



<https://iphopen.org/index.php/aes>

Online ISSN: 3050-8843

Print ISSN: 3050-9297

OPTIMIZACIÓN ECOFISIOLÓGICA DE LA PRODUCCIÓN DEL FORRAJE ADAPTADO A LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DE MOCACHE.

ECOPHYSIOLOGICAL OPTIMIZATION OF FORAGE PRODUCTION ADAPTED TO THE CLIMATIC CONDITIONS OF MOCACHE.

MARÍA VERÓNICA TAIPE TAIPE^{1*}

Ingeniera Agrónoma, Magister en Producción Animal, <https://orcid.org/0000-0002-0507-715X>,

CARLOS ALBERTO MOLINA HIDROVO¹

Ingeniero Zootecnista, Magister en Producción Animal mención Nutrición Animal, <https://orcid.org/0000-0002-6875-6002>,

JULIO RAFAEL GILCES LECTONG¹

Médico Veterinario, <https://orcid.org/0009-0002-5350-8724>,

KAREN MELISSA ALBACURA CAMPUES¹

Ingeniera Agropecuaria, <https://orcid.org/0009-0000-6677-5149>,

ÁNGEL ALEXANDER TORRES LOOR¹

Médico Veterinario, <https://orcid.org/0009-0007-6639-948X>,

^{*1}Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP), Mocache - Ecuador.

***Corresponding Author: MARÍA VERÓNICA TAIPE TAIPE**

Resumen

El crecimiento eco fisiológico y la calidad del forraje son aspectos fundamentales para el desarrollo sostenible de la producción ganadera, su déficit, limita el potencial de la ganadería y la competitividad de los productores, las condiciones ambientales, la topografía del terreno, así como las variedades adaptadas al medio pueden ser influyentes. Se buscó Optimizar el crecimiento eco fisiológico y la producción del forraje adaptado a las condiciones climáticas del cantón Mocache. La investigación se realizó en la EETP- INIAP, ubicada en el km 5 de la vía Quevedo – El Empalme, a 75 msnm de altitud, Humedad Relativa 90,26 %; Heliofanía 60,6 horas luz; Temperatura 26,3 °C; Precipitación 198 mm. Se utilizó la Classification and Regression Trees para explorar y modelar relaciones complejas entre las variables predictoras y las variables ecofisiológicas aplicando el método CHAID, en el software estadístico SPSS versión 25. Las variables predictoras (edad de la planta, variedad, humedad relativa y heliofanía) fueron influyentes sobre las variables eco-fisiológicas (altura de planta; largo, ancho y número de hojas; diámetro de tallo y número de macollos). Se recomienda realizar estudios tanto en el tiempo como en espacio, para determinar las variedades adaptadas a las condiciones ambientales del litoral ecuatoriano.

Summary

Eco-physiological growth and forage quality are fundamental aspects for the sustainable development of livestock production, its deficit limits the potential of livestock farming and the competitiveness of producers, environmental conditions, the topography of the land, as well as the varieties adapted to the environment can

be influential. The aim was to optimize eco-physiological growth and forage production adapted to the climatic conditions of the Mocache canton. The research was carried out at the EETP-INIAP, located at km 5 of the Quevedo – El Empalme road, at 75 meters above sea level, Relative Humidity 90.26 %; Heliophany 60.6 light hours; Temperature 26.3 °C; Precipitation 198 mm. Classification and Regression Trees was used to explore and model complex relationships between the predictor variables and the ecophysiological variables by applying the CHAID method, in the statistical software SPSS version 25. The predictor variables (plant age, variety, relative humidity and heliophany) were influential on the eco-physiological variables (plant height; length, width and number of leaves; stem diameter and number of tillers). It is recommended to carry out studies both in time and space, to determine the varieties adapted to the environmental conditions of the Ecuadorian coast.

Keywords: growth, forage production, panicum, brachiaria,

DOI:-10.5281/zenodo.15104781

Manu script # 286

Introducción

La producción de forraje es un componente fundamental en la agricultura de diversas regiones, especialmente en aquellas dedicadas a la ganadería, donde la calidad y cantidad del forraje inciden directamente en la productividad animal (Lemaire *et al.*, 2011).

La optimización ecofisiológica de la producción forrajera, que involucra la comprensión de los procesos biológicos de las plantas en función de su ambiente, es clave para mejorar la eficiencia de los sistemas de producción agropecuaria (Ramírez de la Ribera *et al.*, 2017; Naah *et al.*, 2017).

La adaptación de las especies forrajeras a las condiciones edafoclimáticas específicas de una región, optimiza el rendimiento de la producción forrajera, al mismo tiempo que garantiza la seguridad alimentaria animal, mantiene la sostenibilidad del ecosistema, la productividad de los hatos ganaderos y la estabilidad económica de los productores, minimizando los impactos negativos sobre el medio ambiente (El-Sharkawy *et al.*, 2012; Portillo *et al.*, 2021; Simeão *et al.*, 2023).

En las regiones tropicales y subtropicales, los productores enfrentan limitaciones significativas debido a la variabilidad climática, la degradación de suelos, las irregularidades del terreno y el uso ineficiente de recursos hídricos, lo que afecta negativamente la producción y calidad del forraje, limitando el potencial de la ganadería y, por ende, la competitividad de los pequeños y medianos productores (Ramírez de la Ribera *et al.*, 2017).

Un forraje de baja calidad no solo disminuye el rendimiento productivo del ganado, sino que también incrementa los costos de producción, asociados con el uso de insumos externos, debido a que los productores se ven obligados a obtener suplementos alimenticios comerciales (Sánchez, 2005; Motta *et al.*, 2019).

En este contexto, la eco-fisiología ofrece herramientas para comprender cómo las plantas forrajeras responden a las variaciones edafoclimáticas. Factores como la disponibilidad de agua, la temperatura del suelo, la radiación solar y la composición del suelo afectan de manera directa la fotosíntesis, la transpiración y el crecimiento de las especies forrajeras (Madouh, 2022). aumentando significativamente la producción de biomasa y la calidad del forraje en regiones con climas y suelos variados (Sarambé *et al.*, 2020).

Cultivar pastos adaptados también contribuye a la conservación del suelo, debido a que tienen sistemas radiculares profundos que ayudan a prevenir la erosión del suelo y mejorar su estructura. Fijan nutrientes e incrementan la materia orgánica, promoviendo un ciclo sostenible de nutrientes y mejora la biodiversidad del ecosistema (del Prado *et al.*, 2022).

Las especies que han co-evolucionado en entornos variantes desarrollan mecanismos para optimizar el uso del agua, tolerar la salinidad o aprovechar mejor los nutrientes. Reduciendo la necesidad de riego, la aplicación intensiva de fertilizantes, la huella de carbono y demás impactos ambientales (Simeão *et al.*, 2023), garantizando la disponibilidad de alimento durante todo el año, donde los animales tienen tasas de conversión alimenticia más altas y son más saludables, lo que impacta en la producción de carne y leche, por tanto, en la eficiencia productiva y reproductiva del ganado (El-Sharkawy *et al.*, 2012).

Cultivar pastos adaptados a las condiciones climáticas locales ofrece múltiples beneficios para la producción ganadera, desde la mejora en la eficiencia del uso de recursos hasta la sostenibilidad ecológica. Estos forrajes permiten a los productores enfrentar los desafíos del cambio climático, garantizar una mayor estabilidad en la producción y contribuir a la conservación de los recursos naturales (del Prado *et al.*, 2020; Midgley, 2017).

De allí que el INIAP trabaja arduamente para optimizar la ecofisiología de la producción del forraje adaptado a las condiciones edafoclimáticas específicas de Mocache. Esto no solo contribuirá a mejorar la calidad del forraje disponible, sino que también permitirá el desarrollo de estrategias de manejo, que maximicen el rendimiento sin comprometer la sostenibilidad del ecosistema.

Metodología

La investigación se realizó en la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicada en el 5 km de la vía Quevedo – El Empalme, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, a 75 msnm de altitud, Humedad Relativas 90,26 %, Heliofanía 60,6 horas luz, Temperatura 26,3 °C; Precipitación 198 mm como promedios para el mes de noviembre 2023 (EETP, 2023).

Se implementó 32 unidades experimentales de un área de 24 m² (3m x 8m) por unidad, para el registro de la información de las variables climáticas, se procedió a la observación en horario de 6:00, 12:00 y 18:00, para luego obtener el promedio por día en el tiempo de evaluación. En el caso de las variables ecofisiológicas se procedió: **Número de macollos**.- se contabilizó el número de macollos existentes por planta; **Altura de planta (cm)**.- se midió desde la base del tallo hasta el ápice de la planta utilizando un metro. **Largo de hoja (cm)**.-se consideró la hoja basal y se procedió a medir desde la base hasta el ápice; **Ancho de la hoja (cm)**.- se midió el ancho en la parte media de la hoja; **Distancia entre nudos (cm)**.- se midió la distancia existente entre los dos primeros nudos; **Diámetro de tallo (mm)**.- se midió a los 10 cm desde la base del tallo, utilizando un calibrador de Vernier; **Rendimiento de materia verde (kg.ha⁻¹)**.- Se lanzó aleatoriamente un cuadrante de 1 m², se realizó el corte a 10 cm del nivel del suelo y se pesó el forraje. **Rendimiento de materia seca (kg.ha⁻¹)**.- las plantas se picaron en pedazos entre 3 a 5 cm, se obtuvo una muestra homogénea y se extrajo una submuestra de 1 kg que se secó en una estufa, y se pesó la materia seca.

Para el análisis estadístico se utilizó Classification and Regression Trees para explorar y modelar relaciones complejas entre las variables predictoras (climáticas: temperatura, humedad relativa, tensión de vapor de agua, punto de rocío, heliofanía, evaporación y precipitación; pendiente:plano e inclinado; y las variedades: Saboya, Mombasa, Xaraes y Basilisk) con las variables ecofisiológicas (altura de planta; ancho, largo y número de hojas; número de nudos, número de macollos, diámetro de tallo, rendimiento de materia verde, rendimiento de materia seca), aplicando el método CHAID (Chi-squared Automatic Interaction Detection) en el software estadístico SPSS versión 25.

Resultados y Discusión

Altura de planta

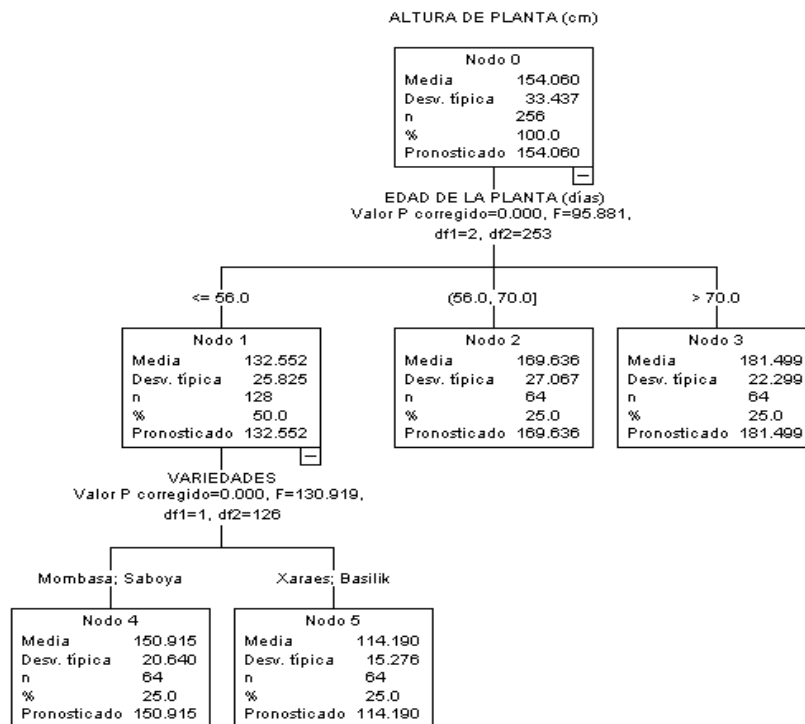


Figura 1. Classification and Regression Trees para la variable altura de planta (cm) vs variables predictoras

En la (figura 1) se observa que la altura de planta tiene una estrecha relación (p valor < 0,05) con la edad y variedades. Para la edad se diferencia tres nodos, observando el promedio más alto (181,5 cm de alto) cuando la planta tenía más de 70 días de edad. A medida que la edad de la planta aumenta, la altura promedio de las plantas también aumenta. En cuanto a las variedades, el nodo 1 se subdivide en dos nodos (4 y 5) lo que denota

que la diferencia en altura es más notable en plantas menores a los 56 días de edad, clasificando a las variedades Mombasa y Saboya, con el mayor promedio (150,9 cm de alto). La diferencia en la altura sugiere que estas dos variedades tienen una mayor capacidad para crecer en las condiciones estudiadas.

Ancho de hoja (cm)

El ancho de la hoja tiene una estrecha relación (p valor $< 0,05$) con las variedades, diferenciándose tres nodos: siendo Mombasa y Saboya (nodo 1), los pastos con hojas más anchas (3,4 cm). Este comportamiento está relacionado con la genética y las adaptaciones fisiológicas de cada variedad (Midgley, 2017).

Largo de hoja (cm)

Se encontró significación estadística (p valor $< 0,05$) con las variedades que se clasifica en cuatro nodos, Mombasa con un promedio de 98,7 cm de largo de hoja (nodo 1) indica la variabilidad genética existente. Los cultivares con mayor largo y ancho de hoja son más eficientes por su mayor capacidad fotosintética y, por ende, un mayor potencial productivo (Becklin *et al.*, 2016).

Las diferencias observadas entre las variedades, especialmente entre Mombasa y Basilisk, subrayan la importancia de elegir variedades con características morfológicas favorables, que maximicen la productividad y eficiencia de los sistemas forrajeros. El largo de la hoja es un parámetro importante para la productividad de los pastos, ya que está relacionado con la capacidad de captación de luz solar y la producción de biomasa.

Número de hojas

Se observó diferencias significativas (p valor $< 0,05$) para las variedades, siendo Xaraés (nodo 2) el que produjo más hojas (6,6) que los otros cultivares. En términos eco-fisiológicos, el número de hojas está influenciado por el tipo de cultivar. Los cultivares pueden presentar diferencias notables en la cantidad de hojas que producen, lo cual es relevante para estudios sobre productividad, eficiencia en el uso de recursos (agua, luz, nutrientes) y adaptabilidad al ambiente (Singh *et al.*, 2023).

El número de hojas tiene implicaciones directas en el rendimiento, puesto que está asociado con una mayor capacidad de fotosíntesis, lo que potencialmente resulta en una mayor producción y calidad de biomasa (Montalbano y Reyes, 2023). Sin embargo, un número excesivo de hojas podría no siempre ser beneficioso, si implica un mayor costo en términos de recursos para mantenerlas (mayor demanda de agua). Por lo tanto, esta relación debe analizarse dentro del contexto del entorno agroclimático y las características de cada cultivar (Singh *et al.*, 2023; Sadras & Calderini, 2009).

Número de nudos

Con p valor $< 0,05$ el número de nudos tiene una estrecha relación con edad y las variedades. Para la edad se clasificó en tres nodos. En el nodo 3 cuando las plantas tienen más de 70 días de edad presentan en promedio 4,0 nudos lo que indica que están en una fase de madurez, con un mayor desarrollo estructural y más competentes para la fotosíntesis y la absorción de nutrientes. La relación del número de nudos con la edad de la planta es un indicador de la fase de crecimiento de la planta, influenciado por su madurez. A medida que la planta envejece, el número de nudos generalmente aumenta, reflejando su desarrollo estructural (Aluko *et al.*, 2023).

El nodo 2 cuando las plantas están entre los 38 y 70 días de edad se divide en dos nodos, clasificando por una parte (nodo 4) a los cultivares Mombasa y Basilisk con un promedio de 3,2 nudos lo que indica que tienen un ritmo de desarrollo más rápido en comparación con los otros cultivares en esta fase de desarrollo.

El número de nudos es un indicador de la estructura de la planta (Aluko *et al.*, 2023). Los nudos son los puntos de ramificación y su número influye en la producción de hojas, ramas y flores (Sachs, 1999). Un mayor número de nudos está asociado con una mayor capacidad de la planta para aprovechar los recursos disponibles, como luz y nutrientes, lo que tiene un impacto directo en su productividad (Miao *et al.*, 2024). Los cultivares con más nudos tienen más hojas, lo que les permite una mayor captura de luz solar y potencialmente mayor rendimiento.

Diámetro de tallo

El diámetro de tallo (Figura 2) tiene una estrecha relación (p valor $< 0,05$) con las variedades y humedad relativa. Esto implica que tanto el cultivar como las condiciones ambientales, específicamente la humedad relativa, son factores importantes en la determinación del diámetro del tallo en las plantas estudiadas.

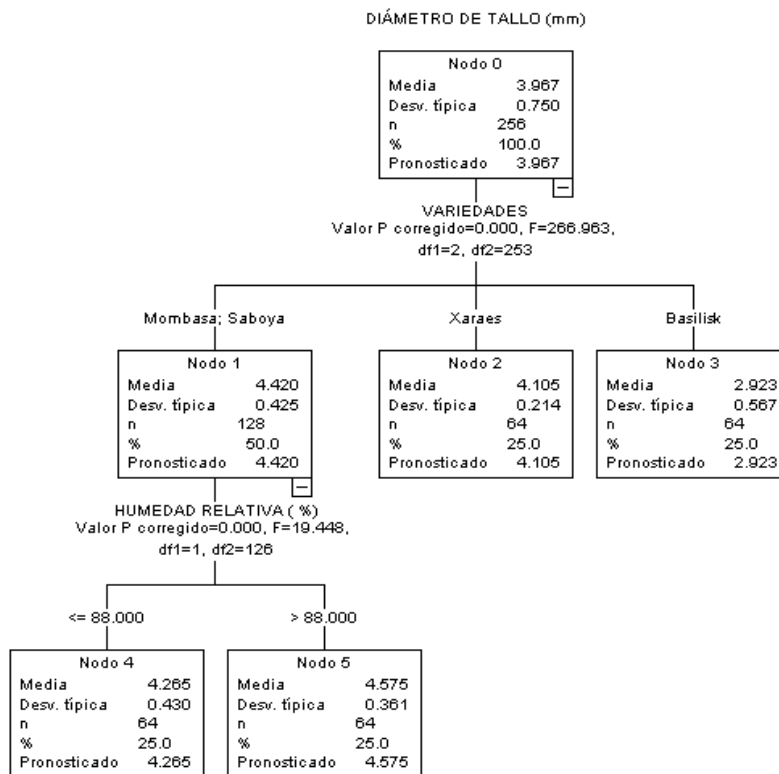


Figura 2. Classification and Regression Trees para la variable diámetro de tallo vs variables predictoras

Para las variedades se forman tres grupos. En el nodo 1 con un promedio de 4,4 mm de diámetro de tallo se agrupan los cultivares Mombasa y Saboya, esto sugiere que estas variedades tienen un mayor desarrollo del tallo en comparación con otros cultivares, lo cual puede estar asociado con una mayor capacidad de crecimiento y adaptabilidad a las condiciones del ambiente. Este patrón refleja que estos cultivares tienen un mayor potencial para crecer más rápido y/o soportar condiciones más severas (Bhardwaj, 2024).

Dentro del nodo 1 (Mombasa y Saboya), se observa una subdivisión basada en la humedad relativa del ambiente. Indicando que estos cultivares tienen mayor diámetro (4,6 mm) cuando la HR > 88 %. Este hallazgo refleja la importancia de la humedad relativa como factor ambiental que influye en el crecimiento de las plantas. En general, las plantas suelen mostrar un mejor crecimiento en condiciones de mayor humedad relativa, ya que esto favorece la transpiración y la absorción de agua, elementos clave para la expansión del tallo (Hirai *et al.*, 2000). Por lo tanto, los cultivares *Mombasa* y *Saboya* parecen ser más eficientes en su crecimiento cuando las condiciones ambientales son más húmedas.

El diámetro del tallo es una medida eco-fisiológica clave que refleja la capacidad estructural de la planta para transportar agua y nutrientes y la acumulación de biomasa de la planta. Los tallos más gruesos suelen estar asociados con plantas más robustas que pueden soportar mejor las cargas de nutrientes y agua, vital para el crecimiento vegetativo y la formación flores y frutos (Miao *et al.*, 2024).

Este análisis permite realizar recomendaciones agronómicas para manejar la humedad relativa y seleccionar variedades específicas según las condiciones. Por ejemplo, en zonas con alta humedad, se puede recomendar los cultivares *Mombasa* y *Saboya* por su mayor diámetro del tallo, mientras que, en áreas más secas, el cultivar *Xaraes* podría ser el más adecuado.

Número de macollos

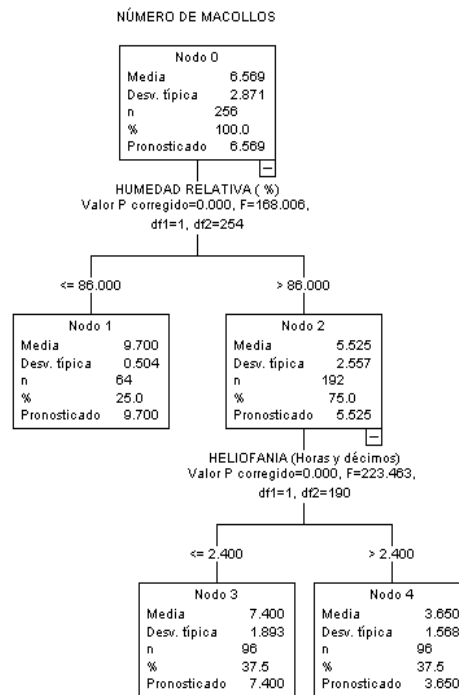


Figura 3. Classification and Regression Trees para la variable número de macollos vs variables predictoras

El número de macollos (Figura 3) tiene una estrecha relación (**p valor** < 0,05) con la humedad relativa y la heliofanía. La humedad relativa forma dos grupos, con 9,7 macollos promedio (nodo 1) indica que las plantas con menor humedad relativa (< 88 %) pueden formar más macollos, posiblemente debido a un mecanismo de adaptación a condiciones más secas, donde las plantas desarrollan su capacidad de absorción de agua y nutrientes.

Este hallazgo refleja la adaptación eco-fisiológica de las plantas a las condiciones de humedad. En ambientes secos (< HR), las plantas pueden desarrollar más macollos como estrategia para maximizar su área de absorción de agua y aumentar su capacidad de adaptación a las condiciones de estrés hídrico, mientras que, en ambientes húmedos (> HR), donde el agua está disponible, las plantas tienden a reducir la formación de macollos (Becklin *et al.*, 2016).

Así también las plantas generan más macollos (7,4 macollos) con menos horas de sol (heliofanía < 2,4), lo que indica que, en ambientes con menor radiación solar, las plantas intentan maximizar su área de captura de luz mediante la formación de macollos (Xiong, 2024).

La influencia de la heliofanía en el número de macollos destaca cómo las plantas responden a la cantidad de luz disponible. En áreas con menos luz, las plantas desarrollan más macollos como mecanismo de adaptación para mejorar su capacidad de captación de luz solar. En contraste, en áreas con alta exposición solar, la planta probablemente optimiza su crecimiento y producción fotosintética en otras formas (como crecimiento vertical o expansión de hojas), lo que resulta en un menor número de macollos (Xiong, 2024).

Los macollos son importantes porque representan puntos de crecimiento adicional en las plantas, lo que puede incrementar su capacidad para captar luz, agua y nutrientes, especialmente en condiciones de estrés. En algunas especies, un mayor número de macollos está asociado con mayor productividad, ya que estos pueden generar más hojas. Sin embargo, un exceso de macollos también puede llevar a una competencia interna por recursos, lo que podría limitar el crecimiento general de la planta (Seyedi *et al.*, 2024).

Rendimiento de materia verde (kg.ha⁻¹)

No se observó diferencias significativas (p valor > 0,05) para el rendimiento de materia verde, en promedio general se obtuvo 45.474,5 kg.ha⁻¹, por lo que se considera que no hubo un impacto considerable en el rendimiento en términos de la biomasa producida con las variables predictoras.

Literatura reciente sobre eco-fisiología, demuestra que el rendimiento de la materia verde está influenciado por múltiples factores, como el manejo agronómico, el uso de tecnologías emergentes (por ejemplo, sensores para

monitoreo de riego, prácticas sostenibles) y la genética de los cultivos. Sin embargo, los estudios también resaltan que, en algunas situaciones, las intervenciones pueden no generar efectos visibles inmediatos, especialmente cuando las condiciones son subóptimas o suficientemente controladas (Benitez *et al.*, 2021).

Además, está documentado que la variabilidad climática y los cambios en las prácticas agrícolas tienen un impacto variable en el rendimiento de la biomasa (Gouis *et al.*, 2020), lo que hace que los estudios de largo plazo y repetidos sean esenciales para establecer tendencias más claras.

Rendimiento de materia seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Los resultados no muestran diferencias lo suficientemente claras como para ser consideradas estadísticamente significativas (p valor $> 0,05$). Los factores estudiados no influyeron de manera sustancial en el rendimiento de materia seca. Por lo que se entiende que el sistema tiene una capacidad intrínseca de producción que no es fácilmente modificable por los factores estudiados. En promedio general se obtuvo $11.186,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de materia seca.

Chavez *et al.* (2024) sugieren que factores como las condiciones de riego, la fertilización y las prácticas de manejo del suelo tienen efectos notables sobre la biomasa seca, aunque los efectos varían según las condiciones locales y el tipo de cultivo. Weiskopf *et al.* (2023), analizaron, cómo los cambios climáticos afectan la biomasa en diversas regiones, además mencionan que el impacto en la producción de materia seca no siempre es inmediato ni significativo, especialmente cuando las prácticas agrícolas son adaptativas a las variaciones climáticas.

Conclusiones

De los resultados presentados se concluye que la altura de planta; largo, ancho y número de hojas; número de nudos; así como el diámetro de tallo, tienen una influencia directa con la variedad. El número de macollos está estrechamente relacionado con la humedad relativa y heliofanía y el diámetro de tallo con la humedad relativa.

Agradecimiento

Agradecimiento efusivo al “Fondo de Investigación de Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable – FIASA” por el financiamiento al proyecto “Generación de estrategias climáticamente inteligentes para la producción de biomasa forrajera y su transformación en proteína animal en el Litoral ecuatoriano. FIASA-EETP-2023-02” del cual fue parte esta actividad.

Bibliografía:

1. Becklin, K. M., Anderson, J. T., Gerhart, L. M., Wadgyar, S. M., Wessinger, C. A., & Ward, J. K. (2016). Examining Plant Physiological Responses to Climate Change through an Evolutionary Lens. *Plant physiology*, 172(2), 635–649. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00793>
2. Bhardwaj, R. (2024). Environmental Factors Affecting the Crops' Growth and Development: An Analytical Study. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, 23(1), 1160-1167. <https://doi.org/10.61841/53q8y632>. <https://psychosocial.com/PSY/index.php/ijpr/article/view/1724/1570>
3. Portillo-López, P.A., Meneses-Buitrago, D.H., Lagos-Burbano, E., Duter-Nisivoccia, M.E. & Castro-Rincón, E. (2021). Adaptación de mezclas forrajeras a diferentes niveles de enmienda y riego en Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 32(2), 538-555, <https://doi.org/10.15517/am.v32i2.41265>. <https://www.redalyc.org/journal/437/43766744014/html/>
4. Singh, D., Sharma, O.P., Kushwah, N., Singh Chauhan, A.P. & Jain, M.. (2023). Agronomic Considerations for Sustainable Intensification of Crop Production. *Plant Science Archives*. V08(02), 07 - 09. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10399453>. <https://plantarc.com/wp-content/uploads/2023/12/Agronomic-Considerations-for-Sustainable-Intensification-of-Crop-Production-1.pdf>
5. Estación Experimental Tropical Pichilingue. (2023). Información climatológica del mes de noviembre del 2023. Mocahe – Ecuador.
6. Naah, J.B.S.N., Guuroh, R.T. & Linstädter, A. (2017). Factors influencing local ecological knowledge of forage resources: Ethnobotanical evidence from West Africa's savannas. *Journal of Environmental Management*, 188, 297-307, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.064>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716309562>
7. Seyed, F.S., Nafchi, M.G. & Reezi, S. (2024). Effects of light spectra on morphological characteristics, primary and specialized metabolites of *Thymus vulgaris* L, *Heliyon*, 10(1), e23032, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23032>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023102404>
8. Chavez, J., Nijman, V., Sukmadewi, D.K.T., Sadnyana, M.D., Manson, S. & Campera, M. (2024). Impact of Farm Management on Soil Fertility in Agroforestry Systems in Bali, Indonesia. *Sustainability*, 16, 7874. <https://doi.org/10.3390/su16187874>. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/18/7874>

9. Weiskopf, S.R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E. , Hyde, K.J.W., Morelli, T. L., Morissette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M D. , Sutton-Grier, A. E., Thompson, L. , Vose, J., Weltzin, J. F. & Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States, *Science of The Total Environment*, 733, 137782, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720312948>
10. Midgley, G.F. (2017). *Plant Physiological Responses to Climate and Environmental Change*. In eLS, John Wiley & Sons, Ltd (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0003205.pub2>
11. Sarambé, C., Kaboré, M.L., Zampaligré, N., Roessler, R. & Sangaré, M. (2020). Forage biomass availability, species diversity and seasonal variation in grazing behaviour of cattle in the outskirts of Ouagadougou. *J. Agr. Rural Develop. Trop. Subtrop*, 121(2),185–194. ISSN: 2363-6033. <https://doi.org/10.17170/kobra-202007291510>
12. Hirai, G., Okumura, T., Takeuchi, S., Tanaka, O. & Chujo, H. (2000). Studies on the Effect of the Relative Humidity of the Atmosphere on the Growth and Physiology of Rice Plants, *Plant Production Science*, 3(2), 129-133, <https://doi.org/10.1626/pp.s.3.129>. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1626/pp.s.3.129>
13. Aluko, D.O., Ojo, V.O.A., Akinyemi, B. T., Adelusi, O. O., Adeyemi, T.A. Oyaniran, D.K & Dada, F.I. (2023). Effect of Age at Harvest and Varieties on the Growth and Yield of *Cenchrus purpureus*. *LOJ Sci* 1(2). <https://lupinepublishers.com/sciences-journal/pdf/LOJS.MS.ID.000107.pdf>
14. El-Sharkawy, M.A., de Tafur, M.S. & López, Y. (2012). Eco-physiological research for breeding improved cassava cultivars in favorable and stressful environments in tropical/subtropical bio-systems. *Environmental Research Journal*. 6(2). ISSN: 1935-3049. https://www.researchgate.net/profile/Mabrouk-El-Sharkawy/publication/264557147_Ecophysiological_research/links/556ee45608aecd7773fa5f1/Ecophysiological-research.pdf
15. Lemaire, G., Hodgson, J. & Chabbi, A. (2011). *Grassland productivity and ecosystem services*. Cabi Digital Library. ePDF:eISBN : 978-1-84593-900-7. 287 pages.
16. Xiong, D. (2024). Perspectives of improving rice photosynthesis for higher grain yield, *Crop and Environment*.3(3),123-137, ISSN 2773-126X, <https://doi.org/10.1016/j.crope.2024.04.001>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773126X2400011X>
17. Madouh, T.A. (2022). Eco-Physiological Responses of Native Desert Plant Species to Drought and Nutritional Levels: Case of Kuwait. *Front. Environ*, 10, 13. Sci. 10:785517. doi: 10.3389/fenvs.2022.785517
18. Montalbano, J., & Reyes, J. (2023). Plant physiological responses to environmental variables and their effect on yield. *Agronomy Journal*, 115(7), 1359-1371.
19. Benitez-Alfonso, Y., Soanes, B. K., Zimba, S., Sinanaj, B., German, L., Sharma, V., Bohra, A., Kolesnikova, A., Dunn, J. A., Martin, A. C., Rahman, M.K., Saati-Santamaría, Z., García-Fraile, P., Ferreira, E. A., Frazão, L. A., Cowling, W. A., Siddique, K.H.M., Pandey, M. K., ...& Foyer, C. H. (2023). Enhancing climate change resilience in agricultural crops, *Current Biology*, 33(23), R1246-R1261, ISSN 0960-9822, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.10.028>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982222301429X>
20. Simeão, R.M., da Silva, D.D., dos Santos, F.C. Vilela, L., Teixeira da Silveira, M.C., Resende, A.C. & Pereira de Albuquerque, P.E. (2023). Adaptation and indication of forage crops for agricultural production in sandy soils in western Bahia State, Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 45, e56144, <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v45i1.56144>. <https://www.redalyc.org/journal/3030/303075473011/html/>
21. del Prado, A., Galán, P.E., Batalla, U. y Pardo, G. (2020). Impactos y adaptación al cambio climático en rumiantes. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 116(5), 461-482. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.038>. [https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2020/116-5/\(461-482\)%20ITEA%20116-5%20EXTRA.pdf](https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2020/116-5/(461-482)%20ITEA%20116-5%20EXTRA.pdf)
22. Ramírez de la Ribera, J. L., Zambrano Burgos, D. A., Campuzano, J., Verdecia Acosta, D., Chacón Marcheco, E., Arceo Benítez, Y., Labrada Ching, J., & Uvidia Cabadiana, H. (2017). El clima y su influencia en la producción de los pastos. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(6), 1-12. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63651420007.pdf>
23. Sánchez Matta, L. (2005). Estrategias modernas para la conservación de forrajes en sistemas de producción bovina tropical. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 6(2), 69. 10.21930/rcta.vol6_num2_art:51
24. Sadras, V. & Calderini, D. (2009). *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. Academic Press. 122-143, ISBN 9780123744319. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374431-9.00006-2>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123744319000062>
25. Motta-Delgado, P.A., Ocaña Martínez, H.E & ojas-Vargas, E.P. (2019). Indicadores asociados a la sostenibilidad de pasturas: una revisión. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 387-408. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol20num2art:1464>. <https://www.redalyc.org/journal/4499/449960477013/html/>

26. Gouis, J.L., Oury, F.X. & Charmet, G. (2020). How changes in climate and agricultural practices influenced wheat production in Western Europe, *Journal of Cereal Science*, 93, 102960, ISSN 0733-5210, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102960>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521019309646>
27. Miao, L., Wang, X., Yu, C., Ye, C., Yan, Y., & Wang, H. (2024). What factors control plant height?. *Journal of Integrative Agriculture*. 23(6), 1803-1824, ISSN 2095-3119, <https://doi.org/10.1016/j.jia.2024.03.058>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311924001308>
28. Sachs, T. (1999), 'Node counting': an internal control of balanced vegetative and reproductive development. *Plant, Cell & Environment*, 22: 757-766. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00220.x>. <https://online.library.wiley.com/doi/epdf/10.1046/j.1365-3040.1999.00220.x>