



Análisis Gravimétrico de Humedad y Materia Seca en Laboratorio del SENA Caquetá

Autores:

Danna Valentina Herrera Quintero
Kerly Dahiana Trujillo Guerra
Paula Beatriz Sánchez Benavides
Wendy Lizeth Rodríguez Figueroa
Daniel Ricardo Hernández arce
Jhon James Hurtatis Trujillo
Yeison Stiven Quigua
Edwin Gustavo Dussán Malagón

Resumen

El estudio tuvo como objetivo determinar la humedad gravimétrica del suelo y el contenido de materia seca en forrajes del Centro Tecnológico de la Amazonia (CTA), SENA – Regional Caquetá, para aportar información técnica útil en la planificación agropecuaria regional. Se aplicaron métodos gravimétricos estandarizados en el laboratorio del CTA, evaluando muestras de suelo y forraje recolectadas en distintas zonas del predio. La infraestructura analítica del laboratorio fue caracterizada, verificando la calibración de equipos y la aplicación de protocolos de bioseguridad. Los resultados indicaron bajos porcentajes de materia seca en forrajes (4,49 – 4,81 %) y alta humedad en suelos (>90 %), condiciones propias de ecosistemas tropicales húmedos. Las proyecciones climáticas para 2025 estiman un incremento de temperatura de +3 °C y una reducción del 10 % en las precipitaciones durante el verano ecológico, lo cual podría disminuir la humedad del suelo y aumentar la proporción de materia seca, afectando la calidad nutricional de los forrajes. Se identificaron especies adaptadas a estas condiciones —*Brachiaria humidicola*, *Paspalum atratum*, *Panicum maximum* y *Setaria sphacelata*— y se recomendó promover sistemas de ganadería doble propósito que optimicen su aprovechamiento. En conclusión, el laboratorio del CTA demuestra capacidad técnica para realizar análisis gravimétricos confiables, generando datos relevantes para la gestión agropecuaria y la adaptación al cambio climático en la Amazonia colombiana.

Palabras clave: método gravimétrico, humedad del suelo, materia seca, forrajes tropicales, cambio climático, ganadería sostenible.

Abstract

This study aimed to determine soil gravimetric moisture and dry matter content in forages from the Amazon Technology Center (CTA), SENA – Caquetá Regional, to provide technical evidence for regional agricultural planning. Standardized gravimetric methods were applied in the CTA laboratory, analyzing soil and forage samples collected from different areas of the facility. The analytical infrastructure was assessed, confirming calibrated equipment and compliance with biosecurity protocols. Results showed low dry matter content in forages (4.49–4.81%) and high soil moisture (>90%), typical of humid tropical ecosystems. Climate projections for 2025 estimate a temperature increase of +3 °C and a 10% reduction in rainfall during the dry (ecological summer) period, which may reduce soil moisture and increase dry matter proportion, potentially decreasing forage nutritional quality. Recommended forage species under these projected conditions include *Brachiaria humidicola*, *Paspalum atratum*, *Panicum maximum*, and *Setaria sphacelata*. Double-purpose livestock systems are proposed to optimize their use and enhance resilience. In conclusion, the CTA laboratory demonstrates technical capacity to perform reliable gravimetric analyses, generating valuable data for agroecological management and climate adaptation strategies in the Colombian Amazon region.

Keywords: gravimetric method, soil moisture, dry matter, tropical forages, climate change, sustainable livestock.

Introducción

La región amazónica de Colombia es uno de los ecosistemas más ricos y complejos del mundo, debido a su alta pluviosidad, diversidad de suelos y variedad en los sistemas de producción agropecuaria (Rangel & Agudelo, 2019). La expansión histórica de la ganadería en esta región ha generado una frontera agrícola que requiere ser manejada con prácticas sostenibles para mitigar el impacto ambiental (Etter et al., 2008). En este contexto, medir con precisión los parámetros físico-químicos del suelo y del forraje resulta esencial para promover prácticas agrícolas sostenibles y mejorar la gestión de la ganadería. (Rincón & Holmann, 2008).

La evaluación de la humedad del suelo y del contenido de materia seca del forraje es determinante, pues influye directamente en la disponibilidad de agua, el movimiento de nutrientes, la actividad biológica y el valor nutricional de los alimentos ofrecidos al ganado (Van Soest, 1994; McDonald et al., 2011). Un bajo contenido de MS en el forraje, como es común en el trópico húmedo, se relaciona con una menor eficiencia de utilización de nutrientes por parte del rumiante. Para llevar a cabo estas mediciones de manera confiable, se requiere una infraestructura analítica adecuada y personal técnico capacitado que garantice la calidad de los resultados y la seguridad en el manejo de las muestras (WHO, 2004; Contexto Ganadero, 2018)

Florencia, ubicada en el piedemonte amazónico colombiano, presenta un clima tropical lluvioso, con temperatura media anual cercana a 25 °C, alta humedad relativa y precipitaciones constantes durante el año (Weather-Atlas, 2025; Wikipedia, 2025b). Se distinguen periodos de menor precipitación —verano ecológico— entre diciembre y febrero, y de mayor pluviosidad —invierno ecológico— entre mayo y julio (AGROSAVIA, 2020; Wikipedia, 2025a). Este estudio analiza cómo las proyecciones climáticas para 2025, con aumento de temperatura y reducción de precipitaciones, podrían afectar la humedad del suelo y el contenido de materia seca del forraje en el Centro Tecnológico de la Amazonia (CTA), SENA – Regional Caquetá.

Objetivo

Documentar las herramientas e infraestructura analítica disponibles en el Laboratorio de Química del Centro Tecnológico de la Amazonia y aplicar métodos gravimétricos para el análisis de la humedad del suelo y el contenido de materia seca en forraje.

Pregunta de investigación:

¿Cómo influirán las proyecciones climáticas para 2025 —con aumento de temperatura y reducción de precipitaciones durante el verano ecológico— en la humedad del suelo y el contenido de materia seca del forraje en el Centro Tecnológico de la Amazonia (Florence, Caquetá)?

La variabilidad climática es uno de los principales factores que afectan la productividad agropecuaria en regiones tropicales húmedas (IDEAM, 2017) como la Amazonia

colombiana. Nvestigaciones previas han evidenciado que el incremento sostenido de la temperatura acelera los procesos de evapotranspiración y reduce la humedad edáfica, generando impactos negativos sobre el crecimiento vegetal y la disponibilidad de biomasa forrajera (Pabón & Pardo, 2018; Olivera & Rodríguez, 2021; Fernández-Luqueño et al., 2013).

Las proyecciones que indican un aumento de temperatura y una disminución de las precipitaciones para el año 2025 podrían modificar el balance hídrico del suelo, afectando la dinámica de nutrientes y la calidad nutricional del forraje disponible para la ganadería regional. Investigaciones previas han evidenciado que el incremento sostenido de la temperatura acelera los procesos de evapotranspiración y reduce la humedad edáfica, generando impactos negativos sobre el crecimiento vegetal y la disponibilidad de biomasa forrajera (Rincón & Holmann 2008).

De igual manera, la disminución de la precipitación estacional influye en el contenido de materia seca y en la acumulación de compuestos estructurales en los tejidos vegetales, lo que repercute en la digestibilidad y el aprovechamiento del alimento por el ganado (Denbela & Mesay, 2017; González-García et al., 2021).

En este contexto, la determinación gravimétrica de la humedad del suelo y la MS adquiere relevancia, ya que permite estimar los efectos del cambio climático en la sostenibilidad de los sistemas ganaderos del piedemonte amazónico (Wikipedia, 2025b). El vacío de conocimiento radica en la limitada información experimental disponible a nivel local que relacione estas variables bajo escenarios climáticos proyectados (Cuervo Vivas et al., 2019).

Hipótesis:

Si durante el verano ecológico de 2025 se presenta un aumento de temperatura de aproximadamente +3 °C y una reducción del 10 % en la precipitación, entonces la humedad del suelo disminuirá y la proporción de materia seca en el forraje aumentará, afectando potencialmente su calidad nutricional para la ganadería en la región amazónica.

Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo se llevó a cabo en el Centro Tecnológico de la Amazonia (CTA) del SENA, ubicado en Florencia, Caquetá, Colombia. Esta zona presenta un clima tropical húmedo, con una media anual de lluvias por encima de los 3.000 mm y una temperatura promedio de 25 °C. (AGROSAVIA, 2020).

Fotografía N° 1

Sitio de muestreo en el Centro tecnológico de la Amazonia



Fuente: Esta investigación

2.2 Infraestructura Analítica

El laboratorio del CTA cuenta con herramientas especializadas para la realización de análisis gravimétricos.

Equipos principales utilizados:

- Balanza analítica con precisión de 0,001 gramos. (González-Pedraza & Dezzee, 2020).
- Estufa de convección forzada, capaz de operar hasta los 300 °C.
- Horno mufla, diseñado para alcanzar temperaturas de hasta 1200°C

El proceso de análisis de la humedad del suelo se basó en el método gravimétrico estandarizado, que requiere el pesaje de las muestras antes y después de ser secadas en el horno (Klute, 1986). Para la determinación del contenido de MS en forrajes, se siguieron los protocolos de secado de muestras bajo la metodología recomendada por la AOAC (AOAC, 2012; Baligar et al., 2010).

Materiales de vidrio disponibles:

- Vasos de precipitados de distintos tamaños.
- Matraces Erlenmeyer y matraces aforados.
- Probetas y pipetas graduadas.
- Tubos de ensayo.
- Buretas.
- Vidrios de reloj.

Fotografía N° 2 y 3 Aprendices en laboratorio de Química CTA Regional Caquetá



Fuente: Está investigación

2.3 Protocolos de bioseguridad

Se implementaron protocolos de bioseguridad como el uso permanente de equipos de protocolos personal (EPP), procedimiento de higiene y lavado de manos, manejo adecuado de residuos químicos y identificación de riesgos y equipos de seguridad.

Fotografía N° 4 y 5 Aprendices con materiales de vidrio en laboratorio de Química CTA Regional Caquetá



Fuente: Está investigación

2.4 Recolección de muestras

Las muestras de forraje y el suelo fueron recolectadas en diferentes partes del centro tecnológico de la amazonia CTA en Florencia, Caquetá. La recolección se realizó el mismo día del análisis, siguiendo un muestreo aleatorio simple para asegurar la representatividad de las zonas de pastoreo (Herrera & Guerra, 2025; González-Pedraza et al., 2023).

**Fotografía N° 6 Aprendices en recolección de muestra
CTA Regional Caquetá**



Fuente: Está investigación

2.5 Metodologías analíticas

Determinación de humedad en suelo: Las muestras de suelo fueron pesadas en estado húmedo y posteriormente secadas en horno de convección forzada a 100°C durante 24 horas. La humedad gravimétrica (Hg) se calculó como:

$$Hg (\%) = [\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}] / \text{Peso húmedo} \times 100$$

Determinación de materia seca en forraje: Las muestras de forraje fueron secadas en horno en 70°C durante 24 horas. La materia seca se calculó como:

$$MS (\%) = (\text{Peso seco} - \text{Peso húmedo}) \times 100$$

Fotografía N° 7 Aprendices en Laboratorio de Química CTA Regional Caquetá



Fuente: Esta investigación

Los datos climáticos históricos provienen de registros de temperatura y precipitación media mensual de Florencia. Se proyectó un aumento de temperatura de +3 °C y una reducción del 10 % en las precipitaciones para los meses de diciembre, enero y febrero. Se aplicó el método gravimétrico en laboratorio para determinar humedad en forraje, secando las muestras a 105 °C hasta peso constante y calculando el porcentaje de materia seca.

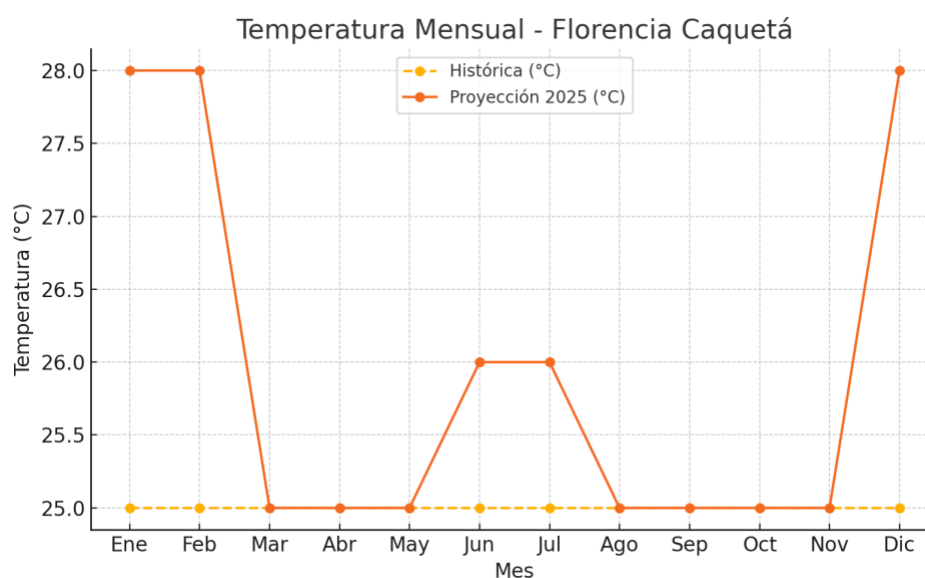
Tabla 1. Datos Climáticos Históricos y Proyectados para 2025

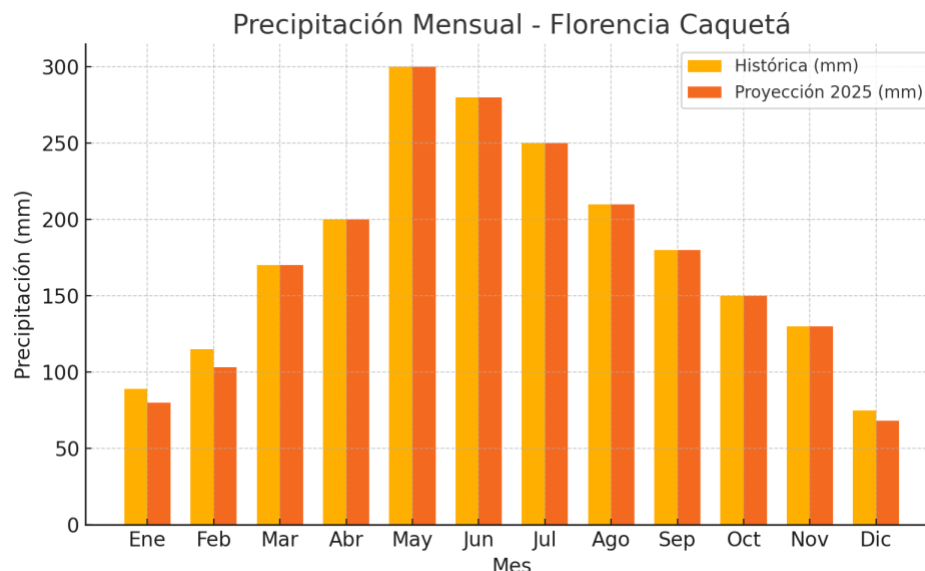
Mes	Temp. Hist. (°C)	Temp. Proy. (°C)	Prec. Hist. (mm)	Prec. Proy. (mm)
Ene	25	28	89	80
Feb	25	28	115	103
Mar	25	25	170	170
Abr	25	25	200	200
May	25	25	300	300

Jun	25	26	280	280
Jul	25	26	250	250
Ago	25	25	210	210
Sep	25	25	180	180
Oct	25	25	150	150
Nov	25	25	130	130
Dic	25	28	75	68

3. Resultados y Discusión:

Las proyecciones muestran incrementos de temperatura en verano ecológico y disminución de precipitaciones, lo que puede impactar negativamente la humedad del suelo y la calidad del forraje. A continuación, se presentan las comparaciones gráficas entre los datos históricos y proyectados:





3.1 Características del laboratorio

La revisión realizada en el laboratorio del CTA evidencio que cuenta con una infraestructura apropiada para llevar a cabo análisis gravimétricos. Además, dispone de equipos calibrados y personal técnico capacitado. Este diagnóstico fue fundamental para reconocer el estado del laboratorio, identificar sus capacidades analíticas actuales y establecer protocolos que garanticen en condiciones de trabajo seguras.

3.2 Análisis de materia seca en forrajes

Los resultados del análisis de materia seca en forraje mostraron variaciones significativas entre las muestras analizadas.

Materia seca en forraje:

Peso en seco (Grupo 1):

1. 43,75g

2. 58,74g

Peso en seco (Grupo 2):

1. 59,40g

2. 43,40g

Tabla 2. Valores del peso húmedo, peso seco y materia seca

GRUPOS	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	MATERIA SECA (%)
1	18,463	66,534	4,81
2	25,803	69,678	4,49

Fuente: Esta investigación

El contenido promedio de materia seca fue de 43,966, fue importante saber el resultado de cada de las muestras para así saber el total.

3.3 Análisis de humedad en suelo

Los resultados de humedad gravimétrica en suelo presentaron menor variabilidad.

Humedad del suelo:

Peso en seco (Grupo 1):

1. 65, 847g
2. 69, 258g
3. 61, 822g

Peso en seco (Grupo 2):

1. 59,40g
2. 43,40g

Tabla 3. Valores del peso húmedo, peso seco y materia seca

GRUPOS	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	MATERIA SECA (%)
1	72,85	2,503	96,56
2	68,89	2,504	6.822

Fuente: Esta investigación

El contenido promedio de humedad en suelo fue de 141,74 Es importante saber el peso de cada una de las muestras para así saber el total de suelo seleccionado.

Discusión

Los resultados evidencian la diversidad típica de los sistemas productivos amazónicos.

La variación en el contenido de materia seca en el forraje podría explicarse por factores como la forma del terreno, el clima local y el estado de desarrollo de las plantas al momento de recolectarlas.

El grupo 2 tuvo el menor porcentaje de materia seca que fue (4,49%) lo que no es tan beneficioso para el ganado, ya que a la menor concentración de materia seca suele estar relacionada con un menor aporte de nutrientes y una menor eficiencia en la producción lechera.

Por otro lado, la humedad del suelo presento un promedio de variabilidad, lo que sugiere que las condiciones en el área de muestreo fueron bastante estables. Los valores obtenidos entre (96,56% y 36,3%) indican un suelo con condiciones adecuadas para el crecimiento vegetal.

Estos hallazgos resaltan la importancia de llevar a cabo análisis sistemáticos para evaluar la calidad de los forrajes y suelos en la región, considerando el impacto que estos tienen en los sistemas productivos, tanto en términos de recursos como en prácticas de manejo.

El aumento proyectado de temperatura en los meses de verano ecológico incrementará la evaporación, reduciendo la humedad disponible para cultivos y forraje. La reducción de precipitación amplificará este efecto, lo que podría elevar el porcentaje de materia seca y disminuir el valor nutritivo del forraje. Se recomienda implementar sistemas de riego y seleccionar especies forrajeras adaptadas a condiciones de mayor sequedad.

Forrajes más adecuados para la ganadería en el departamento del Caquetá

Los valores de **materia seca (MS)** obtenidos (4,49 % – 4,81 %) indican un contenido bajo en comparación con rangos óptimos (20 % – 35 % para forrajes frescos), lo que se traduce en **alta humedad y menor concentración de nutrientes por unidad de peso** (Van Soest, 1994). En condiciones de alta humedad del suelo y clima tropical lluvioso, como las encontradas en este estudio, son recomendables especies forrajeras con:

- **Alta tolerancia a suelos húmedos** y a períodos de anegamiento.
- **Buena persistencia y rebrote** bajo condiciones de alta precipitación.
- **Capacidad de mantener calidad nutritiva en climas cálidos y húmedos.**

Ejemplos recomendados para el piedemonte amazónico:

1. **Brachiaria humidicola** (*Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick.)
 - Alta resistencia a suelos con mal drenaje.
 - Buena producción de biomasa incluso en suelos ácidos.
 - Contenido moderado de proteína cruda (7 – 10 %) y digestibilidad aceptable.
2. **Paspalum atratum**
 - Adaptado a suelos de alta humedad.
 - Crece bien en climas tropicales con >2000 mm de lluvia anual.
 - Buena palatabilidad para bovinos.
3. **Panicum maximum cv. Mombasa y Tanzania**
 - Alta producción de materia seca por hectárea.
 - Adaptado a climas húmedos tropicales.
 - Requiere manejo cuidadoso para evitar lignificación excesiva.
4. **Setaria sphacelata**
 - Resistente a suelos húmedos y ácidos.
 - Aporta fibra efectiva y buena estructura en la dieta.

Tipo de ganadería recomendable

Con suelos de alta humedad y forrajes frescos de baja MS, el sistema productivo ideal sería:

- **Ganadería de doble propósito** (producción de leche y carne): Aprovecha el forraje verde abundante para la producción de leche en épocas lluviosas y engorde en épocas de menor humedad.

- **Producción de leche especializada:**

Posible si se complementa con suplementación proteica y energética para compensar la baja MS y proteína de los pastos.

- **Engorde semi-intensivo:**

Integrar forrajes de corte y suplementación estratégica en períodos de alta humedad para evitar pérdidas de condición corporal.

Justificación técnica

- Los forrajes evaluados muestran **alto contenido de humedad**, lo que es típico en zonas tropicales lluviosas y favorece dietas con alto volumen, pero menor concentración energética (Van Soest, 1994; Herrera & Guerra, 2025).
- Las especies recomendadas permiten **aprovechar la alta disponibilidad de agua** y reducir problemas de fermentación ruminal excesiva que puede darse con pastos demasiado húmedos.
- La selección de ganado de doble propósito se ajusta a la realidad de la región, permitiendo diversificar ingresos y adaptarse a variaciones estacionales en calidad del forraje (Contexto Ganadero, 2018).

Con lo anterior descrito, planteamos que los resultados de las proyecciones climáticas y los análisis de laboratorio se resumen en las tablas presentadas en el documento. Las proyecciones indican un incremento de temperatura y una disminución de las precipitaciones en el verano ecológico.

En cuanto a los análisis gravimétricos:

Materia Seca en Forrajes: El contenido promedio de materia seca fue de 4,49 % a 4,81 %. Estos bajos porcentajes son típicos de forrajes del trópico húmedo, donde la alta humedad ambiental y edáfica mantiene un elevado contenido de agua en la biomasa vegetal (Atencio et al., 2014). Un bajo nivel de MS es menos beneficioso para el ganado, ya que reduce la ingesta de nutrientes y la eficiencia de consumo (Van Soest, 1994; Rincón & Holmann, 2008).

Humedad del Suelo: El contenido promedio de humedad fue alto (>90 %), lo que confirma las condiciones hidromórficas del piedemonte amazónico (Fajardo et al., 2016).

La variación en el contenido de MS en el forraje podría explicarse por factores como la forma del terreno, el microclima local y el estado de desarrollo de las plantas al momento de la recolección.

La discusión de la hipótesis se centra en las proyecciones climáticas. El aumento de +3 °C en la temperatura y la reducción del 10 % en la precipitación para 2025 se alinean con la

predicción de que la humedad del suelo disminuirá, lo que forzará a las plantas a aumentar su proporción de materia seca como mecanismo de adaptación al estrés hídrico (Pabón & Pardo, 2018; Olivera & Rodríguez, 2021). Aunque el aumento de MS podría mejorar la ingesta nutricional en teoría, un cambio drástico puede generar un aumento de fibra (lignificación), disminuyendo la digestibilidad y la calidad del forraje (Denbela & Mesay, 2017; González-Pedraza & Dezzee, 2014).

Los resultados sugieren la necesidad de implementar sistemas de ganadería sostenible, como los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), que han demostrado resiliencia al cambio climático al mejorar las condiciones edáficas y la calidad forrajera (Murgueitio et al., 2016; Rivera-Herrera et al., 2017). La selección de especies forrajeras adaptadas a estas condiciones, como *Brachiaria humidicola*, *Paspalum atratum*, y *Panicum maximum*, es crucial, ya que poseen mecanismos fisiológicos para mantener la productividad bajo estrés hídrico o alta humedad (Hernández-Ramos et al., 2020; Peters et al., 2013).

Conclusiones

La investigación evidencio que el laboratorio del CTA cuenta con la capacidad para llevar a cabo a análisis gravimétricos precisos en muestras de forraje y suelo. Gracias a la infraestructura analítica existente y al uso de protocolos de bioseguridad adecuados, es posible generar información técnica útil para el desarrollo del sector agropecuario en la región.

Los datos obtenidos establecen una referencia inicial sobre la alta humedad del suelo y el bajo contenido de materia seca en los forrajes del predio. Las proyecciones climáticas para 2025 representan un riesgo real para la productividad, validando la necesidad de implementar medidas de adaptación y mitigación en la Amazonia (AGROSAVIA, 2020; Contreras-Santos et al., 2021). El estudio subraya la importancia de la investigación aplicada para el desarrollo de estrategias agropecuarias resilientes al cambio climático en la región.

Además, se sugiere complementar estos análisis con estudios de textura del suelo, niveles de materia orgánica y evaluaciones bromatológicas completas de los forrajes. Esto permitiría una caracterización más completa de los recursos agropecuarios en la región. También se recomienda ampliar el área de muestreo para poder elaborar mapas de variabilidad espacial que ayuden en la planificación y manejo de los sistemas productivos.

Las condiciones climáticas proyectadas para 2025 en Florencia indican la necesidad de adoptar prácticas agrícolas resilientes. La integración de datos climáticos con mediciones de laboratorio permite una mejor planificación y adaptación frente a escenarios de cambio climático.

Referencias

- AGROSAVIA. (2020). *Estrategias de adaptación al cambio climático para sistemas ganaderos en la Amazonia colombiana*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria.
- AOAC. (2012). *Official methods of analysis of AOAC International* (19th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Atencio, L. M., Tapia, J. J., Mejía, S. L., & Cadena, J. (2014). Comportamiento fisiológico de gramíneas forrajeras bajo tres niveles de humedad en condiciones de casa malla. *Temas Agrarios*, 19(2), 244-258.
- Baligar, V. C., Bunce, J. A., Elson, M. K., & Fageria, N. K. (2010). Irradiance, external carbon dioxide concentration and temperature influence photosynthesis in tropical cover crop legumes. *Tropical Grasslands*, 44(1), 24-32.
- Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Raghavan, B., López-Rebolledo, L., & Garrido-Pineda, J. (2021). Silvopastoral systems: Mitigation of greenhouse gases in the tropical dry forest - Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 901–919. <https://doi.org/10.15517/AM.V32I3.43313>
- Contexto Ganadero. (2018). *Una lectura rural de la realidad en Colombia*. Recuperado de <https://www.contextoganadero.com/sostenible?page=1>
- Cuervo Vivas, W. A., Santacoloma Varón, L. E., & Barreto de Escovar, L. (2019). Análisis histórico de la composición química de forrajes tropicales en Colombia entre 1985 – 2015. I - Gramíneas Forrajeras. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 10(2), 89-114. <https://doi.org/10.22490/21456453.2415>
- Denbela, H., & Mesay, G. (2017). Climate Change Effects on Livestock Feed Resources: A Review. *Journal of Fisheries & Livestock Production*, 05(04). <https://doi.org/10.4172/2332-2608.1000259>
- Etter, A., McAlpine, C., Pullar, D., & Possingham, H. (2008). Historical expansion and future potential of the cattle industry in Colombia: A spatial analysis of the forest frontier. *Conservation Biology*, 22(5), 1109-1117.
- Fajardo, A., Ávila, C., & Torres, S. (2016). Evaluación de la calidad de suelo en un sistema silvopastoril en la Amazonía colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(3), 405-416.
- Fernández-Luqueño, M., Torres, O., Zúñiga, C., & Acosta, E. (2013). Impacto del cambio climático en la agricultura: una revisión de enfoques de mitigación y adaptación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(1), 19-35.
- González-García, H., González-Pedraza, A. F., Atencio, J., & Soto, A. (2021). Evaluación de calidad de suelos plataneros a través de la actividad microbiana en el sur del lago de Maracaibo, estado de Zulia, Venezuela. *Revista De La Facultad De Agronomía*, 38(2), 220-235.
- González-Pedraza, A. F., Castellanos González, L., & Capacho, A. E. (2023). *Influencia de tres modelos agroecológicos sobre la calidad del suelo en el municipio de Ocaña, Norte de Santander*. Universidad de Pamplona.
- González-Pedraza, A. F., & Dezzee, N. (2014). Changes in the labile and recalcitrant organic matter fractions due to transformation of semi-deciduous dry tropical forest to pasture in the Western Llanos, Venezuela. En F. E. Greer (Ed.), *Dry Forests:*

Ecology, Species Diversity and Sustainable Management (pp. 105-132). Nova Science Publishers.

- González-Pedraza, A. F., & Dezzio, N. (2020). Vertical distribution, nutrient concentration and seasonal changes of fine root mass in a semi-deciduous tropical dry forest and in two adjacent pastures in the Western Llanos of Venezuela. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 8(2), 93–104. [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)93-104](https://doi.org/10.17138/tgft(8)93-104)
- Hernández-Ramos, H., Herrera-Mejía, F. A., & Gómez-Ruiz, J. F. (2020). Indicadores fisiológicos de algunas especies forrajeras tropicales en tres altitudes en Colombia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 173-186.
- Herrera, D. V., & Guerra, K. D. (2025). *Informes de laboratorio*. Centro Tecnológico de la Amazonía – SENA Regional Caquetá.
- IDEAM. (2017). *Estudio Nacional del Agua 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Klute, A. (1986). Water Retention: Laboratory Methods. En A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods* (2nd ed., pp. 635–662). American Society of Agronomy.
- López-Hernández, M., & Chará, J. (2022). Biodiversidad funcional en sistemas silvopastoriles: una estrategia de adaptación al cambio climático en el trópico. *Revista de Biología Tropical*, 70(1), 1-15.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., & Morgan, C. A. (2011). *Animal Nutrition* (7th ed.). Prentice Hall.
- Murgueitio, E., Chará, J., Solarte, A., Zapata, A., & León, J. (2016). Es posible enfrentar el cambio climático y producir más leche y carne con sistemas silvopastoriles intensivos. *Ceiba*, 54, 23-30.
- Olivera, J. C., & Rodríguez, V. S. (2021). Efecto del déficit hídrico en la producción de biomasa y calidad nutricional de gramíneas forrajeras tropicales. *Pastos y Forrajes*, 44(2), 1-12.
- Pabón, J. G., & Pardo, R. A. (2018). Tolerancia al estrés hídrico en especies de *Brachiaria* sp. cultivadas en el trópico. *Agronomía Colombiana*, 36(2), 119-127.
- Peters, M., Franco, L. H., Schmidt, A., Hincapié, B., Buurman, P., & Wanjiku, C. (2013). *Tropical Forages: Grass and legume selection tool*. CSIRO, ILRI, CIAT, and IBPGR. <https://www.tropicalforages.info>
- Rangel, C. C., & Agudelo, L. A. (2019). Impacto de la ganadería extensiva en la Amazonia colombiana y estrategias de mitigación. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(169), 651-662.
- Rincón, A., & Holmann, F. (2008). Opciones tecnológicas de alimentación para ganado de doble propósito en zonas tropicales. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(2), 71–82.
- Rivera-Herrera, J. E., Molina-Botero, I., Chará-Orozco, J., Murgueitio-Restrepo, E., & Barahona-Rosales, R. (2017). Sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit: alternativa productiva en el trópico ante el cambio climático. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 171-183.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press.
- WHO. (2004). *Laboratory biosafety manual* (3rd ed.). World Health Organization.

-
- Wikipedia. (2025a). *Florencia (Caquetá)*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Florencia_%28Caquet%C3%A1%29
 - Wikipedia. (2025b). *Geografía de Florencia (Caquetá)*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_de_Florencia_%28Caquet%C3%A1%29