



INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE INFLORESCENCIA EN SISTEMAS DE CULTIVO DE *Vanilla pompona* EN LA CONCESIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE TINGANA, MOYOBAMBA, PERÚ †

[INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON INFLORESCENCE PRODUCTION IN *Vanilla pompona* CULTIVATION SYSTEMS IN THE TINGANA CONSERVATION CONCESSION, MOYOBAMBA, PERU]

Mario Edinson Chinchay-Carrasco*¹, Miguel Tomás Guerra-Saldaña¹ and Jhon Jairo López-Rojas^{1,2}.

¹Universidad Nacional de San Martín (UNSM). Facultad de Ecología. Jr. 20 de abril, Moyobamba, Perú. Email: mariochinchayc@gmail.com, mg725969@gmail.com

²Universidade Estadual de Santa Cruz. Departamento de Ciências Biológicas. Programa de Pós-graduação em Zoologia. Ilhéus, Bahia, Brasil. Email: lopezrojasjj@gmail.com

*Corresponding author

SUMMARY

Background. Vanilla is a crop of great economic and sociocultural importance, due to the relevance of compounds such as vanillin, which is used in the production of pharmaceutical, cosmetic and food products. Low inflorescence production is a frequent problem that is related to adverse environmental factors in cultivation systems, affecting the production of this edible orchid. **Objective.** To evaluate the influence of environmental factors on inflorescence production in cultivation systems of *Vanilla pompona* in the Tingana Conservation Concession, Moyobamba, Peru. **Methodology.** Every two weeks, between June and September 2023, *V. pompona* inflorescence production was recorded and environmental conditions (temperature, relative humidity and luminosity) were monitored in three different cultivation systems: raschel mesh (RM), secondary forest (SF) and forest plantation (FP). The analysis of covariance (ANCOVA) was used to determine the influence of environmental factors on inflorescence production, considering the months of study and cultivation systems as fixed factors and temperature, relative humidity and luminosity as covariates. **Results.** August was the month that presented higher average values of temperature (between 22.8±0.9 and 24.1±1.2 °C) and luminosity (between 49877.8±12746.4 and 97341.5±27413.3 Lux), and lower relative humidity (between 78.8±4.4 and 84.9±4.1 %). FP recorded higher temperature (24.1±1.2 °C) and lower relative humidity (78.8±4.4 %) than SF and RM, where environmental factors were relatively similar with a slight increase in SF. There was higher inflorescence production in SF (n = 44), followed by FP (n = 40) and RM (n = 36), with July being the month of highest production in all three cropping systems. Inflorescence production varied between study months and not between cropping systems. Temperature and luminosity had significant effects on inflorescence development and relative humidity did not influence the variable. During July, environmental conditions were optimal for inflorescence production in the three cropping systems, with SF being the one with the highest production. **Implications.** Farmers in the Tingana Conservation Concession may choose to grow *V. pompona* in SF, as it presents more favorable environmental conditions and it is advisable to develop pruning practices in RM to promote optimal conditions. **Conclusions.** Temperature and luminosity are important environmental factors for the development of *V. pompona* inflorescences in the Tingana Conservation Concession.

Key words: Environmental factors; inflorescences; cultivation systems; *Vanilla pompona*.

RESUMEN

Antecedentes. La vainilla es un cultivo de gran importancia económica y sociocultural, debido a la relevancia de compuestos como la vainillina, que se utiliza en la producción de productos farmacéuticos, cosméticos y alimentos. La baja producción de inflorescencias es un problema frecuente que se relaciona con factores ambientales adversos en los sistemas de cultivo, afectando la producción de esta orquídea comestible. **Objetivo.** Evaluar la influencia de factores ambientales en la producción de inflorescencia en sistemas de cultivo de *Vanilla pompona* en la Concesión para la Conservación de Tingana, Moyobamba, Perú. **Metodología.** Quincenalmente, entre junio y

† Submitted July 1, 2024 – Accepted November 1, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5713>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = M.E. Chinchay-Carrasco: <https://orcid.org/0000-0003-4970-1484> M.T. Guerra-Saldaña: <https://orcid.org/0000-0002-4020-7909> J.J. López-Rojas: <https://orcid.org/0000-0001-6726-5095>

septiembre de 2023, se registró la producción de inflorescencias de *V. pompona* y se monitorearon las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa y luminosidad) en tres sistemas de cultivo distintos: malla raschel (MR), bosque secundario (BS) y plantación forestal (PF). Mediante el análisis de covarianza (ANCOVA) se determinó la influencia de los factores ambientales en la producción de inflorescencias considerando los meses de estudio y sistemas de cultivo como factores fijos y la temperatura, humedad relativa y luminosidad como covariables. **Resultados.** Agosto fue el mes que presentó valores promedios más altos de temperatura (entre 22.8 ± 0.9 y 24.1 ± 1.2 °C) y luminosidad (entre 49877.8 ± 12746.4 y 97341.5 ± 27413.3 Lux), y más bajos de humedad relativa (entre 78.8 ± 4.4 y 84.9 ± 4.1 %). PF registró mayor temperatura (24.1 ± 1.2 °C) y menor humedad relativa (78.8 ± 4.4 %) que BS y MR, donde los factores ambientales fueron relativamente similares con un leve incremento en BS. Hubo mayor producción de inflorescencias en BS ($n = 44$), seguido de PF ($n = 40$) y MR ($n = 36$), siendo julio el mes de mayor producción en los tres sistemas de cultivo. La producción de inflorescencias varió entre meses de estudio y no entre sistemas de cultivo. La temperatura y luminosidad tuvieron efectos significativos en el desarrollo de inflorescencias y la humedad relativa no influyó sobre la variable. Durante julio las condiciones ambientales fueron óptimas para la producción de inflorescencias en los tres sistemas de cultivo, siendo BS el de mayor producción. **Implicaciones.** Los agricultores de la Concesión para la Conservación de Tingana pueden optar por cultivar *V. pompona* en BS, ya que presenta condiciones ambientales más favorables y es recomendable desarrollar prácticas de poda en MR para promover condiciones óptimas. **Conclusiones.** La temperatura y luminosidad son factores ambientales importantes para el desarrollo de inflorescencias de *V. pompona* en la Concesión para la Conservación de Tingana.

Palabras clave: Factores ambientales; inflorescencias; sistemas de cultivo; *Vanilla pompona*.

INTRODUCCIÓN

La vainilla es una planta tropical perteneciente a la familia Orchidaceae que se originó en América y se diferenció en Asia y África, actualmente existen 123 especies (Ahmad *et al.*, 2020; Andriamihaja *et al.*, 2020) y es la única orquídea con un fruto comestible (Plasil *et al.*, 2022). La vainilla tiene alta importancia económica (Rodríguez-Deméneghi *et al.*, 2023) y es la segunda especie más costosa (Pansarin, 2021) y valiosa (Karatoprak, 2022), por su aroma popular (Arya *et al.*, 2021; Wilde *et al.*, 2020); así como su importancia para producir farmacéuticos, cosméticos (Anderson *et al.*, 2023) y alimentos (Iannuzzi *et al.*, 2023).

La producción de vainilla requiere climas cálidos y húmedos (Parada-Molina *et al.* 2022) con humedad relativa entre 65 al 85 % (Sohail, 2022) y temperatura media óptima de 21 a 32 °C (Ahmad *et al.*, 2020), con rangos ideales de 15 a 30 °C durante el día y de 15 a 20 °C durante la noche (Kumar y Balamohan, 2013). Con niveles de luz de 32400-43200 Lux se logra una mayor productividad, mientras que para el desarrollo vegetativo se necesitan niveles de 16200-32400 Lux (Puthur, 2005). Se requiere de tutores artificiales o vivos para un desarrollo óptimo del cultivo (Ibarra-Cantún *et al.*, 2018).

Sin embargo, condiciones climáticas adversas pueden afectar al cultivo de vainilla. La alta luminosidad, especialmente por encima de 43200 Lux puede reducir la productividad (Andrade-Andrade *et al.*, 2023; Puthur, 2005), mientras que, la baja luminosidad puede retrasar la floración (Kataoka *et al.*, 2004). Temperaturas menores a 20 °C limita la intensidad de la floración y el desarrollo de las plantas (Taghadomi-Saberi *et al.*, 2023), mientras que temperaturas superiores a los 40 °C pueden causar por estrés oxidativo (Ali *et al.*, 2005),

aborto prematuro de las flores (Borbolla-Pérez *et al.*, 2017), caída temprana de frutos y enfermedades en la fase de desarrollo de la vainilla (Pérez-Silva *et al.*, 2021; Villarreal y Herrera-Cabrera, 2018). Alta humedad relativa puede generar un desbalance hormonal que produce la reducción de citocininas, auxinas y giberelinas, como también el aumento de ácido abscísico y etileno que provocan la caída de los frutos (Khandaker *et al.*, 2016) y fomenta la influencia de enfermedades generadas por hongos (Bhai y Dhanesh, 2008), en cambio, niveles bajos humedad relativa pueden inducir estrés e inhibir la floración (Ali *et al.*, 2005).

La vainilla, debido a su baja variación genética (Villanueva-Viramontes *et al.*, 2017), es altamente vulnerable a los cambios de temperatura (Soto y Dressler, 2009) y al cambio climático (Adiputra, 2018; Da Silva *et al.*, 2022), lo que limita su capacidad de adaptación al estrés térmico, sequías prolongadas y proliferación de enfermedades (Villarreal y Herrera-Cabrera, 2018; Watteyn *et al.*, 2020). Se ha observado un aumento del riesgo de pérdida de cosecha en Tanzania debido al cambio climático (Yao, 2023), mientras que en el centro de diversidad de *V. planifolia* en México, la presión antrópica afecta la renovación de la variedad de plantas (Pérez-Silva *et al.*, 2021).

Los cultivos de vainilla requieren condiciones ambientales óptimas para su desarrollo, que puede lograrse mediante sistemas de techo sombra o sistemas agroforestales (Ranadive, 2005). El sistema de techo sombra implica el uso de estructuras artificiales con mallas de sombra que filtran entre un 30 – 50 % de la luz solar, proporcionando sombra adicional en verano y reduciéndola durante los periodos lluviosos (Chambers, 2019). Por otro lado, los sistemas agroforestales son sostenibles y ayudan a restaurar daños causados por la agricultura convencional (Ramos-Prado *et al.*, 2023). Este

sistema utiliza árboles como tutores para proporcionar sombra y una estructura adecuada para el crecimiento de las vides de la vainilla, mejorando así la producción (Chambers *et al.*, 2023). Además, permiten que las raíces lleguen al dosel de las plantas, lo que ayuda a capturar más luz solar antes de la floración y a absorber la humedad del ambiente (Mahadeo *et al.*, 2021).

Diversos estudios han identificado preferencias de sistemas de cultivo de vainilla. Por ejemplo, en México, se encontró que un sistema acahual bajo sombra, a diferencia de un sistema monocultivo y malla sombra, ofrecía un clima y micro clima más apropiado para el desarrollo y producción de *V. planifolia* Jacks. ex Andrews (Parada-Molina *et al.*, 2022). En Comalcalco, Tabasco, determinaron que al asociar *V. planifolia* Jacks. ex Andrews con cacao en un sistema agroforestal no afectó la producción de vainilla, ya que proporcionó condiciones óptimas para su desarrollo (López *et al.* 2019). Además, en la región Totonacapan, Veracruz, se observó que las condiciones climáticas tuvieron diferentes efectos en sistemas de cultivo, influyendo en la densidad de inflorescencias y frutos de *V. planifolia* Jacks. ex Andrews (Andrade-Andrade *et al.* 2023).

Por otro lado, la *V. pompona* Schiede es considerada la tercera especie comercialmente más importante (Viveros-Antonio *et al.*, 2023). Esta orquídea se desarrolla entre 15 – 1150 m.s.n.m. en diversos departamentos del Perú como Ucayali, Amazonas, Madre de Dios, Loreto, Cajamarca y San Martín (Naka, 2008). Asimismo, esta especie de Vainilla puede ofrecer resistencia genética contra la pudrición de la raíz causada por *Fusarium*, una amenaza común para la productividad de *V. planifolia* (Koyyappurath *et al.*, 2015). Además, es valorada por su floración precoz y el vigor, lo que la hace atractiva para fines de reproducción

(Chambers, 2019) y tolera periodos prolongados de sequía (Barreda-Castillo *et al.*, 2023; Cameron, 2018).

Es fundamental investigar más a fondo la *V. pompona* Schiede, especialmente en lo que respecta a sus sistemas de cultivo, factores ambientales y producción de inflorescencias. La Concesión para la Conservación Tingana en el distrito de Moyobamba ha ampliado sus áreas en los últimos años para este cultivo. Por lo tanto, proporcionar información sobre sistemas de cultivo óptimos para el desarrollo de las inflorescencias de *V. pompona* es crucial y pertinente para la producción en la región. El objetivo de este estudio fue determinar la influencia de factores ambientales (temperatura, humedad relativa y luminosidad) en la producción de inflorescencias en tres sistemas de cultivo de *V. pompona* (malla raschel (MR), bosque secundario (BS) y plantación forestal (PF)) en la Concesión para la Conservación de Tingana, Moyobamba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y sistemas de cultivo

La investigación se realizó en la “Concesión para la Conservación de Tingana”, localizado en el distrito de Moyobamba, departamento de San Martín, Perú (Figura 1). El área de estudio presenta un clima templado sub-tropical con temperaturas oscilantes entre 10 y 30 °C, y una media de 22 °C. Los meses más fríos son junio y julio, mientras que los más cálidos son de agosto a noviembre. La precipitación media anual es 1309 mm, con valores entre 1000 y 1500 mm al año, siendo febrero, marzo y abril los meses más lluviosos. La humedad relativa media es 82 %, con mayores rangos de humedad entre febrero a abril y menores entre agosto a noviembre.

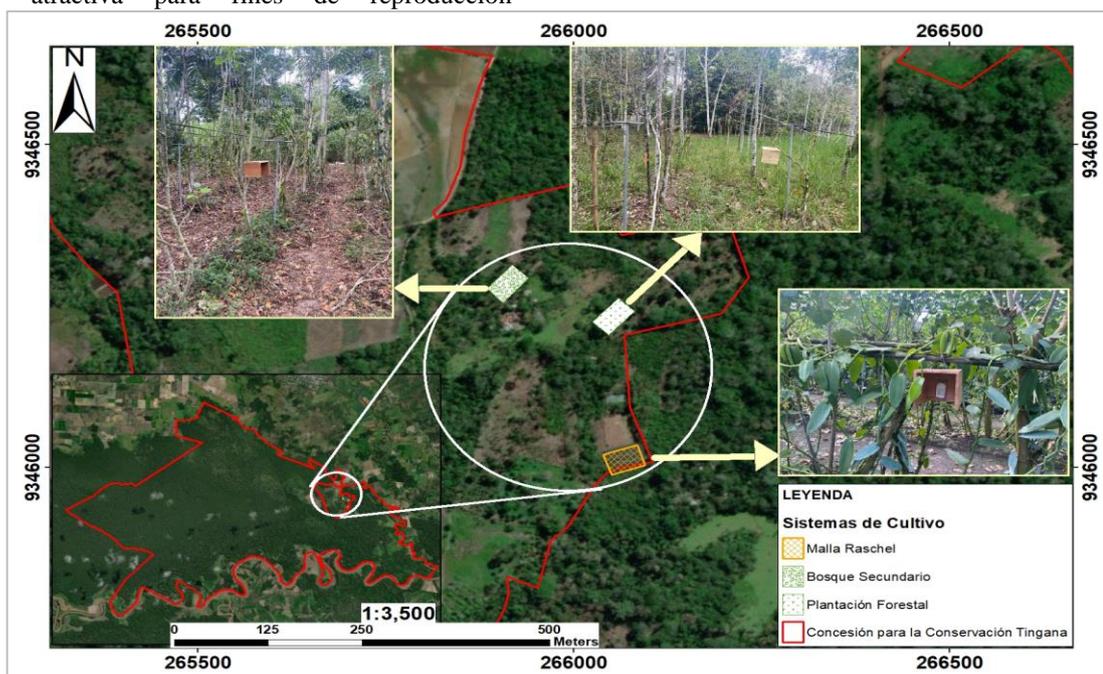


Figura 1. Ubicación de área de estudio y sistemas de cultivo de *V. pompona*.

Se evaluaron tres sistemas de cultivo: malla raschel (MR), bosque secundario (BS) y plantación forestal (PF). 15 plantas de *V. pompona* fueron seleccionadas por sistema de cultivo mediante muestreo no probabilístico "por conveniencia", considerando la uniformidad, características contrastantes y ausencia de inflorescencias. En MR y BS, la distancia entre plantas fue 50 cm con *Erythrina* spp. "Eritrina" como tutores, además, especies como *Inga* spp. "Guabas", *Arecaceae* spp. "Palmeras" y otros en BS y la malla en MR que cumplían la función de dar sombra. En PF, las plantas también se sembraron cada 50 cm, con *Guazuma* spp. "Bolaina" y *Eucalyptus torrelliana* "Torrelliana" como soporte y sombra (Figura 1).

Evaluación de factores ambientales

De junio a septiembre de 2023, durante el período de inflorescencia, se monitorearon la temperatura y humedad relativa en cada sistema de cultivo utilizando registradores Datalogger (marca Hobo). Estos dispositivos fueron colocados en cajas de madera para protegerlos de la luz solar directa y la lluvia. El equipo registró datos horarios diariamente a lo largo de los meses estudiados, lo que permitió estimar promedios mínimos, máximos y diarios de cada mes.

Para medir la luminosidad, se utilizó un luxómetro manual (Digital Lux Meter AS803). Debido a la influencia de la luminosidad en el desarrollo de vainilla (Puthur, 2005), la luminosidad fue registrada los días de muestreo de las inflorescencias y un día después. Para capturar las variaciones significativas en la intensidad luminosa a lo largo del día, se registraron datos en tres momentos específicos: a las 9:00, 13:00 y 17:00 horas, en cada uno de los sistemas de cultivo evaluados. De estas mediciones se obtuvieron cuatro promedios diarios por cada mes, que fueron utilizados para representar la variación mensual en cada sistema de cultivo.

Evaluación de la producción de inflorescencias de *V. pompona*

Se empleó la técnica de observación directa para contabilizar el número de inflorescencias en cada planta. Se realizó el conteo quincenalmente desde el 1 de junio hasta el 30 de septiembre de 2023, generando así ocho observaciones. El registro se llevó a cabo al mediodía y se consignaron los datos en una ficha de recolección. Los datos registrados permitieron evaluar la producción mensual de inflorescencias y su relación con los promedios diarios de temperatura, humedad relativa y luminosidad.

Análisis estadístico

Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar diferencias significativas en la media de

temperatura, humedad relativa y luminosidad según meses de estudio y la producción de inflorescencias según sistemas de cultivo, como prueba post hoc se utilizó Tukey en ambos casos. Para evaluar la influencia de los factores ambientales en la producción de inflorescencias de *V. pompona*, se utilizó el análisis de covarianza (ANCOVA). La variable dependiente fue el número de inflorescencias, mientras que los factores fijos fueron los sistemas de cultivo (MR, BS y PF) y meses de estudio (junio, julio, agosto y setiembre). Se consideraron como covariables los promedios diarios de los factores ambientales (temperatura, humedad relativa y luminosidad). Se realizó una comparación por parejas utilizando la prueba post hoc de Bonferroni a un 0.05 de significancia.

RESULTADOS

Niveles de temperatura, humedad relativa y luminosidad en los sistemas de cultivo de cultivo de *Vanilla pompona*

Agosto fue el mes más crítico para las temperaturas mínimas en los sistemas de cultivo. El sistema MR registró la temperatura más baja con 17.0 ± 1.5 °C, seguido por los sistemas PF y BS, ambos con 17.4 ± 1.4 °C. En cuanto a las temperaturas máximas, este mismo mes también presentó los valores más altos, destacando el sistema PF con un máximo de 36.7 ± 3.4 °C, mientras que MR y BS alcanzaron 32.5 ± 2.3 °C y 31.9 ± 2.3 °C, respectivamente. Estos datos resaltan el mes de agosto como un mes clave tanto para los extremos térmicos mínimos como máximos, con el sistema PF mostrando la mayor variabilidad. En BS y PF las temperaturas medias variaron entre los meses (Tabla 1).

En cuanto a la humedad relativa, agosto fue el mes con los valores más bajos. El sistema PF presentó el valor más bajo con 44.6 ± 9.0 %, seguido por BS y MR con 54.5 ± 8.9 % y 55.0 ± 8.9 %, respectivamente. Por el contrario, las humedades máximas se concentraron en junio, alcanzando sus picos en los sistemas MR (99.9 ± 0.2 %) y BS (99.1 ± 0.8 %), mientras que PF presentó 97.0 ± 0.6 % durante ese mismo mes. Agosto fue determinante para las humedades mínimas, mientras que las máximas se concentraron en junio. En los tres sistemas de cultivo las humedades relativas medias variaron entre los meses (Tabla 1).

En cuanto a la luminosidad, fue más baja en junio, con 38379.3 ± 21828.5 Lux en BS, 38533.3 ± 35311.5 Lux en MR, y 44994.8 ± 33996.1 Lux en PF. Por otro lado, las luminosidades más altas se observaron en agosto, siendo PF el sistema con mayor luminosidad, con 97341.5 ± 27413.3 Lux, seguido por MR (54996.3 ± 10648.5 Lux) y BS (49877.8 ± 12746.4 Lux). Estos resultados destacan a agosto como el mes de mayor luminosidad en todos los sistemas, especialmente en PF (Tabla 1).

Tabla 1. Valores promedios de temperatura, humedad relativa y luminosidad registrados según meses de estudio en los tres sistemas de cultivo de *Vanilla pompona*.

Sistemas	Meses	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)			Luminosidad (Lux)
		Min.	Máx.	Prom.	Min.	Máx.	Prom.	Prom.
MR	Jun	17.5±1.1	30.5±1.7 ^{bc}	22.3±0.8	64.7±7.6 ^b	99.9±0.2 ^b	89.0±2.7 ^b	38533.3±35311.5
	Jul	17.6±1.3	31.4±2.3 ^{ab}	22.5±0.9	61.8±9.4 ^b	99.8±0.5 ^b	88.4±4.1 ^b	54977.8±30806.4
	Ago	17.0±1.5	32.5±2.3 ^a	22.8±0.9	55.0±8.9 ^a	99.7±0.5 ^b	84.9±4.1 ^a	54996.3±10648.5
	Set	17.6±1.2	29.6±2.0 ^c	22.3±0.7	65.5±7.0 ^b	99.1±1.0 ^a	87.9±3.6 ^b	58274.8±11144.9
BS	Jun	17.9±1.1	27.8±1.4 ^c	22.0±0.8 ^c	69.9±6.5 ^c	99.1±0.8 ^c	89.5±2.4 ^c	38379.3±21828.5
	Jul	18.1±1.2	28.8±2.0 ^{bc}	22.3±0.9 ^{bc}	65.9±9.5 ^{bc}	99.0±1.1 ^c	88.5±4.5 ^{bc}	48730.8±18766.7
	Ago	17.4±1.4	31.9±2.3 ^a	23.0±1.0 ^a	54.5±8.9 ^a	98.1±1.1 ^b	83.3±4.4 ^a	49877.8±12746.4
	Set	17.7±1.1	30.0±2.1 ^b	22.6±0.8 ^{ab}	62.3±7.2 ^b	97.1±1.0 ^a	86.0±3.9 ^b	47925.5±14236.4
PF	Jun	18.1±1.1	30.3±2.1 ^c	22.5±0.9 ^c	62.5±7.2 ^c	97.0±0.6 ^b	86.2±2.7 ^c	44994.8±33996.1
	Jul	18.1±1.2	33.3±3.2 ^b	23.3±1.1 ^b	54.3±10.1 ^b	97.1±0.7 ^b	83.8±4.9 ^{bc}	68325.0±45639.2
	Ago	17.4±1.4	36.7±3.4 ^a	24.1±1.2 ^a	44.6±9.0 ^a	96.1±0.7 ^a	78.8±4.4 ^a	97341.5±27413.3
	Set	17.6±1.2	31.7±2.5 ^{bc}	23.0±1.0 ^{bc}	57.4±7.9 ^{bc}	95.9±1.3 ^a	82.6±4.0 ^b	65570.5±36040.3

Los valores representan la media ± desviación estándar. MR: malla raschel, BS: bosque secundario, PF: plantación forestal, Jun: junio, Jul: julio, Ago: agosto, Set: setiembre, Min.: mínimo, Máx.: máximo, Prom.: promedio. Valores con letras indican diferencias estadísticamente significativas en la media de temperatura, humedad relativa y luminosidad según meses de acuerdo a la prueba ANOVA ($p \leq 0.05$) y distintas letras en los valores indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). NS: No significativo ($p > 0.05$).

Producción de inflorescencias en los sistemas de cultivo de *Vanilla pompona*

El 50 % de plantas de *V. pompona* produjeron en BS y PF entre 2 y 4 inflorescencias/planta y, en MR entre 1 y 4 inflorescencias/planta. En BS, se identificó una planta que alcanzó la producción más alta de inflorescencias ($n = 8$) y, en MR y PF las plantas produjeron hasta 6 inflorescencias/planta, además, se encontraron cantidades tan bajas de 1 inflorescencia/planta en BS y PF, y 0 inflorescencias en MR. La media de inflorescencias en BS (2.93 inflorescencias/planta) fue superior a lo obtenido en PF (2.67 inflorescencias/planta) y MR (2.40 inflorescencias/planta). El sistema de cultivo que produjo mayor número de inflorescencias fue BS ($n = 44$), seguido de PF ($n = 40$) y MR ($n = 36$). No se encontró diferencias estadísticamente significativas en la producción de inflorescencias según sistemas de cultivo (Tabla 2).

Influencia de factores ambientales en la producción de inflorescencias en los sistemas de cultivo de *Vanilla pompona*

Agosto fue el mes más seco donde la temperatura media registrada superó los 23 °C en BS y PF, y en MR fue cercano al valor mencionado, estas condiciones afectaron la producción continua de inflorescencias que comenzó a disminuir en la transición de julio a agosto (Figura 2a a 2c). Asimismo, el valor promedio de humedad relativa durante agosto fue menor al 85 % en los tres sistemas de cultivo, lo cual también afectó la producción de inflorescencias (Figura 2d a 2f). Finalmente, la

luminosidad fue más intenso en PF, guardó una relación directa con la temperatura y valores elevados por encima de las condiciones óptimas durante agosto redujeron el desarrollo normal de inflorescencias, situación más evidente en PF (Figura 2g a 2i).

Tabla 2. Número de inflorescencias producidas por plantas de *Vanilla pompona* según sistemas de cultivo.

Variables	Sistemas de cultivo		
	MR	BS	PF
Percentil 25	1	2	2
Percentil 45	4	4	4
Máximo	6	8	6
Mínimo	0	1	1
Media	2.40	2.93	2.67
Desviación estándar	1.72	1.98	1.50
Total	36	44	40

La media, mínimo, máximo, desviación estándar y percentil indican el número de inflorescencias/planta de *Vanilla pompona* y el total indica la cantidad de inflorescencias producidas por las 15 plantas durante los cuatro meses de estudio. MR: malla raschel, BS: bosque secundario, PF: plantación forestal. NS: No significativo ($p > 0.05$) de acuerdo a la prueba ANOVA ($p > 0.05$).

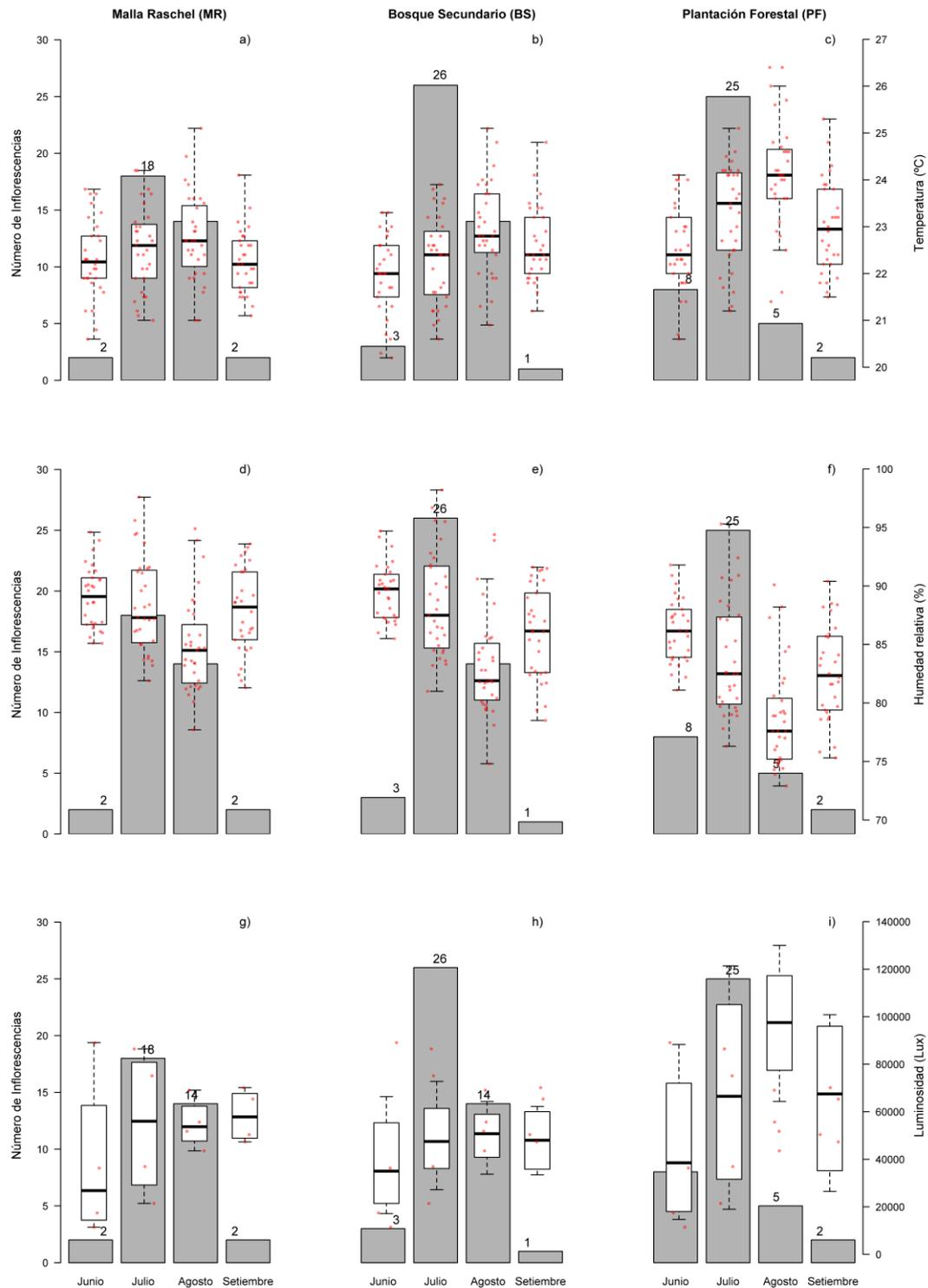


Figura 2. Distribución del número de inflorescencias con respecto a los factores ambientales en los sistemas de cultivo de *Vanilla pompona*. (a, d y g) Malla raschel, (b, e y h) Bosque secundario, (c, f, i) Plantación forestal. Las barras grises representan el número de inflorescencias y los puntos rojos en el diagrama box plot son los promedios diarios que muestran la variación mensual de temperatura, humedad relativa y luminosidad.

La producción de inflorescencias *V. pompona* no varió según sistemas de cultivo, pero sí mostró variación entre meses de estudio, además, los factores ambientales que influyeron en la variable dependiente fueron la temperatura ($p = 0.046$) y la luminosidad ($p = 0.025$), en ambos casos se presentó

una incidencia media sobre la producción de inflorescencias, aunque el efecto de la luminosidad ($\eta_p^2 = 0.666$) fue mayor que de la temperatura ($\eta_p^2 = 0.582$). La humedad relativa no influyó en la producción de inflorescencias (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de covarianza (ANCOVA) entre los factores ambientales y número de inflorescencias de *Vanilla pompona*.

Factores ambientales	Origen	Inflorescencias	
		Sig.	η_p^2
Temperatura	Sistemas de cultivo	0.128	0.560
	Meses	0.001*	0.951
	Temperatura	0.046*	0.582
Humedad relativa	Sistemas de cultivo	0.158	0.521
	Meses	0.002*	0.942
	Humedad relativa	0.077	0.496
Luminosidad	Sistemas de cultivo	0.115	0.579
	Meses	<0.001*	0.962
	Luminosidad	0.025*	0.666

*Significativo al 0.05, Sig. Significativo, η_p^2 : Eta parcial al cuadrado.

La prueba de comparación por parejas entre los meses de estudio y número de inflorescencias de *V. pompona* con la temperatura y luminosidad como factores ambientales, permitió determinar que la media ajustada de julio difirió estadísticamente solo de junio y setiembre, además, julio fue el mes con mayor producción de inflorescencias. Estos resultados demostraron que las condiciones de temperatura y luminosidad de este mes fueron más óptimas para el desarrollo de inflorescencias en todos los sistemas de cultivo y particularmente en BS.

DISCUSIÓN

En la Concesión para la Conservación de Tingana en el distrito de Moyobamba, la producción de inflorescencias de *V. pompona* varió estadísticamente según meses de estudio, siendo julio el mes con la mayor producción. Por otro lado, el desarrollo de inflorescencias no presentó diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo utilizados en el área; sin embargo, el sistema BS registró una mayor cantidad en comparación con MR y PF. La temperatura y la luminosidad fueron los factores ambientales que tuvieron efectos significativos en la producción de inflorescencias de *V. pompona*, mostrando mayor influencia la luminosidad. Las condiciones ambientales óptimas de BS durante julio favorecieron un mejor desarrollo de las inflorescencias, en cambio condiciones no favorables de luminosidad en MR durante los primeros meses y niveles elevados de temperatura y luminosidad en PF tuvieron efectos negativos en la producción de inflorescencias.

Durante los dos primeros meses los tres sistemas de cultivo presentaron temperaturas que oscilaron entre valores que según Kumar y Balamohan (2013) son ideales para el cultivo de vainilla. Sin embargo, hubo días donde las temperaturas máximas superaron los 33 °C en los sistemas, llegando incluso a valores próximos a los 40 °C en PF durante agosto. Estas condiciones pueden promover la inhibición floral debido al estrés oxidativo (Ali *et al.*, 2005), aborto temprano de las flores (Borbolla-Pérez *et al.*, 2017) o caída prematura de frutos y la aparición de

enfermedades durante el crecimiento y desarrollo de la planta (Pérez-Silva *et al.*, 2021; Villarreal y Herrera-Cabrera, 2018).

En todos los meses, los tres sistemas de cultivo registraron niveles de humedad relativa dentro de los rangos óptimos descritos por Sohail (2022). Sin embargo, en agosto, llegaron a registrar valores de humedad inferiores al 60 %. Estas condiciones podrían producir estrés y promover inhibición de la inducción floral (Ali *et al.*, 2005), aunque según Barreda-Castillo *et al.* (2023) y Cameron (2018) la especie *V. pompona* tolera temporadas prolongadas de sequía.

En los sistemas de cultivo se realizó el seguimiento de la producción de inflorescencias desde abril; sin embargo, las inflorescencias comenzaron a encontrarse a partir de junio. Según Soto y Dressler (2009), la floración de *V. pompona* ocurre de abril a junio, mientras que Viveros-Antonio *et al.* (2023) encontraron en diversas localidades de México que la floración de *V. pompona* se divide en tres periodos: temprano (marzo-mayo), continuo (marzo-octubre) y tardío (junio-agosto).

Estos resultados demuestran que en la Concesión para Conservación Tingana se observó una floración tardía, esto se debe al ámbito geográfico, clima y manejo de los cultivos. Varios estudios señalan que la floración de las orquídeas se ve influenciada por factores como intensidad de la luz (Puthur, 2005) y temperatura (Ordóñez-Blanco y Parrado-Rosselli, 2017), así como disponibilidad hídrica y prácticas de manejo de cultivos (Rocha-Flores *et al.*, 2018).

En BS y PF, se encontró mayormente entre 2 y 4 inflorescencias/planta, mientras que en los tres sistemas se observaron cantidades de hasta 6 inflorescencias/planta, llegando a 8 inflorescencias/planta en BS. Sin embargo, la media de producción en cada sistema fue significativamente baja en comparación a lo reportado por Diez *et al.* (2016) (7,7 inflorescencias/planta) y Ranadive (2005) (entre 8 y 15 inflorescencias).

La baja producción de inflorescencias se atribuye a las características genéticas de la *V. pompona*, el estado nutricional de las plantas que altera la floración (Diez *et al.*, 2016), el manejo de los cultivos (Rocha-Flores *et al.*, 2018), las propiedades del suelo (Rahman *et al.*, 2019), además del estrés temporal que pueden experimentar las vainillas. Ramya (2008) encontró 3.85, 4.2, 3.23 y 1.75 inflorescencias/planta en periodos de estrés de un mes, mes y medio, dos meses y, dos meses y medio, respectivamente, valores promedio semejantes a nuestros hallazgos.

La temperatura influyó significativamente en el número de inflorescencias de *V. pompona*. En contraste, Andrade-Andrade *et al.* (2023) encontraron que la temperatura afectó la densidad de inflorescencias de *V. planifolia*, y que valores elevados pueden tener un efecto negativo en su producción. Durante el periodo de estudio, julio se destacó por presentar temperaturas óptimas para el desarrollo de inflorescencias en los sistemas de cultivo, con valores mínimos no inferiores a 15 °C y máximos que no superaron los 31 °C, especialmente en BS, donde se registró una mayor cantidad de inflorescencias. Estas condiciones coinciden con los rangos óptimos de temperatura diaria descritos por Kumar y Balamohan (2013).

Por otro lado, el mes de agosto se caracterizó por temperaturas máximas próximas a los 40 °C en PF, lo cual resultó en una reducción considerable en la producción de inflorescencias en todos los sistemas de cultivo. Esta disminución puede atribuirse a temperaturas máximas que excedieron los 33 °C, condiciones conocidas por afectar el desarrollo normal de la floración (Villarreal y Herrera-Cabrera, 2018), probablemente debido a la inhibición de la inducción floral por estrés oxidativo (Ali *et al.*, 2005).

Además de la temperatura, la luminosidad demostró tener un efecto significativo en el desarrollo de inflorescencias de *V. pompona*. En contraste, Andrade-Andrade *et al.* (2023) y Puthur (2005) encontraron que la intensidad luminosa afectó la densidad de inflorescencias de *V. planifolia*, ya que este factor ambiental favorece la inducción floral (Díez *et al.*, 2017; Runkle, 2019) y la diferenciación floral (Borbolla-Pérez *et al.*, 2017).

En el caso de MR, se observó un aumento en la luminosidad entre agosto y setiembre, posiblemente debido a un manejo ineficiente del cultivo, ya que la poda de los tutores vivos comenzó en agosto. Este retraso de la poda podría haber limitado el ingreso de luz óptima, ya que los tutores sin podar pueden crear sombra que afecta el desarrollo adecuado de las vainillas (Andrade-Andrade *et al.*, 2023; Parada-Molina *et al.*, 2022). Por lo tanto, se recomienda realizar prácticas de poda periódicas a los tutores vivos, especialmente en MR, ya que según Vargas y Gámez (2014), estos sistemas tienen una mejor

capacidad para adaptar las condiciones climáticas necesarias para el desarrollo y crecimiento de la vainilla.

A pesar de ser una característica importante en los cultivos de vainillas, la humedad relativa no influyó en el desarrollo de inflorescencias de *V. pompona* y no se considera un factor clave en la producción de estas estructuras. En contraste, Andrade-Andrade *et al.* (2023) determinaron también que las condiciones de humedad no afectaron la densidad de inflorescencias, pero si mostraron efectos significativos en la relación frutos/inflorescencia, lo que resalta la importancia de mantener condiciones óptimas de humedad para favorecer el normal desarrollo de otras etapas del cultivo.

En los tres sistemas de cultivo, se observó el mayor número de inflorescencias en julio, periodo en el cual los niveles promedio de humedad relativa fueron cercanos al 85 %. Estos valores coinciden con las condiciones óptimas de humedad descritas por Sohail (2022).

CONCLUSIONES

La producción de inflorescencias de *V. pompona* varió significativamente según meses de estudio. Tanto la temperatura como la luminosidad, como factores ambientales, mostraron una alta incidencia en la producción, siendo la luminosidad el factor que tuvo el mayor efecto. La humedad relativa no influyó sobre la variable respuesta, pero esto no limita a que no sea un parámetro importante para el cultivo. El bosque secundario registró una mayor producción de inflorescencias y durante el mes de julio las condiciones ambientales fueron más óptimas para el desarrollo de inflorescencias en los tres sistemas de cultivo. Es importante realizar prácticas adecuadas de manejo del cultivo, particularmente la poda de los tutores vivos que puede llegar a mejorar la producción de inflorescencias de *V. pompona* en los sistemas de cultivo, sobre todo en malla raschel que asimila mejor las condiciones ambientales.

Agradecimientos

A la Asociación de Conservación de Aguajales y Rencales del Alto Mayo (ADECARAM) por su invaluable apoyo en el desarrollo del presente estudio.

Funding. The research was funded by *Asociación de Conservación de Aguajales y Rencales del Alto Mayo* (ADECARAM). Mario Edinson Chinchay-Carrasco was funded by the *Asociación* to perform the research at Concesión para la Conservación de Tingana, Moyobamba, Perú.

Conflict of interests. Nothing to declare.

Compliance with ethical standards. Not applicable

Data availability. Upon reasonable request to the corresponding author

Author contribution statement (CRediT). **M.E. Chinchay-Carrasco** – Investigation, conceptualization, methodology, Project administration. **M.T. Guerra-Saldaña** – Conceptualization, investigation, formal analysis, writing – original draft. **J.J. López-Rojas** – Investigation, supervisión, Data curation, writing – review and editing.

REFERENCES

- Adiputra, G.K., 2018. Mini review: Intensification of mulching to improve soil moisture in vanilla plantation. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 3, pp.42–48. <https://doi.org/10.22146/jtbb.33636>
- Ahmad, H., Khera, R.A., Hanif, M.A., Ayub, M.A. and Jilani, M.I., 2020. Vanilla. In: M. Asif, H. Nawaz, M. Mumtaz and H. Byrne, eds. *Medicinal plants of South Asia*. Elsevier. pp.657–669. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102659-5.00048-3>
- Ali, M.B., Hahn, E.-J. and Paek, K. Y., 2005. Effects of temperature on oxidative stress defense systems, lipid peroxidation and lipoxygenase activity in Phalaenopsis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 43(3), pp.213–223. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2005.01.007>
- Anderson, J.D., Gastelbondo, M. and Chambers, A.H., 2023. Diagnostic KASP markers differentiate *Vanilla planifolia*, *V. odorata*, *V. pompona*, and their hybrids using leaf or cured pod tissues. *Molecular Biology Reports*, 50(1), pp.707–717. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-08085-7>
- Andrade-Andrade, G., Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B.E., Bustamante-González, A., Soto-Hernández, R.M. and Guízar-González, C., 2023. Humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa influyen en el rendimiento de fruto de *Vanilla planifolia*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(1), 20. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4177>
- Andriamihaja, C.F., Ramarosandratana, A. V., Grisoni, M., Jeannoda, V. and Besse, P., 2020. The leafless Vanilla species-complex from the South-West Indian Ocean Region: A taxonomic puzzle and a model for orchid evolution and conservation research. *Diversity*, 12(12), p.443. <https://doi.org/10.3390/d12120443>
- Arya, S.S., Rookes, J.E., Cahill, D.M. and Lenka, S.K., 2021. Vanillin: a review on the therapeutic prospects of a popular flavouring molecule. *Advances in Traditional Medicine*, 21(3), pp.1–17. <https://doi.org/10.1007/s13596-020-00531-w>
- Barreda-Castillo, J.M., Monribot-Villanueva, J.L., Velázquez-Rosas, N., Bayman, P., Guerrero-Analco, J.A. and Menchaca-García, R.A., 2023. Morphological and physio-chemical responses to PEG-Induced water stress in *Vanilla planifolia* and *V. pompona* Hybrids. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5), p.4690. <https://doi.org/10.3390/ijms24054690>
- Bhai, S. and Dhanesh, J., 2008. Occurrence of fungal diseases in vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) in Kerala. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, [online] 17(2), pp.140–148. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/236023754.pdf>
- Borbolla-Pérez, V., Iglesias-Andreu, L.G., Luna-Rodríguez, M. and Octavio-Aguilar, P., 2017. Perceptions regarding the challenges and constraints faced by smallholder farmers of vanilla in Mexico. *Environment, Development and Sustainability*, 19(6), pp.2421–2441. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9863-y>
- Cameron, K.M., 2018. Vanilla phylogeny and classification. In: D. Havkin-Frenkel and F. Belanger, eds. *Handbook of Vanilla Science and Technology*, 2nd ed. Hoboken: Wiley. pp.377–390. <https://doi.org/10.1002/9781119377320.ch20>
- Chambers, A., Cibrián-Jaramillo, A., Karremans, A.P., Moreno, D., Hernandez-Hernandez, J., Brym, M., Resende, M.F.R., Moloney, R., Sierra, S.N., Hasing, T., Alomia, Y.A. and Hu, Y., 2021. Genotyping-by-sequencing diversity analysis of international Vanilla collections uncovers hidden diversity and enables plant improvement. *Plant Science*, 311, p.111019. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.111019>
- Chambers, A., Moon, P., De Verlands Edmond, V., Brym, M., Bassil, E. and Wu, X., 2023. Vanilla cultivation in southern Florida. *EDIS*, 2023(1), pp.1–8. <https://doi.org/10.32473/edis-hs1348-2023>
- Chambers, A.H., 2019. Vanilla (*Vanilla* spp.) breeding. In: *Advances in plant breeding strategies: Industrial and food crops*. Cham: Springer International Publishing. pp.707–734. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23265-8_18
- Da Silva, J.P., Garrett, R., Bello, M.G. and Furtado, A., 2022. Vanilla flavor: Species from the Atlantic forest as natural alternatives. *Food Chemistry*, 375, p.131891.

- <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131891>
- Díez, M., Moreno, F. and Gantiva, E., 2017. Effects of light intensity on the morphology and CAM photosynthesis of *Vanilla planifolia* Andrews. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 70(1), pp.8023–8033. <https://doi.org/10.15446/RFNA.V70N1.61736>
- Diez, M.C., Osorio, N.W. and Moreno, F., 2016. Effect of dose and type of fertilizer on flowering and fruiting of vanilla plants. *Journal of Plant Nutrition*, 39(9), pp.1297–1310. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1098673>
- Flanagan, N.S., Navia-Samboni, A., González-Pérez, E.N. and Mendieta-Matallana, H., 2022. Distribution and conservation of vanilla crop wild relatives: the value of local community engagement for biodiversity research. *Neotropical Biology and Conservation*, 17(3), pp.205–227. <https://doi.org/10.3897/neotropical.17.e86792>
- Flores, Á., Reyes, D., Jiménez, D., Romero, O., Rivera, J.A., Huerta, M. and Pérez, A., 2017. Diversidad de *Vanilla* spp. (Orchidaceae) y sus perfiles bioclimáticos en México. *Rev. Biol. Trop.*, [online] 65(3), pp.975–987. Available at: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v65n3/0034-7744-rbt-65-03-00975.pdf>
- Iannuzzi, C., Liccardo, M. and Sirangelo, I., 2023. Overview of the role of vanillin in neurodegenerative diseases and neuropathophysiological conditions. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), p.1817. <https://doi.org/10.3390/ijms24031817>
- Ibarra-Cantún, D., Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B.E., Soto-Hernández, R.M., Salazar-Rojas, V.M. and Aguilar, M.I., 2018. Effect of the environmental condition of *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews cultivation on phytochemical concentration. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 24(2), pp.151–165. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2017.08.031>
- Januszewska, R., Giret, E., Clement, F., Van Leuven, I., Goncalves, C., Vladislavleva, E., Pradal, P., Nâbo, R., Landuyt, A., D'Heer, G., Frommenwiler, S. and Haefliger, H., 2020. Impact of vanilla origins on sensory characteristics of chocolate. *Food Research International*, 137, p.109313. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109313>
- Karatoprak, G.Ş., 2022. Vanillin. In: *Antioxidants effects in health*. Elsevier. pp.517–526. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819096-8.00009-4>
- Kataoka, K., Sumitomo, K., Fudano, T. and Kawase, K., 2004. Changes in sugar content of *Phalaenopsis* leaves before floral transition. *Scientia Horticulturae*, 102(1), pp.121–132. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.12.006>
- Khandaker, M.M., Idris, N.S., Ismail, S.Z., Majrashi, A., Alebedi, A. and Mat, N., 2016. Causes and prevention of fruit drop of *Syzygium samarangense* (wax apple): A review. *Advances in Environmental Biology*, [online] 10(11), pp.112–124. Available at: link.gale.com/apps/doc/A486321762/AONE?u=anon~bc1e38&sid=googleScholar&xid=e80b12bb
- Koyyappurath, S., Conéjéro, G., Dijoux, J.B., Lapeyre-Montès, F., Jade, K., Chiroleu, F., Gatineau, F., Verdeil, J.L., Besse, P. and Grisoni, M., 2015. Differential responses of vanilla accessions to root rot and colonization by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-vanillae*. *Frontiers in Plant Science*, 6(1125). <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01125>
- Kumar, R.K. and Balamohan, T., 2013. Factors affecting the quality of Vanilla-A Review. *Research & Reviews: Journal of Agriculture and Allied Sciences*, [online] 2(3), pp.37–41. Available at: <https://www.rroj.com/open-access/factors-affecting-the-quality-of-vanilla-a-review.php?aid=33808>
- López, S., Romero, E., Cerdán, C., Ortiz, G. and Reyes, D., 2019. Association between cocoa (*Theobroma cacao* L.) and vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) crops in an agroforestry system in Comalcalco, Tabasco. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, [online] 22(3), pp.613–629. Available at: <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2622>
- Mahadeo, K., Palama, T.L., Côme, B. and Kodja, H., 2021. Vanilla: culture, reproduction, phytochemistry, curing, pest, and diseases. In: JM. Merillon and H. Kodja, eds. *Orchids Phytochemistry, Biology and Horticulture. Reference Series in Phytochemistry*. Cham: Springer. pp.1–12. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11257-8_13-1
- Naka, A., 2008. *Vanilla pompona* (Orchidaceae), especie de orquídea de los humedales de Madre de Dios: cuantificación por HPLC de la Vanillina y otros componentes aromáticos. Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad

- Católica del Perú. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/16107>
- Ordóñez-Blanco, J.C. and Parrado-Rosselli, Á., 2017. Relación fenología-clima de cuatro especies de orquídeas en un bosque altoandino de Colombia. *Lankesteriana*, 17(1), pp.1–15. <https://doi.org/10.15517/lank.v17i1.27897>
- Pansarin, E.R., 2021. Unravelling the enigma of seed dispersal in Vanilla. *Plant Biology*, 23(6), pp.974–980. <https://doi.org/10.1111/plb.13331>
- Parada-Molina, P.C., Pérez-Silva, A., Cerdán-Cabrera, C.R. and Soto-Enrique, A., 2022. Climatic and microclimatic conditions of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) production systems in Mexico. *Agronomy Mesoamerican*, 33(2), pp.48682–48682. <https://doi.org/10.15517/AM.V33I2.48682>
- Pérez-Silva, A., Nicolás-García, M., Petit, T., Dijoux, J.B., de los Ángeles Vivar-Vera, M., Besse, P. and Grisoni, M., 2021. Quantification of the aromatic potential of ripe fruit of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) and several of its closely and distantly related species and hybrids. *European Food Research and Technology*, 247(6), pp.1489–1499. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03726-w>
- Plasil, T., Stokland, H. and Cañas, L., 2022. Natural ingredient or nostalgic taste? Competing authenticities in the Norwegian vanilla tastescape. *Norsk Antropologisk Tidsskrift*, 33(1), pp.45–59. <https://doi.org/10.18261/nat.33.1.4>
- Puthur, J., 2005. Influence of light intensity on growth and crop productivity of *Vanilla planifolia* Andr. *General and Applied Plant Physiology*, [online] 31(3–4), pp.215–224. Available at: http://www.bio21.bas.bg/ipp/gapbfiles/v-31/05_3-4_215-224-s.pdf
- Rahman, K., Bin, M., Mathew, G. and Subramanian, R., 2019. Pilot scale cultivation and production of *Vanilla planifolia* in the United Arab Emirates. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, [online] 25(6), pp.1143–1150. Available at: <https://www.agrojournal.org/25/06-11.pdf>
- Ramos-Prado, J.M., Romero-Hernández, E., Sánchez-Morales, P., Jiménez-García, D. and Hipólito-Romero, E., 2023. Biocultural and socioeconomic dimensions of sustainability in agroforestry systems diversified with cacao and vanilla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(3), pp.401–412. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i3.3093>
- Ramya, R., 2008. *Influence of micro meteorological factors on flowering in vanilla*. Master thesis, Kerala Agricultural University. Available at: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/1023>
- Ranadive, A.S., 2005. *Vanilla cultivation*. Vanilla: 1st International Congress, Princeton, New Jersey. Pp.25–32.
- Rocha-Flores, R.G., Herrera-Cabrera, B.E., Velasco-Velasco, J., Salazar-Rojas, V.M., Delgado-Alvarado, A. and Mendoza-Castillo, M.C., 2018. Determinación preliminar de componentes de rendimiento para el cultivo de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) en la región Totonacapan, México. *Agro productividad*, 11(3), pp.9–14. Available at: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/210>
- Rodríguez-Deméneghi, M.V., Aguilar-Rivera, N., Gheno-Heredia, Y.A. and Armas-Silva, A.A., 2023. Vanilla cultivation in Mexico: Typology, characteristics, production, agroindustrial prospective and biotechnological innovations as a sustainability strategy. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), pp.93–109. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.009>
- Runkle, E.S., 2019. Environmental control of the flowering process of *Phalaenopsis* orchids. *Acta Horticulturae*, (1262), pp.7–12. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1262.2>
- Singletary, K.W., 2020. Vanilla: Potential health benefits. *Nutrition Today*, 55(4), pp.186–196. <https://doi.org/10.1097/NT.0000000000000412>
- Sohail, M., 2022. *Vanilla production in Australia: Feasibility report*. [online] Available at: <https://agrifutures.com.au/wp-content/uploads/2022/06/22-058.pdf>
- Soto, M. and Dressler, R., 2009. A revision of the Mexican and Central American species of *Vanilla plumier* ex miller with a characterization of their region of the nuclear ribosomal DNA. *Lankesteriana: International Journal on Orchidology*, 9(3), pp.285–354. <https://doi.org/10.15517/LANK.V0I0.12065>
- Taghadomi-Saberi, S., Yadav, D. and Mazhar, M.S., 2023. An integrated strategic framework for priority setting in the Australian vanilla industry. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1240410>

- Toth, S., Lee, K.J. and Hartman, T.G., 2018. Volatile compounds in Vanilla. In: D. Havkin-Frenkel and F.C. Belanger, eds. *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Wiley. pp.285–347. <https://doi.org/10.1002/9781119377320.ch17>
- Van Schaik, C.P., Terborgh, J.W. and Wright, S.J., 1993. The phenology of tropical forests: Adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 24(1), pp.353–377. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.24.110193.002033>
- Vargas, J. and Gámez, H., 2014. *Producción de vainilla en tres sistemas de producción en la sierra Huasteca Potosina*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Disponible en: <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/994.pdf>
- Villanueva-Viramontes, S., Hernández-Apolinar, M., Fernández-Concha, G.C., Dorantes-Euán, A., Dzib, G.R. and Martínez Castillo, J., 2017. Wild *Vanilla planifolia* and its relatives in the Mexican Yucatan Peninsula: Systematic analyses with ISSR and ITS. *Botanical Sciences*, 95(2), pp.169–187. <https://doi.org/10.17129/botsci.668>
- Villarreal, L.A. and Herrera-Cabrera, B.E., 2018. Requerimiento hídrico en el sistema de producción vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews)-Naranjo (*Citrus sinensis* L.) región del Totonacapan, Veracruz, México. *Agro Productividad*, 11(3), pp.29–36. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/213>
- Viveros-Antonio, C., Delgado-Alvarado, A., Bustamante-González, A., Hernández-Ruíz, J., Arévalo-Galarza, Ma. de L. and Herrera-Cabrera, B.E., 2023. *Vanilla pompona* Schiede (Vanilloideae-Orchidaceae): Morphological variation of the labellum in the Mexican localities of Veracruz, Puebla, Jalisco and Oaxaca. *Diversity*, 15(11), p.1125. <https://doi.org/10.3390/d15111125>
- Watteyn, C., Fremout, T., Karremans, A.P., Huarcaya, R.P., Azofeifa, J.B., Reubens, B. and Muys, B., 2020. Vanilla distribution modeling for conservation and sustainable cultivation in a joint land sparing/sharing concept. *Ecosphere*, 11(3). <https://doi.org/10.1002/ECS2.3056>
- Wilde, A.S., Hansen, A.S., Fromberg, A., Lauritz Frandsen, H. and Smedsgaard, J., 2020. Determination of $\delta^{13}\text{C}$ of vanillin in complex food matrices by HS-SPME-GC-C-IRMS. *Flavour and Fragrance Journal*, 35(4), pp.387–393. <https://doi.org/10.1002/ffj.3573>
- Yao, L., 2023. *Sustainable vanilla production in Tanzania? – A case from Kagera region*. Master thesis in Sustainable Development, Uppsala University. Available at: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1765139&dswid=9129>