-600	2,265	2,230	0,585	26,24	1,04	4,05	2,11	2,35
Piso 4	601-800	2,376	2,484	0,640	25,74	1,54	4,50	2,36	2,61
Piso 5	801-1.000	2,667	2,766	0,635	22,95	1,67	4,31	2,64	2,89
Piso 6	1.001-1.200	2,534	2,607	0,646	24,77	1,44	4,93	2,48	2,74

Fuente: Elaboración propia.

Este último análisis descriptivo corrobora las estimaciones realizadas del largo, ancho y espesor de las almendras de cacao al determinar una relación positiva entre la altitud y el volumen de las semillas (figura 6). Se observa una tendencia definida al incremento del volumen desde los gradientes 4 al 6, con un punto de inflexión en el piso 3 (401-600 m.s.n.m.).



Gráfica 6: Volumen de las almendras de cacao por gradiente altitudinal.

Fuente: Elaboración propia.

El ANAVAR del volumen de las almendras de cacao determinó que existen diferencias significativas entre los pisos altitudinales ( $F_c=8,52$ ). La prueba de Tukey indicó la conformación de 3 grupos diferenciados, el primero representado por los pisos 5, 6 y 4 con los mayores valores de las medias (2,766 cm<sup>3</sup>, 2,607 cm<sup>3</sup> y 2,484 cm<sup>3</sup>, respectivamente); el segundo constituido por los pisos 2 (2,452 cm<sup>3</sup>) y 1 (2,380 cm<sup>3</sup>) y; el tercero, por el piso 3 con 2,229 cm<sup>3</sup> de volumen promedio.

La morfología de las almendras de cacao es la resultante de la expresión genética de los materiales cultivados, las condiciones de fertilidad de los suelos, la edad de los árboles y el entorno climático donde se desarrollan las plantas. Al respecto, Sánchez et al. [35] afirman que el tamaño de la semilla del cacao es un carácter genético heredable y las dimensiones de las almendras aumentan durante la fermentación y disminuyen en el secado; Walque [21] observó que las plantas de mayor edad, ubicadas en pisos altitudinales bajos, producen granos pequeños; Castillo-Álvarez et al. [36] consideran la existencia de alteraciones de las propiedades físicas y químicas de los suelos por efecto de las variaciones climáticas que afectan a los cultivos y; Minimol et al. [6] consideran que las precipitaciones, las temperaturas y la humedad relativa son los factores climáticos de mayor influencia en el rendimiento del cacao.

El tamaño de las almendras de cacao está directamente relacionado con el peso de los granos [33] y es inversamente con el porcentaje de cascarillas [34], siendo factores que afectan la rentabilidad y sostenibilidad económica de la producción de cacao. Asimismo, la variabilidad climática a lo largo de la faja altitudinal productora de cacao influye en el tamaño de las almendras por estar sujetos los cultivos a continuos estrés hídrico y térmico [37], [38], que merma la productividad y calidad de los granos [39] y constituye un componente importante que presiona a la migración o desplazamiento hacia gradientes altitudinales superiores [40], [41].

#### IV. CONCLUSIONES

La media general de los pesos de las almendras fue de 138,67 g con desviación de ± 13,84 g y CV de 9,98% para la cosecha 2019 y; media de 130,32 g, desviación de ± 16,46 g y CV de 12,63% para la cosecha 2020.

Los valores más bajos del peso de las almendras se presentaron en el gradiente altitudinal de 0-200 m.s.n.m. con medias de 130,6 g, desviación de ± 17,40 g y CV de 13,22% en la cosecha 2019 y; media de 117,20 g, desviación de ± 14,85 g y CV de 12,67% para la cosecha 2020.

Los valores más altos del peso de las almendras se obtuvieron en el gradiente altitudinal de 801-1000 m.s.n.m. con medias de 147,47 g, desviación de ± 10,36 g y CV 7,02% para la cosecha 2019 y; media de 147,33 g, desviación de ± 12,29 g y CV 8,34% en la cosecha 2020.

La media general para los porcentajes de cascarillas fue de 12,29 g, con desviación de ± 2,06 % y CV de 16,74% para la cosecha 2019 y; media de 10,29 g, desviación de ± 2,95% y CV de 28,67% para la cosecha 2020.

Los valores más altos del porcentaje de cascarillas se localizaron en el gradiente altitudinal de 201-400 m.s.n.m. con media de 14,05 %, desviación de ± 0,92% y CV de 6,52% en la cosecha 2019 y; media de 12,24%, desviación de ± 2,70% y CV de 22,06% en la cosecha 2020.

Los valores más bajos del porcentaje de cascarillas se presentaron en el gradiente altitudinal de 801-1000 m.s.n.m. con media de 11,08%, desviación de  $\pm 0,79\%$  y CV de 7,17% en la cosecha 2019 y; media de 9,20%, desviación de  $\pm 9,20\%$  y CV de 35,01% en la cosecha 2020.

Los resultados permiten determinar una relación positiva entre la altitud y el peso de las almendras de cacao al obtenerse los mayores pesos entre los gradientes altitudinales comprendidos entre los 801 m.s.n.m. y los 1200 m.s.n.m. y; los menores pesos se presentaron en la franja comprendida entre los 0 m.s.n.m. hasta los 600 m.s.n.m.

Los valores de la cascarilla evidencian una relación inversamente proporcional con respecto a la altitud, es decir a mayor altitud el peso de las almendras es mayor y el porcentaje de cascarilla disminuye.

Se determinó que existe una relación positiva entre la altitud y las características morfológicas de las almendras de cacao, ubicándose los mejores promedios en los gradientes altitudinales 4 (601 m.s.n.m.-800 m.s.n.m.), 5 (801m.s.n.m.-1000 m.s.n.m.) y 6 (1001 m.s.n.m.-1200 m.s.n.m.). La franja entre los 601 m.s.n.m. y los 1000 m.s.n.m. presenta los promedios más altos y sobre los 1001 m.s.n.m. se observa un punto de inflexión en el crecimiento de los rasgos morfológicos de las semillas.

Aunque los resultados de la investigación son preliminares coinciden con estudios realizados sobre la relación entre la altitud y las características físicas de las almendras de cacao, el principal aporte de esta indagación es la determinación de la ubicación específica de los gradientes altitudinales donde ocurren los cambios significativos en el peso, porcentaje de cascarilla y volumen de las semillas, ausentes en los estudios revisados, y, por lo tanto, constituye un insumo de nuevo conocimiento útil para la toma de decisiones de las instituciones promotoras del desarrollo del cultivo en la entidad.

Los hallazgos de la investigación abren nuevos ejes temáticos de estudio para evaluar en forma integral los factores asociados a la influencia de la altitud como son los efectos de las variaciones climáticas, modelos o arreglos del cultivo, buenas prácticas agronómicas, tecnologías para la fermentación y el secado, la incidencia de las plagas y enfermedades, entre muchas otras causas. Asimismo, es importante evaluar el comportamiento de los componentes químicos de las almendras en diferentes gradientes altitudinales.

## V. REFERENCIAS

- [1] K. Mora y J. Cortes, J, “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), 137-164, 2021. <http://dx.doi.org/10.18273/revanu.v26n2-2021005>.
- [2] P. Bermeo y J. Ospina-Noreña, 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, 2017. <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>.
- [3] A. Jaramillo-Robledo, Clima andino y café en Colombia. CENICAFÉ, 2005. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/859/1/Portada.pdf>.
- [4] W. Phillips, Impacto del cambio climático sobre el cacao y sus enfermedades. VIII Foro Nacional de Cacao, Producción y Productividad: es nuestra responsabilidad, 2015. [http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/10/impacto\\_del\\_cambio\\_climatico\\_en\\_el\\_cacao-wilbert-phillips.pdf](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/10/impacto_del_cambio_climatico_en_el_cacao-wilbert-phillips.pdf).
- [5] F. Zul, T. Kaimuddin & Rafiuddin, “Analysis of climate and population dynamics of Conomoporpha cramerella pest in North Luwu”. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci, 486(1), 012084, 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/486/1/012084>.
- [6] J. Minimol, T. Shija, B. Suma, P. Chithira & K. Shilpa, “Seasonal variation in yield and yield contributing characters of selected cocoa clones”. Journal of Plantation Crops 47(3)173-179, 2019. <https://doi.org/10.25081/jpc.2019.v47.i3.6053>.
- [7] C. Quintos, Evaluación del daño de Antiteuchus sp en frutos de cacao (Theobroma cacao L.) en el valle del Bajo Mayo, región San Martín. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, Perú]. 58 pp, 2019. <http://hdl.handle.net/11458/3323>.
- [8] I. Famuwagun, S. Agele & O. Aiyelari, “Shade Effects on Growth and Development of Cacao Following Two Years of Continuous Dry Season Irrigation”. International Journal of Fruit Science 18 (2), 153-176, 2018. <https://doi.org/10.1080/15538362.2017.1416326>.
- [9] J. Albiño, Influencia del cambio climático en la producción de los cultivos de cacao en el cantón Shushufind. [Tesis de Maestría, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador]. 145 pp, 2019. <http://hdl.handle.net/10644/6890>.
- [10] C. Bunn, M. Lundy & F. Castro, Replication Data for: The impact of climate change on cacao production in Central America and the Caribbean. CIAT - International Center for Tropical Agriculture Dataverse (CIAT). 34 pp, 2019. <https://doi.org/10.7910/DVN/QUKZTO>.
- [11] L. González, Estudio de vulnerabilidad al cambio climático en bosques secos tropicales (BS-T) en el municipio de Policarpa del Departamento de Nariño, para el empoderamiento y toma de decisiones. [Tesis de Licenciatura, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá]. 72 pp, 2018. <http://hdl.handle.net/11349/13061>.
- [12] W. Vergara, A. Ríos, P. Trapido & H. Malarín, Agricultura y clima futuro en América Latina y el Caribe: Impactos sistémicos y posibles respuestas. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2014. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Agricultura-y-clima-futuro-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-impactos-sist%C3%A9micos-y-posibles-respuestas.pdf>.
- [13] IPCC-Panel Intergubernamental del Cambio Climático, Quinto informe para América Latina y el Caribe. ¿Qué implica para Latino América?, 2014. <https://cdkn.org/wp-content/uploads/2014/12/INFORME-del-IPCC-Que-implica-para-Latinoamerica-CDKN.pdf>.
- [14] Y. Aguirre, “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”. Revista Luna Azul, 36, 55-69, 2013. [http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Lunazul36\\_5.pdf](http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Lunazul36_5.pdf).
- [15] E. Arcentales, Variación en la potencial distribución del cultivo de cacao en la Región Costa del Ecuador para el año 2050, debido al cambio climático. [Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador] 124 pp, 2019. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15980>.
- [16] K. De Sousa, M. Van Zonneveld, M. Holmgren, R. Kindt. & J. Ordoñez, “The future of coffee and cocoa agroforestry in a warmer Mesoamerica”. Scientific Reports 9, 8828, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45491-7>.

- [17] CORPONOR-Corporación Autónoma de la Región Nororiental, Plan de educación ambiental para el departamento Norte de Santander 2008 – 2013: “Educación ambiental: un reto para la reconstrucción del tejido social”, 2008. <https://corponor.gov.co/images/Plan%20%20Dptal%20Ed.Amb%20CIDEA.pdf>.
- [18] Toda Colombia, Clima Norte de Santander. <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/norte-de-santander/clima.html>, 2019.
- [19] N. Sitohang & R. Siahaan, “Fruit Characteristics of Cocoa in Various Altitude Place”. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 205(1), 2018. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/205/1/012022>.
- [20] K. Vithya, S. Balakrishnan, V. Jegadeeswari & P. Jeyakumar, “Evaluation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) genotypes for pod and bean characters”. Journal of Plantation Crops 46(3), 169-172, 2018. <http://dx.doi.org/10.25081/jpc.2018.v46.i3.2086>.
- [21] B. Walque, Biophysical control on cocoa quality in Santander, Colombia. [Tesis de Maestría, Ghent University], Belgic. 95 pp, 2018. [https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/505/624/000011113066\\_2021\\_0001\\_AC.pdf](https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/505/624/000011113066_2021_0001_AC.pdf).
- [22] F. Doaré, F. Ribeyre & C. Cilas, “Genetic and environmental links between traits of cocoa beans and pods clarify the phenotyping processes to be implemented”. Scientific Reports 10, 9888, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66969-9>.
- [23] A. Kunikullaya, J. Suresh, S. Balakrishnan, M. Kumar, P. Jeyakumar, N. Kumaravadivel & V. Jegadeeswari “Estimation of variability parameters for certain quantitative traits in cocoa (*Theobroma cacao* L.) genotypes”. Electronic Journal of Plant Breeding 9(4), 1538-1544, 2018. <https://doi.org/10.5958/0975-928X.2018.00190.4>.
- [24] L. García-Cruzatty, L. Vera-Pinargote, F. Zambrano-Gavilanes, A. Zamora-Macías & J. Cedeño-Ortega, “Pollen production in *Theobroma cacao* L. genotypes national type and ccn-51 and its relationship with climatic factors on the ecuadorian coast”. Acta Agrobotanica 73(2), 7323, 2020. <https://doi.org/10.5586/AA.7323>.
- [25] L. Wilson, N. Cryer & E. Haughey, “Simulation of the effect of rainfall on farm-level cocoa yield using a delayed differential equation model”. Scientia Horticulturae 253, 371-375, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.016>.
- [26] BID-Banco Interamericano de Desarrollo, Agricultura y clima futuro en América Latina y el Caribe: Impactos sistémicos y posibles respuestas, 2014. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Agricultura-y-clima-futuro-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-impactos-sist%C3%A9micos-y-posibles-respuestas.pdf>.
- [27] IICA-Instituto Interamericano de Agricultura Tropical, Estado actual sobre la producción, el comercio y cultivo del cacao en América, 2016. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6422>.
- [28] L. Ameyaw, G. Ettl, K. Leissle & G. Anim-Kwapong, “Cocoa and Climate Change: Insights from Smallholder Cocoa Producers in Ghana Regarding Challenges in Implementing Climate Change Mitigation Strategies”. Forest. 9(2), 742, 2018. <https://doi.org/10.3390/f9120742>.
- [29] L. Carrillo, J. Londoño-Londoño & A. Gil, “Comparison of polyphenol, methylxanthines and antioxidant activity in *Theobroma cacao* beans from different cocoa-growing areas in Colombia”. Food Research International 60, 273-280, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.019>.
- [30] D. Diomande, I. Antheaume, M. Leroux, J. Lalande, S. Balayssac, G. Remaud & I. Tea, “Multi-element, multi-compound isotope profiling as a means to distinguish the geographical and varietal origin of fermented cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans”. Food Chemistry 188, 576-582, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.040>.
- [31] M. Perini, L. Bontempo, L. Ziller, A. Barbero, A. Caligiani & F. Camin, “Stable isotope composition of cocoa beans of different geographical origin”. Journal of Mass Spectrometry, 51(9), 684-689, 2016. <http://dx.doi.org/10.1002/jms.3833>.
- [32] L. Quintana, S. Gómez, A. García y N. Martínez, “Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia”. Revista de Investigación Agraria y Ambiental 6(1), 252-265, 2015. <http://dx.doi.org/10.22490/21456453.1284>.
- [33] J. Vera, B. Veliz y N. Herrera, “Calidad física de almendras en veintidós cruces interclonales de cacao (*Theobroma Cacao* l.) en Ecuador”. Universidad y Sociedad 11(2), 402-408, 2019. <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>.
- [34] J. Andrade-Almeida, J. Rivera-García, G. Chire-Fajardo y M. Ureña-Peralta, “Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao *Theobroma cacao* L. de Ecuador y Perú”. Enfoque UTE 10(4), 1-12, 2019. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.462>.
- [35] E.G. Sánchez, L.P. García, S. Dugarte, D. Mendoza y C. Rivas-Echeverría, “Características físico-químicas de granos de cacao de los estados Aragua, Mérida, Miranda y Zulia de la República Bolivariana de Venezuela”. Conocimiento Libre y Licenciamiento (CLIC), (15), 2017. <https://convite.cenditel.gob.ve/revistaclic/index.php/revistaclic/article/view/878>.
- [36] I. Castillo-Álvarez, I. Nikolskii-Gavrilov, C. Ortiz-Solorio, H. Vaquera-Huerta, G. Cruz-Bello, E. Mejía-Sáenz y A. González-Hernández, “Alteración de la fertilidad del suelo por el cambio climático y su efecto en la productividad agrícola”. Interciencia, 32(6), 365, 2007. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442007000600004&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000600004&lng=es&tlng=es).
- [37] L. Gu, S. Pallardy, K. Hosman & Y. Sun, “Impacts of precipitation variability on plant species and community water stress in a temperate deciduous forest in the central US”. Agricultural and Forest Meteorology, 217, 120-136, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.014>.
- [38] H. Silveira et al., “Impacts of water deficit in ecophysiological and spectral responses of coffee intercropped with woody species”. Coffee Science, 11(3), 318-328, 2016. <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v11i3.1085>.
- [39] M. Lachaud, B. Bravo-Ureta & C. Ludena, “Agricultural productivity in Latin America and the Caribbean in the presence of unobserved heterogeneity and climatic effects” Climatic Change, 143, 445-460, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2013-1>.
- [40] A. Hsiung, W. Boyle, R. Cooper & R. Chandler, “Altitudinal migration: ecological drivers, knowledge gaps, and conservation implications”. Biological Reviews, 93(4), 2049-2070, 2018. <https://doi.org/10.1111/brv.12435>.
- [41] A. Sherbinin de et al., “Migration and risk: net migration in marginal ecosystems and hazardous areas, England”. Environmental Research Letters, 7(4), 1-14, 2012. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/045602>.