



Factores climáticos en el desarrollo y producción de cacao en Úrsulo Galván, Veracruz, México*

Climatic factors in the development and production of cocoa in Ursulo Galvan, Veracruz, Mexico

Ignacio Garay-Peralta¹, Manuel Villarruel-Fuentes¹, Antonio Luna Díaz-Peón², Rómulo Chávez-Morales¹, Jesús Herrera-Alarcón¹

* Recepción: 8 de marzo, 20223. Aceptación: 3 de agosto, 2023. Este trabajo formó parte del proyecto de investigación financiado por el Tecnológico Nacional de México, con el folio: 10205.21-P.

¹ Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Carretera Cardel-Chachalacas km 4.5, en Úrsulo Galván, Veracruz. México. ignacio.gp@ugalvan.tecnm.mx (autor para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0003-3091-5255>), manuel.vf@ugalvan.tecnm.mx (<https://orcid.org/0000-0002-1174-0528>), romulo.cm@ugalvan.tecnm.mx (<https://orcid.org/0000-0002-8450-3101>), jesus.ha@ugalvan.tecnm.mx (<https://orcid.org/0000-0001-6904-8617>).

² Universidad Veracruzana, Facultad de Biología, Centro de Investigaciones Atmosféricas y Ecológica. Sede Banderilla, Veracruz. Calle Constitución No. 5 Col. Centro. Zona Universitaria. Xalapa Veracruz, México. diazpeon@yahoo.com.mx (<https://orcid.org/0000-0002-8076-2544>).

Resumen

Introducción. El cultivo del cacao en las zonas tropicales es una alternativa comercial de interés agroecológico, que permite la diversificación productiva y el manejo sustentable de los suelos al emplear abonado orgánico. **Objetivo.** Evaluar el desarrollo de cuatro variedades de cacao (INIFAP 4, INIFAP 8, INIFAP 9 y Almendra Blanca) en las condiciones climatológicas de la región de Úrsulo Galván, Veracruz, México. **Materiales y métodos.** Se realizó un experimento, entre invierno (diciembre 2021) y verano (junio 2022), bajo un diseño completamente al azar, distribuido en cuatro tratamientos y diez repeticiones. El manejo agronómico fue convencional, se agregaron 10 kg de composta por árbol, seguidos de 3 kg de vermicompost. A los cuatro meses del estudio se incorporaron 50 g de urea, 50 g de difosfato de amonio y 50 g de cloruro de potasio. El estudio incluyó análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha 0,05$). **Resultados.** Se encontró igualdad estadística para altura, diámetro y número de ramas. La respuesta del cacao a temperatura, precipitación, humedad relativa y viento, demostró que afectaron la expresión de su potencial productivo, así como su morfología y rendimiento, no adaptándose a las condiciones climáticas en estudio. **Conclusión.** El desarrollo de las variedades en estudio fue homogéneo, con base en las condiciones climatológicas de la región Úrsulo Galván, destacándose la variedad Almendra Blanca.

Palabras claves: agricultura, climatología, fertilidad del suelo, trópico.

Abstract

Introduction. Cocoa cultivation in tropical areas is a commercially viable agroecological alternative that allows for productive diversification and sustainable soil management through the use of organic fertilization. **Objective.**



To evaluate the development of four cocoa varieties (INIFAP 4, INIFAP 8, INIFAP 9, and Almendra Blanca) under the climatic conditions of the Úrsulo Galván region, Veracruz, Mexico. **Materials and methods.** An experiment was conducted between winter (December 2021) and summer (June 2022), using a completely randomized design with four treatments and ten replications. Conventional agronomic management was employed, with the addition of 10 kg of compost per tree, followed by 3 kg of vermicompost. At four months into the study, 50 g of urea, 50 g of ammonium diphosphate, and 50 g of potassium chloride were incorporated. The study included analysis of variance and Tukey's tests (α 0.05). **Results.** Statistical equality was found for height, diameter, and number of branches. The cocoa's response to temperature, precipitation, relative humidity, and wind showed that these factors influenced the expression of its productive potential, as well as its morphology and yield, without adapting to the climatic conditions under study. **Conclusion.** The development of the studied varieties was homogeneous based on the climatic conditions of the Ursulo Galvan region, with the Almendra Blanca variety standing out.

Keywords: agriculture, climatology, soil fertility, tropics.

Introducción

Entre los requerimientos más importantes para el establecimiento del cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L) se encuentran los factores climáticos, por ser los que más afectan la intensidad de crecimiento y la floración del cultivo. La cantidad y distribución de las lluvias, además de la temperatura, son factores que limitan las zonas productoras para el desarrollo del cultivo. Por lo tanto, el conocimiento de los factores climáticos que más inciden en el cultivo, es de relevancia para expresar el potencial productivo del mismo (Suárez Venero et al., 2015).

El cultivo del cacao en las zonas tropicales es una alternativa comercial de interés agroecológico, que permite la diversificación productiva y el manejo sustentable de los suelos, al emplear abonado orgánico.

De cacao, se cultivan diez millones de hectáreas en los países tropicales, de las cuales se obtiene una producción mayor a los 4 millones de toneladas. Tan solo en México se producen 28 607 toneladas anuales (Amorim Homem de Abreu Loureiro et al., 2017; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017; Wood & Lass, 2008), lo que le permite ocupar el onceavo lugar en la producción de grano, y contribuye con el 1,2 % de la producción mundial (Bautista Morales et al., 2021). Los estados donde más se cultiva son Guerrero, Oaxaca, Tabasco y Chiapas, estos últimos dos son los principales productores (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] & Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2010). Esto determina que el cultivo de cacao se constituya en una excelente alternativa productiva para nuevas zonas de cultivo si reúnen las condiciones edafoclimáticas. En la región norte del estado de Veracruz, México, no hay productores que se dediquen a cultivar cacao; sin embargo, puede ser una opción económica para diversificar las zonas productivas, que puede beneficiar a los pequeños productores, debido a que las condiciones climáticas son favorables para el crecimiento y desarrollo de la planta (Bautista-Morales et al., 2021).

Los principales factores que intervienen en la producción del cultivo de cacao son ambientales, genéticos, tecnológicos, manejo postcosecha, fermentación, secado y tostado, identificados como fundamentales para alcanzar las características físicas y químicas de los granos (Afoakwa, 2010).

Se pronostica que en el futuro la producción de cacao a nivel mundial será insuficiente, debido a varios factores: plagas y enfermedades, plantaciones envejecidas, rendimientos limitados y consecuencias del cambio climático (Reyes-Pérez et al., 2021). Por ello, se requiere realizar investigaciones dirigidas a mitigar estas problemáticas, con el objetivo de mantener e impulsar el ritmo de producción.

Los cincuenta principales países donde se cultiva cacao, se encuentran localizados en África, América, Asia y Oceanía; el continente americano es donde se sitúa la mayor cantidad (Arévalo-Gardini et al., 2017; Montaleza

Armijos et al., 2020). Ecuador fue el primer país productor de cacao en el continente. A nivel mundial se ubicó después de Costa de Marfil, Ghana e Indonesia (Gómez García & Vignati, 2019). Pero como en muchos países, su rendimiento es bajo a causa de diversos factores, entre ellos las plagas y enfermedades. En plena cosecha, enfermedades como Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y Mancha negra (*Phytophthora* spp.), pueden causar pérdidas hasta del 90 % de la producción (Bailey et al., 2016; Anzules Toala et al., 2022). Estas enfermedades también generan problemas en México, como la baja producción.

Otro factor que afecta la producción es la densidad de población, reportándose estudios que demuestran que esta oscila entre 200 a 1000 árboles/ha, con una variación atribuible al sistema de producción de baja tecnología (Montoya-Restrepo et al., 2015; Pérez-Zúñiga et al., 2021).

Las actuales condiciones de manejo productivo del cacao hacen indispensable desarrollar investigaciones dirigidas a generar conocimiento sobre la viabilidad de las variedades disponibles en cada región, de ahí que esta investigación tuvo como objetivo evaluar el desarrollo de cuatro variedades de cacao (INIFAP 4, INIFAP 8, INIFAP 9 y Almendra Blanca) en las condiciones climatológicas de la región de Úrsulo Galván, Veracruz, México.

Materiales y métodos

Ubicación geográfica y clima

El proyecto se desarrolló en las instalaciones del Tecnológico Nacional de México, campus Tecnológico de Úrsulo Galván, el cual se ubica en las coordenadas 19° 24' 48,91" latitud norte y 96° 21' 09,10" longitud oeste, a una altura de 9 m s. n. m., en el municipio de Úrsulo Galván, Veracruz, México. El clima en la región, conforme a la clasificación climática de Köppen, es cálido subhúmedo con lluvias en verano (100 %) y con un rango promedio de temperatura de 24–26 °C, así como una precipitación de 1100 a 1300 mm; el suelo de la región corresponde al tipo feozem y vertisol (Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz, 2017).

Periodo experimental

El cultivo se estableció en octubre del 2016. El periodo experimental comprendió de diciembre 2020 a junio 2022.

Diseño experimental y distribución de los tratamientos

El arreglo experimental empleado fue completamente al azar, con cuatro variedades como tratamientos y diez repeticiones ($\Sigma = 40$ plantas de cacao). La disposición de los tratamientos incluyó: T1= INIFAP 4, T2= INIFAP 8, T3= INIFAP 9 y T4= Almendra Blanca.

Material biológico

Las cuatro variedades fueron desarrolladas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Huimanguillo, Tabasco, México y proporcionadas por la empresa Nestlé®. Es un germoplasma con altos rendimientos y resistencia a patógenos como la Moniliasis y Mancha negra. Los genotipos fueron INIFAP 4, INIFAP 8, INIFAP 9 y Almendra Blanca, se reportan con una producción de fruto entre los 700 a 1100 kg ha⁻¹ bajo condiciones de campo (SAGARPA, 2018).

Manejo agronómico

El manejo agronómico consistió en el acondicionamiento del área de estudio (limpieza y diseño topológico); se depositaron 10 kg de composta por árbol, mediante la técnica de los cuatro puntos cardinales, a una profundidad de 40 cm; además, se adicionaron 3 kg de vermicomposta bajo la misma técnica. A los cuatro meses del estudio se adicionaron 50 g de urea (46-00-00), 50 g de difosfato de amonio (18-46-00) y 50 g de cloruro de potasio (00-00-60). Se efectuó un análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha \geq 0,05$).

VARIABLES A EVALUAR

La altura de planta (m) y el diámetro de tallo (mm), se midieron a 5,0 cm de la base del suelo, mientras que el número de ramas primarias, se contaron cada quince días, del 23 de diciembre del 2020 al 23 de julio del 2021.

La temperatura (°C), la precipitación (mm), la humedad (%) y la velocidad del viento (km/h), se estimaron todos los días de julio del 2021 a junio del 2022.

Los componentes del rendimiento se evaluaron por un período e incluyeron: número de mazorcas, diámetro polar (mm) y ecuatorial de la mazorca (mm), peso del fruto (g), peso de la semilla con pulpa (g), peso seco de la semilla (g), diámetro ecuatorial (mm) y polar de la semilla (mm).

Resultados

La altura de planta obtenida en diferentes fechas de muestreo, en los cuatro materiales vegetativos, no presentó diferencias estadísticas ($\alpha \geq 0,05$), por lo que se dejó de muestrear esta variable a partir de julio del 2021.

En cuanto al diámetro de tallo (mm), hubo diferencia numérica, pero no se observó diferencia estadística ($\alpha < 0,05$), en el último muestreo (a los siete meses) el tratamiento 3 (INIFAP 9), obtuvo la menor altura (1,92 m) y diámetro (70,2 mm), condición biológica esperada en términos de la relación que suele existir entre ambas variables (Figura 1).

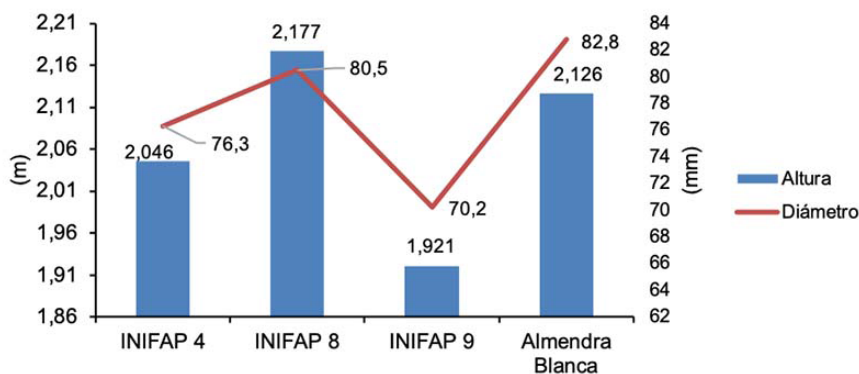


Figura 1. Diámetro (mm) y altura (m) promedio de planta de cacao (*Theobroma cacao* L). Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, México. Invierno 2020 – verano 2021.

Figure 1. Average diameter (mm) and height (m) of cocoa plants (*Theobroma cacao* L). Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, Mexico. Winter 2020 – summer 2021.

Respecto a la cantidad de ramas primarias por árbol de cacao (Figura 2), se apreció un incremento a lo largo de las diferentes fechas de muestreo (siete meses).

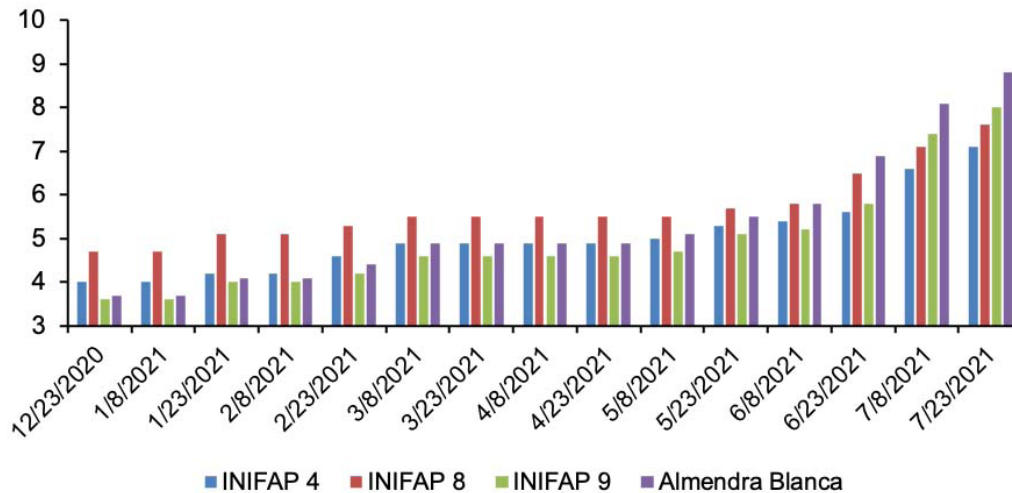


Figura 2. Número promedio de ramas en las plantas de cacao (*Theobroma cacao* L), en diferentes fechas de muestreo. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, México. Invierno 2020 – verano 2021.

Figure 2. Average number of branches on cocoa plants (*Theobroma cacao* L) at different sampling dates. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, Mexico. Winter 2020 – summer 2021.

Se observó que las variables estudiadas (altura, diámetro y número de ramas) mostraron igualdad estadística. Mientras que las variables: temperatura, precipitación, humedad relativa y viento, que prevalecieron en la región, no fueron favorables para promover la máxima expresión genética productiva de las variedades estudiadas, afectándose su morfología y rendimiento. La variedad Almendra Blanca fue la única que pudo desarrollarse aceptablemente en la región de estudio, esto indica que las condiciones climatológicas fueron adversas.

Respecto a las temperaturas, se observó que en promedio la máxima se excedió al menos en seis meses del año y que la mínima solo en un mes; sin embargo, estas temperaturas se encuentran por arriba de la condición necesaria para un adecuado desarrollo del cultivo, lo que provocó como consecuencia, aborto floral y por ende, reducción en la producción (Figura 3).

Se presentaron precipitaciones por debajo de los requerimientos del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L), en el caso del mes de julio 2 mm, en agosto 133,8 mm, en septiembre 174,2 mm y en octubre no se registraron lluvias (Figura 4).

Por un periodo de diez meses se contó con un porcentaje de humedad superior al 80 %, sin presentarse problemas por hongos en los árboles; sin embargo, posterior a la cosecha se apreció contaminación por hongos en los frutos cosechados (Figura 5).

La velocidad de los vientos, es un factor de importancia a considerar en el desarrollo del cultivo, debido a las afectaciones que presenta en los árboles de cacao en cualquier etapa fenológica, incluso en floración es más drástico debido a que afecta la producción (Figura 6).

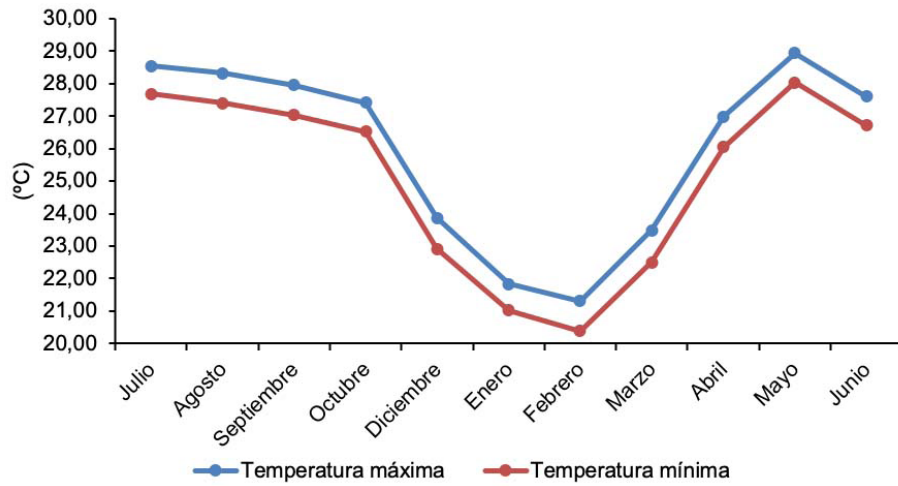


Figura 3. Temperaturas promedio, máxima y mínima, observadas durante los diferentes muestreos realizados cada mes durante el periodo de evaluación de cacao (*Theobroma cacao* L). Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, México. Invierno 2021- verano 2022.

Figure 3. Average, maximum, and minimum temperatures, observed during the monthly samplings throughout the cocoa (*Theobroma cacao* L) evaluation period. National Technological Institute of Mexico, Technological Institute of Ursulo Galvan. Ursulo Galvan, Veracruz, Mexico. Winter 2021- summer 2022.

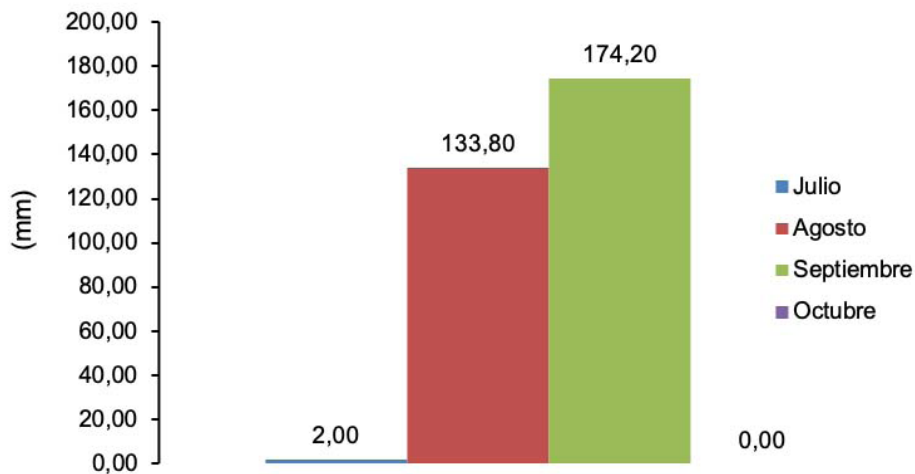


Figura 4. Precipitación promedio mensual durante los meses de evaluación de cacao (*Theobroma cacao* L). Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, México. Invierno 2021 – verano 2022.

Figure 4. Average monthly precipitation during the cocoa (*Theobroma cacao* L) evaluation months. National Technological Institute of Mexico, Technological Institute of Ursulo Galvan. Ursulo Galvan, Veracruz, Mexico. Winter 2021- summer 2022.

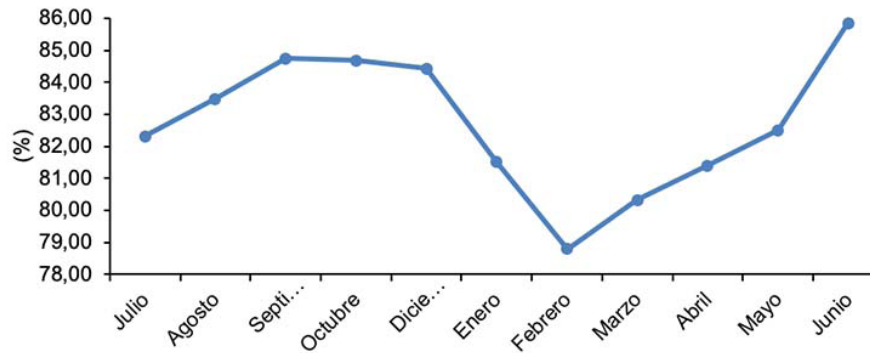


Figura 5. Humedad relativa promedio mensual observada en los muestreos realizados de julio 2021 a junio 2022. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, México. Invierno 2021 – verano 2022.

Figure 5. Average monthly relative humidity observed during samplings from July 2021 to June 2022. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, Mexico. Winter 2021 – summer 2022.

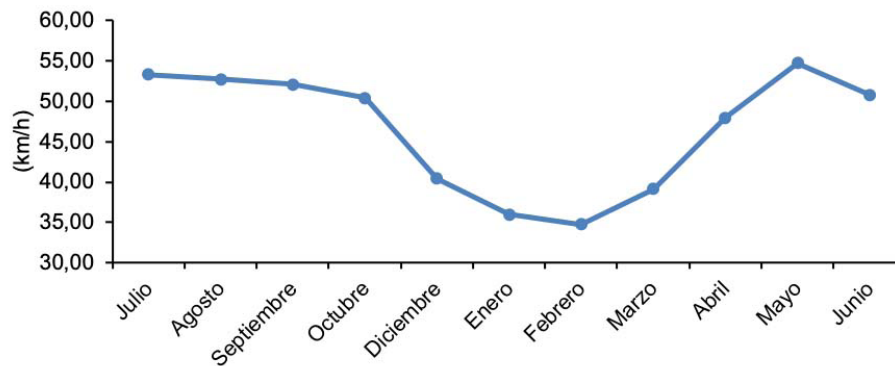


Figura 6. Velocidad promedio del viento observada cada mes durante el periodo de evaluación de cacao (*Theobroma cacao* L). Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, México. Invierno 2021 – verano 2022.

Figure 6. Average wind speed observed each month during the cocoa (*Theobroma cacao* L) evaluation period. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, Mexico. Winter 2021 – summer 2022.

Para las variables número de mazorcas, diámetro ecuatorial de la mazorca (mm), peso del fruto total (g) y peso de la semilla con pulpa (g), no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos (Tukey $\alpha \geq 0,05$) (Cuadro 1).

Al estimar las ganancias económicas, a partir del rendimiento de semilla seca de cacao, se pudo observar que existió diferencia numérica entre tratamientos, sin llegar a expresarse una diferencia estadística ($\alpha \leq 0,05$) (Cuadro 2).

Cuadro 1. Variables de producción estimadas en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L) en el corte de frutos realizado. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, México. Verano 2022.

Table 1. Estimated production variables in cocoa plants (*Theobroma cacao* L) during the fruit harvesting. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, Mexico.

	No. de mazorca	Diámetro polar (cm)	Diámetro Ecuatorial (cm)	Peso del fruto total (g)	Peso de la semilla con pulpa (g)	Peso de la semilla seca (g)	Diámetro ecuatorial semilla seca (mm)	Diámetro polar semilla seca (mm)
INIFAP 4	1,0 ^a	20,24 ^a	7,86 ^a	506,8 ^a	164,7 ^a	25,60 ^b	10,5 ^c	18,70 ^c
NIFAP 8	2,7 ^a	16,70 ^{bc}	8,10 ^a	1321 ^a	253,1 ^a	39,69 ^b	11,9 ^{ab}	20,64 ^b
INIFAP 9	1,7 ^a	15,77 ^c	7,88 ^a	795,7 ^a	132,2 ^a	37,33 ^b	11,8 ^b	22,00 ^a
Almendra Blanca	3,3 ^a	18,26 ^b	8,06 ^a	1811 ^a	384,1 ^a	111,1 ^a	12,76 ^a	20,80 ^b

Diferente literal indica diferencia estadística (Tukey $\alpha \leq 0,05$). / Different letter indicates statistical difference (Tukey $\alpha \leq 0,05$).

Cuadro 2. Conversión de la producción de cacao (*Theobroma cacao* L) en rendimiento por ha del cultivo. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, México. Verano 2022.

Table 2. Conversion of cocoa (*Theobroma cacao* L) into yield per ha of the crop. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván, Veracruz, México. Summer 2022.

	Peso de la semilla seca (g/planta)	Peso de la semilla seca (g ha ⁻¹)	Rendimiento/ha (kg)	Rendimiento/ha (kg) final	Ingresos/ha (pesos mx)*
INIFAP 4	25,6	25 344,0	25,34	50,69	6 285,31
NIFAP 8	39,69	39 293,1	39,29	78,59	9 744,69
INIFAP 9	37,33	36 956,7	36,96	73,91	9 165,26
Almendra Blanca	111,14	110 028,6	110,03	220,06	27 287,09

Se muestrearon veinticinco semillas por tratamiento determinándose su promedio, solo para fines de rentabilidad económica. / Twenty-five seeds per treatment were sampled, and their averages were determined solely for economic profitability purposes.

*20,27 pesos mx/dólar al tipo de cambio 2021. /*20.27 pesos mx/dollar at the 2021 exchange rate.

Discusión

Si bien el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L) tiene requerimientos climáticos y edáficos específicos, eso no impide que se investiguen nuevas variedades dentro de la zona, bajo condiciones poco favorables. Aunque el cultivo no exprese su potencial productivo, su caracterización ayuda a diversificar la frontera agrícola de la región de Úrsulo Galván, Veracruz, México, en busca de generar beneficios sociales, ambientales y económicos.

La investigación tomó en cuenta únicamente variables productivas en árboles de cacao podados a la altura de 2 m, con el objetivo de incrementar su volumen de área foliar, promover mayores densidades de población e incrementar con ello la producción.

Existen varios factores ambientales que controlan el crecimiento del cacao, entre ellos la precipitación, la temperatura y la humedad del suelo (Osorio et al., 2017), condiciones que pudieron afectar la expresión de estas variables. La altura promedio de la planta es de 6 m (SAGARPA, 2017, p.1), mientras que en el presente estudio alcanzó 2 m en promedio. Lo anterior es un indicador de la alta variabilidad expresada por las condiciones de estrés y las limitantes climatológicas que afectaron el desarrollo de los árboles, bajo las condiciones en que se evaluó el

cultivo de cacao; factores que permiten identificar el potencial genético-productivo de los distintos materiales e identificar las características productivas de dichos genotipos (Martínez, 2016).

Los resultados obtenidos en la investigación permiten inferir que la altura máxima de planta, al ser de 2 m en promedio, puede facilitar la poda de mantenimiento, con la intención de cortar las mazorcas sin necesidad de utilizar equipo (escalera) y maltratar los árboles. Para los resultados de diámetro de planta se destaca que el diámetro de tallos se correlaciona con un área foliar mayor durante el crecimiento de las plantas de cacao (Angulo Villacorta et al., 2021; Reyes Martínez et al., 2015).

Los resultados obtenidos confirman que para el caso del cacao “las plantas pueden presentar cambios morfológicos y fisiológicos en respuesta a la reducción en el volumen de espacio disponible para el desarrollo de la raíz, lo cual puede afectar su normal desarrollo” (Gutiérrez et al., 2011, p. 34), considerándose además que cuando las “plantas de cacao crecen en ambientes espacialmente limitados, el despliegue de sus órganos puede deprimirse, generan una reducción en la capacidad de adquisición de recursos, limitan el crecimiento y la productividad” (Gutiérrez et al., 2011, p. 34). Lo que pone el énfasis en el tipo de suelo, su estructura física y química.

El “rango de temperatura en el que se han desarrollado los cultivos, es mucho mayor que el de su hábitat natural” (Osorio et al., 2017, p. 74). Para las variables temperatura y precipitación los mejores rendimientos del cultivo de cacao se dan a temperaturas promedio de 22 °C, con precipitaciones por encima de los 300 mm, mientras que en el experimento hubo temperaturas de más de 28 °C y precipitaciones máximas de 160 mm, lo que determinó que se presentaran bajos rendimientos, debido a los abortos florales y al estrés hídrico que presentó el cultivo (Rojas-Molina et al., 2021).

El 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” (Gómez Aliaga et al., 2014, p. 9). Por lo tanto, se reconoce que esta especie crece en climas tropicales con áreas de alta precipitación (1500 a 2000 mm) (Angulo Villacorta et al., 2021). Aunque cada 15 días se suministraron 5 L como riego de apoyo, no fue suficiente para compensar la demanda hídrica del cultivo.

Al considerar que el cultivo del cacao no es tolerante a vientos fuertes persistentes a lo largo del ciclo productivo, los promedios de velocidad del viento observados, permitieron inferir que a pesar de contar con cortina rompevientos de *Casuarinas*, estos sí afectaron los árboles de cacao, por lo que fue insuficiente la barrera natural para mitigar los daños ocasionados por este factor, lo cual repercutió en la reducción del área foliar y el maltrato observado en las hojas (Gómez Aliaga et al., 2014).

En las variables: número de mazorcas, diámetro ecuatorial de la mazorca (mm), peso del fruto total (g) y peso de la semilla con pulpa (g) no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos ($\alpha \geq 0,05$), pero sí para el diámetro polar de la mazorca (mm), peso seco de la semilla (g), diámetro ecuatorial (mm) y polar de la semilla (mm). La no significancia estadística puede atribuirse a la insuficiente lámina de riego, lo que determinó una reducción en la humedad del suelo, afectándose la producción, y con ello, la expresión del potencial productivo del cultivo.

En referencia a la variable producción de frutos, el rendimiento indica inferioridad en plantas jóvenes, pues la producción está por arriba de los 400 kg (Córdova-Ávalos et al., 2001). Debe señalarse que, aunque algunos genotipos evaluados se consideran mejorados, el estrés hídrico pudo haber afectado el potencial productivo, aunado a las altas temperaturas registradas durante el periodo de evaluación, condiciones que pueden explicar el aborto floral.

Se destaca el mayor peso de la semilla seca en el genotipo Almendra Blanca (111,14 g) así como la expresión de un mayor diámetro ecuatorial (12,76 mm), indicativos de una mejor calidad del fruto. La alta variación morfológica mostrada en los frutos (coeficiente de variación [CV] 75,69 %) es evidencia de la variabilidad intra e intersujetos, propia de la condición genética de los árboles, la cual, sumada a la provocada por el ambiente, establecen que el crecimiento del fruto se relaciona con la humedad disponible. Cuando la humedad es baja y las temperaturas elevadas, los frutos son de tamaño menor, además varían de acuerdo con la posición que ocupan en el árbol (Gómez Jiménez et al., 2010; Guzmán-Pozos & Cruz-Cruz, 2014). Es necesario reconocer que la expresión de estas variables

son la respuesta a las condiciones en que se desarrolló el cultivo, determinadas por el lugar de plantación. Desde esta perspectiva la capacidad de adaptación es importante porque al establecer plantaciones con especies fuera de su hábitat natural, como en este caso, los árboles responden a las condiciones del nuevo ambiente, ya sea adaptándose con altos o bajos rendimientos de madera o no se adaptan y mueren (Salazar García et al., 1999).

La variabilidad morfológica de los árboles, es resultado de diferencias intraespecíficas, pero además de factores biológicos y físicos, los cuales tienen correlación con la reproducción, debido a que cualquier factor ambiental que influya en el crecimiento lo hará en el desempeño reproductivo (Enríquez-Peña et al., 2004). Aunado a ello, “las semillas en una especie pueden variar en tamaño entre individuos y poblaciones, por diferencias genéticas o por diferencias en la historia de vida de cada planta” (Luna Cedeño et al., 2018).

Conclusiones

Las condiciones edafoclimáticas de Úrsulo Galván, Veracruz, México, no son propicias para el óptimo desarrollo del cacao, sin embargo, los resultados demostraron que es posible su establecimiento como alternativa para la diversificación. Se destaca el efecto de factores exógenos asociados a su adecuado crecimiento y desarrollo, tales como la temperatura, precipitación y vientos (quienes fueron condicionantes en su rendimiento), que afectaron la expresión biológica del cultivo; lo que hace necesario el establecimiento de estrategias para mitigar sus efectos tales como: cortinas rompe vientos, especies maderables que proporcionen oclusión y la instalación de sistemas de riego.

Para las variables altura de planta, diámetro de tallo y número de ramas observadas en el último muestreo, los resultados son un indicador de que los materiales de cacao evaluados se comportaron de manera similar estadísticamente de acuerdo con las condiciones regionales.

Aunque no expresaron su potencial productivo las variedades evaluadas con el manejo agronómico brindado, se considera que podría desarrollarse implementando estrategias productivas que mitiguen los factores que redujeron su producción. Se destaca la expresión morfométrica de la semilla de cacao variedad Almendra Blanca, la cual se mostró promisoría.

Con base en lo anterior, se hace necesaria una propuesta de desarrollo tecnológico para alcanzar rendimientos rentables, lo que validará el cultivo de la variedad Almendra Blanca como estrategia agroecológica, factible para desarrollar un sistema/producto que dinamice la economía regional, además de contribuir a la diversificación productiva.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Tecnológico Nacional de México por financiar el proyecto de investigación: Clave: 10205.21-P.

Referencias

- Afoakwa, E. O. (2010). *Chocolate science and technology*. Wiley-Blackwell.
- Amorim Homem de Abreu Loureiro, G., Reis de Araujo, Q., Valle, R. R., Andrade Sodr e, G., & Moreira de Souza, S. M. (2017). Influencia de factores agroambientales sobre la calidad del clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) PH-16 en la región cacaotera de Bahia, Brasil. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 579–587. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1274>

- Angulo Villacorta, C. D., Mathios Flores, M. A., Racchumi García, A., Bardales-Lozano, R. M., & Ayala Montejo, D. (2021). Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao*) en vivero, usando diferentes volúmenes de sustrato. *Manglar*, 18(3), 261–266. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2021.034>
- Anzules Toala, V., Pazmiño Bonilla, E., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., Julca-Vera, N., Castro-Cepero, V., & Julca-Otiniano, A. (2022). Incidencia de “cherelle wilt” y enfermedades fungosas en mazorcas de cacao ‘CCN-51’ en Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Idesia (Arica)*, 40(1), 31–37. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292022000100031>
- Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Baligarb, V. C., & He, Z. L. (2017). Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru. *Science of The Total Environment*, 605–606, 792–800. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.122>
- Bailey, B. A., Ali, S. S., Akrofi, A. Y., & Meinhardt, L. W. (2016). *Phytophthora megakarya*, a causal agent of black pod rot in Africa. In B. Bailey, & L. Meinhardt (Eds.), *Cacao diseases* (pp. 267–303). Springer International Publishing. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-24789-2_8
- Bautista Morales, R., Alarcón Pulido, S. A., García Muñoz, S. A., Piña Ramírez, F. J., & Ortega Rodríguez, A. (2021). Propuesta para el establecimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona norte del estado de Veracruz. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 9(1), 181–191. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v9i1.350>
- Córdova-Ávalos, V., Sánchez-Hernández, M., Estrella-Chulím, N. G., Macías-Layalle, A., Sandoval-Castro, E., Martínez-Saldaña, T., & Ortiz-García, C. F. (2001). Factores que afectan la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Ejido Francisco I. Madero del Plan Chontalpa Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 34(17), 93–100. <https://era.ujat.mx/index.php/rera/article/view/211>
- Enríquez-Peña, E. G., Suzán-Azpiri, H., & Malda-Barrera, G. (2004). Viabilidad y germinación de semillas de *Taxodium mucronatum* (Ten.) en el estado de Querétaro, México. *Agrociencia*, 38(3), 375–381. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/329>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). FAOSTAT. *Crops and livestock products. Production quantities of cocoa beans by country. Average 1994-2014*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- Gómez Aliaga, R., García Blas, R., Tong, F., & González Huertas, C. (2014). *Paquete tecnológico del cultivo del 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
- Gómez García, R., & Vignati, F. (2019). Observatorio del cacao fino y de aroma para América Latina. *Iniciativa Latinoamericana del Cacao*, 6, 2–3. <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1452>
- Gómez Jiménez, D. M., Ramírez Herrera, C., Jasso Mata, J., & López Upton, J. (2010). Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 33(4), 297–304. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/33-4/3a.pdf>
- Gutiérrez, M., Gómez, R., & Rodríguez, N. F. (2011). Comportamiento del crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.), en vivero, sembradas en diferentes volúmenes de sustrato. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 33–42. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:213

- Guzmán-Pozos, A. M., & Cruz-Cruz, E. (2014). Características físicas de frutos de cuachalalate (*Amphipterygium adstringens* (Schltdl.) Standl) de tres procedencias. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 255–260. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/37-3/10a.pdf>
- Luna Cedeño, J. J., Rodríguez Ortiz, G., Enríquez del Valle, J. R., Ruíz Luna, J., García Aguilar, J. Á., & Campos Ángeles, G. V. (2018). Frutos y semillas de *Bursera simplex* Rzed. & Calderón en diferentes sitios y estructura arbórea. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48), 92–114. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.188>
- Martínez, J. W. (2016). La variabilidad genética del cacao (*Theobroma cacao* L.) Nacional Boliviano. *Apthapi*, 2(1), 78–84. <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/143>
- Montaleza Armijos, J. F., Quevedo Guerrero, J. N., & García Batista, R. M. (2020). Análisis de la diversidad morfológica de cacao (*Theobroma cacao* L) del jardín clonal de la Universidad Técnica de Machala. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(2), 45–57. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/400/379>
- Montoya-Restrepo, I. A., Montoya-Restrepo, L. A., & Lowy-Ceron, P. D. (2015). Oportunidades para la actividad cacaotera en el municipio de Tumaco, Nariño, Colombia. *Entramado*, 11(1), 48–59. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/entramado/article/view/1196>
- Osorio, M. A., Leiva, E. I., & Ramírez, R. (2017). Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes tamaños de contenedor. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 73–82. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173402.73>
- Pérez-Zúñiga, J. I., Rojas-Molina, J., & Zabala-Perilla, A. F. (2021). Evaluación del espaciamiento entre plantas en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la región del Pacífico Colombiano. *Agronomía Colombiana*, 39(3), 426–437. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v39n3.90131>
- Reyes Martínez, M., Marín Mendieta, L., & Montalván Castellón, O. (2015). Prendimiento de dos tipos de injertos en cacao en distintas fases lunares, Siuna, 2014. *Ciencia e Interculturalidad*, 17(2), 92–105. <https://doi.org/10.5377/rci.v17i2.2642>
- Reyes-Pérez, J. J., Llerena-Ramos, L. T., Ramos-Remache, R. A., Ramírez-Arrebato, M. Á., Falcón-Rodríguez, A. B., Pincay-Ganchozo, R. A., & Rivas-García, T. (2021). Efecto del quitosano en la propagación vegetativa de cacao (*Theobroma cacao* L.) por esquejes. *Terra Latinoamericana*, 39, 1–9. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.1008>
- Rojas-Molina, J., Ortiz-Cabralez, L., Escobar-Pachajoa, L., Rojas-Buitrago, M., & Jaimes-Suarez, Y. (2021). Producción de hojarasca y su aporte de nutrientes en cacao bajo diferentes esquemas de fertilización, Rionegro-Santander. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 193–206. <https://doi.org/10.15517/rac.v45i1.45790>
- Salazar García, J. G., Vargas Hernández, J., Jasso Mata, J., Molina Galán, J. D., Ramírez Herrera, C., & López Upton, J. (1999). Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. *Madera y Bosques*, 5(2), 19–34. <https://myb.ojs.inacol.mx/index.php/myb/article/view/1345/1513>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Cacao Mexicano*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256425/B_sico-Cacao.pdf
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2018, febrero 9). *Cacao de alto rendimiento y resistente a enfermedades*. <https://imagenagropecuaria.com/2018/cacao-alto-rendimiento-resistente-a-enfermedades/#>
- Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz. (2017). *Sistemas de información municipal. Cuadernillos municipales, 2017. Ursulo Galván*. Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Veracruz. <http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2017/05/Ursulo-Galv%C3%A1n.pdf>

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, & Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2010). *Datos Abiertos. Estadísticas de Producción Agrícola*. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Suárez Venero, G. M., Soto Carreño, F., Gareta Llanos, E., & Solano Ojeda, O. J. (2015). Caracterización agroclimática del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, en función de la zonificación agroecológica para el cacao (*Theobroma cacao* L.). *Cultivos Tropicales*, 36(1), 23–28. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/936>
- Wood, G. A. R., & Lass, R. A. (2008). *Cocoa* (4th ed.). Wiley-Blackwell.