





Relación de la concentración de clorofila con el contenido nutricional de seis arbustos forrajeros

Relationship of chlorophyll concentration to the nutritional content of six forage shrubs

 Carlos Danilo Congo Yépez*
 Remigio Armando Burbano Cachiguango
 Alexandra Ibeth Chanaluisa Choloquinga
 Edgar Javier Chuquimarca Algaje

Estación Experimental Central de la Amazonía (EECA) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Sacha, Orellana - Ecuador.

*carlos.congo@iniap.gob.ec

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el contenido nutricional e índice de clorofila (ICC) de seis forrajes arbóreos, para ello se analizó el ICC, proteína, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre a 30, 45 y 65 días. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar en parcelas divididas con seis repeticiones. Los resultados se compararon con un test de Tukey al 5 %, se realizaron correlaciones (Pearson) y regresiones lineales para determinar el efecto del ICC con los nutrientes. Los contenidos de ICC, proteína, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre presentaron diferencia estadísticas ($p < 0,05$) para los factores arbustos forrajeros e intervalos de corte, y su interacción. *Leucaena* presentó mayores contenidos de ICC en todos los intervalos. Los resultados de proteína fueron mayores en *Gliricidia* (30 días), *Leucaena* (45 días) y *Moringa* (60 días). Para fósforo los mejores valores se obtuvieron en *Morus* (30 días) y *Moringa* (30, 45 y 60 días). *Tithonia* alcanzó mayor concentración de potasio y calcio en los tres intervalos de corte, así como para magnesio (30 días). El ICC determinado con medidores de lectura directa permitió correlacionarse con el contenido de proteína y los nutrientes del tejido foliar P, K, Ca, Mg, S.

Palabras claves: *Sostenibilidad, pigmentos, fotosíntesis, valor nutritivo, intervalos de corte.*

ABSTRACT

The objective was to evaluate the nutritional content and chlorophyll index (CCI) of six tree forages, for which CCI, protein, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sulfur were analyzed at 30, 45, and 65 days. A completely randomized block design in divided plots with six replications was used. Results were compared with a 5% Tukey test, correlations (Pearson) and linear regressions were performed to determine the effect of ICC on nutrients. The contents of ICC, protein, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and sulfur showed statistical differences ($p < 0.05$) for the factors forage shrubs, cutting intervals, and intercropping. *Leucaena* presented higher contents of ICC in all intervals. Protein results were higher in *Gliricidia* (30 days), *Leucaena* (45 days), and *Moringa* (60 days). For phosphorus, the best values were obtained in *Morus* (30 days) and *Moringa* (30, 45, and 60 days). *Tithonia* reached higher potassium and calcium concentrations in the three cutting intervals, as well as for magnesium (30 days). The ICC determined with direct reading meters allowed correlation with protein content and leaf tissue nutrients P, K, Ca, Mg, S.

Keywords: *Sustainability, pigments, photosynthesis, nutritive value, cutting intervals.*

I. INTRODUCCIÓN

Los arbustos forrajeros desempeñan un papel fundamental en la alimentación de rumiantes, ya que los sistemas de producción que integran árboles y animales en una misma superficie contribuyen significativamente a mitigar la escasez de forraje de alta calidad (1). Por ejemplo, en Australia, se ha implementado a gran escala el cultivo de *Leucaena* debido a que esta leguminosa no solo contribuye a la sostenibilidad de los pastizales, sino que también aporta significativamente un alto valor alimenticio; esto, a su vez, contribuye en gran medida a la eficiencia de la producción de los rumiantes (2). Sin embargo, el forraje de estos arbustos presenta un desequilibrio en la relación entre energía y proteína, por lo tanto, es crucial utilizarlos como suplemento proteico en dietas con niveles elevados de energía (3). Los arbustos forrajeros tienen múltiples aplicaciones, aunque su importancia resalta principalmente en la alimentación del ganado, dado que contribuyen a mejorar la condición corporal de los animales en un 85% (4). El uso de estos arbustos forrajeros en la nutrición animal, permite alcanzar una mejor relación entre los factores que determinan la digestión de la pared celular y la calidad de los forrajes (5).

La producción de forraje se origina a partir de la conversión de la energía solar en compuestos orgánicos a través del proceso de fotosíntesis, y esta conversión se relaciona directamente con la radiación fotosintéticamente activa y la producción de materia seca (6). Durante la fotosíntesis, el carbono presente en la atmósfera se combina con el agua, transformándose en carbohidratos gracias a la energía solar (7). En este proceso, las clorofilas, pigmentos propios de las plantas superiores y las algas, desempeñan un papel esencial, otorgándoles su característico color verde, que puede variar desde tonalidades amarillas hasta naranjas (8). Castillo y Ligarreto (9) indican que el índice de verdor tiene una buena relación con el nitrógeno foliar en el estado fisiológico de llenado del fruto en el cultivo de *Zea maiz* L. Sánchez et al. (10) encontraron en el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike, que la concentración de clorofila a y b, y clorofila total tuvieron una correlación positiva y significativa con el estado nutricional del nitrógeno. Otro estudio realizado en el llano colombiano con los pastos *Urochloa brizantha*, *U. decumbens* y *U. humidicola* demostraron una alta relación (>0,76) entre la concentración de clorofila y la proteína cruda foliar

(11). El estudio de las propiedades y características fotosintéticas, pueden incorporarse como criterios para la identificación y selección de especies forrajeras, que tengan una mejor adaptación a las condiciones agroclimáticas adversas (11,12). Las mediciones de clorofila de forma no destructiva, permite generar información de los procesos fotosintéticos y de salud de las plantas en los diferentes estados fenológicos (13,14).

Basándonos en esta información previa, el propósito de la investigación actual es evaluar la relación de la concentración de clorofila, con los nutrientes presentes del tejido foliar, en los arbustos *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Trichanthera gigantea*, *Moringa oleifera*, *Morus alba* y *Tithonia diversifolia*, en las condiciones clima y suelo de la Amazonía centro norte ecuatoriana.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica

El sitio experimental se localiza en el cantón La Joya de los Sachas en los predios de la Estación Experimental Central de la Amazonía, provincia de Orellana, Ecuador, situado en las coordenadas 76°52'35,87" Oeste y 0°21'20,63" Sur a 250 m s.n.m.

Condiciones de suelo y clima

Las condiciones de suelo del sitio experimental se caracterizan por tener un pH de 6,28 con textura franco-arcilloso (33% arena; 36% limo; 31% arcilla). Los contenidos de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio se encuentran en niveles altos y el contenido de materia orgánica se encuentra en niveles medios entre el 3,1% y 5%. La disponibilidad del azufre con el boro se encuentra en niveles bajos. De acuerdo a la clasificación basada en zonas de vida Holdridge (15), la zona pertenece a un bosque húmedo tropical, y las condiciones de clima de acuerdo con los datos de la estación meteorología (M1221) del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (16), la precipitación media anual es de 3.361,4 mm, con un promedio de temperatura mensual de 25,5 °C.

Especies arbustivas, recolección y procesamiento de forraje

Del banco de germoplasma forrajero de la Estación

Experimental Central de la Amazonía del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), se seleccionaron los arbustos forrajeros *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Trichanthera gigantea*, *Moringa oleifera*, *Morus alba* y *Tithonia diversifolia*, debido a sus atributos agronómicos. Estas especies forrajeras se establecieron con un marco de plantación de 1 m × 1 m. Para incentivar rebrotes uniformes en las especies, se realizó el corte a una altura de 100 cm del suelo (17,18). Después de efectuar este corte, se recolectaron alrededor de un kilogramo de fitomasa verde de los arbustos forrajeros a los 30, 45 y 60 días. Posteriormente, se llevó a cabo el proceso de secado en una estufa Thermo Scientific de aire forzado a 65 °C durante 48 horas (19). Esta temperatura se eligió para prevenir la pérdida significativa de carbohidratos solubles y la formación de compuestos indigestibles (20). La fitomasa seca se trituró en un molino con una malla de 2 mm y se almacenó en bolsas plásticas Ziploc.

Ensayo experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar en parcelas divididas con estructura factorial, donde el factor A (arbustos forrajeros) y el factor B (intervalos de corte), los tratamientos resultaron de la combinación de los arbustos forrajeros con los intervalos de corte y se utilizaron seis repeticiones.

Se determinó el índice de contenido de clorofila (ICC) en las secciones inferior, media y superior de cada arbusto forrajero. Las mediciones se realizaron con el medidor Apogee MC-100 y se expresaron en unidades relativas de ICC. Este medidor óptico de clorofila emplea la radiación de un diodo emisor de luz LED de 653 nm, dentro del rango de absorción fotosintéticamente activa (PAR) de la clorofila, y otra radiación de 931 nm en la región de longitud de onda infrarroja cercana (NIR), fuera del rango de absorción de la clorofila (21).

Se efectuaron análisis químicos para determinar el contenido de proteína cruda (PC%) mediante el método Kjeldahl y calcular los niveles de calcio (Ca%), magnesio (Mg%), y potasio (K%) mediante espectrofotometría de absorción (Equipo AAnalyst 700 de PerkinElmer). Asimismo, se empleó el método de colorimetría para evaluar el fósforo (P%) y el método de turbidimetría para medir el azufre (S %) a través de espectrofotometría

UV visible (Equipo Lambda 25 de PerkinElmer). Estos análisis se realizaron de acuerdo a las metodologías internas del laboratorio de Suelos, Aguas y Tejidos de la EECA, las cuales fueron adaptadas de los métodos de análisis oficiales (AOAC, siglas en inglés) (22).

Se empleó un enfoque estadístico que abarcó tanto la estadística descriptiva como la inferencial. Se realizó el análisis de la varianza y de regresión utilizando el programa estadístico InfoStat (23).

Para evaluar los supuestos de normalidad de los residuos, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilks. Además, con el propósito de establecer diferencias estadísticas significativas, se compararon las medias absolutas utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5%.

Se llevó a cabo un análisis de la relación entre el índice de concentración de clorofila y los contenidos de proteína, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Para ello, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson y se realizaron regresiones lineales simples en los resultados que presentaron un valor de $p < 0,05$. La magnitud del coeficiente de Pearson se evaluó según la clasificación propuesta por Hernández et al. (24).

III. RESULTADOS

Concentración del índice de clorofila (ICC)

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas en el ICC para el factor A ($p < 0,001$), el factor B ($p = 0,0010$) y la interacción A × B ($p = 0,0242$).

L. leucocephala presentó el índice de contenido de clorofila (ICC) más alto a los 30, 45 y 60 días en comparación con los demás arbustos forrajeros evaluados (Figura 1).

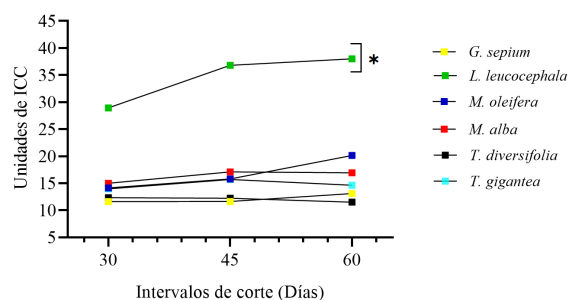


Figura 1. Contenido de clorofila (ICC) en forrajes arbóreos según intervalos de corte. *Significativo ($p < 0,05$). DMS ($A \times B$) = 7,15; CV ($A \times B$) = 19,15%; EEM ($A \times B$) = $\pm 1,39$.

Contenido de PC, P, K, Ca, Mg, S

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los contenidos de PC, P, K, Ca, Mg y S entre los arbustos forrajeros (A), los intervalos de corte (B) y la interacción A \times B. Los valores más destacados de PC variaron según el intervalo de corte.

En el caso de *G. sepium*, se obtuvo el valor más alto a los 30 días (33,57%), mientras que *L. leucocephala* alcanzó su máximo a los 45 días (32,93%) y a los 6 días en *M. oleifera* (32,32%).

En cuanto al fósforo, los arbustos *M. alba* y *M. oleifera* lograron las concentraciones más elevadas a los 30 días (0,49%), siendo este intervalo de corte el más favorable. Además, *M.*

oleifera mantuvo buenos niveles de fósforo a los 45 (0,47%) y 60 días (0,51%).

Respecto al potasio y calcio, *T. diversifolia* se destacó en todos los intervalos de corte, es decir, a los 30, 45 y 60 días.

En cuanto al azufre, *M. oleifera* presentó el contenido más alto a los 30 (0,57%) y 60 días (0,52%), mientras que, a los 45 días *L. leucocephala* mostró el mejor valor (0,38%).

La Tabla 1 proporciona una visión detallada de los valores de los contenidos de los diferentes nutrientes en los arbustos forrajeros a lo largo de los tres intervalos de corte evaluados:

Tratamientos	PC (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
30 días						
<i>G. sepium</i>	33,57 ^a	0,42 ^{bcd}	2,80 ^{bc}	1,56 ^{bcde}	0,48 ^a	0,27 ^{cd}
<i>L. leucocephala</i>	31,90 ^{abcde}	0,30 ^{fghi}	2,12 ^{de}	1,83 ^{abcd}	0,38 ^{abc}	0,35 ^b
<i>M. oleifera</i>	25,01 ^{ghi}	0,49 ^{ab}	2,18 ^{de}	1,23 ^{defg}	0,43 ^{ab}	0,57 ^a
<i>M. alba</i>	29,31 ^{bcdef}	0,49 ^{ab}	2,74 ^{bc}	1,58 ^{bcde}	0,41 ^{abc}	0,24 ^{de}
<i>T. diversifolia</i>	29,18 ^{bcdef}	0,41 ^{cd}	4,03 ^a	2,05 ^{ab}	0,49 ^a	0,22 ^{defgh}
<i>T. gigantea</i>	21,53 ⁱ	0,38 ^{def}	2,00 ^{ef}	1,13 ^{efg}	0,36 ^{abcd}	0,26 ^d
45 días						
<i>G. sepium</i>	32,85 ^{abc}	0,37 ^{defg}	2,61 ^{bc}	0,78 ^{fg}	0,40 ^{abc}	0,21 ^{defgh}
<i>L. leucocephala</i>	32,93 ^{ab}	0,29 ^{hi}	2,03 ^{ef}	0,62 ^g	0,21 ^e	0,38 ^{abc}
<i>M. oleifera</i>	32,06 ^{abcde}	0,47 ^{abc}	2,73 ^{bc}	0,79 ^{fg}	0,28 ^{cde}	0,34 ^{bc}
<i>M. alba</i>	28,50 ^{defg}	0,36 ^{defgh}	2,53 ^{cd}	1,73 ^{abcde}	0,28 ^{cde}	0,15 ^h
<i>T. diversifolia</i>	28,95 ^{cdef}	0,43 ^{bcd}	4,14 ^a	1,89 ^{abcd}	0,31 ^{bcde}	0,16 ^{fgh}
<i>T. gigantea</i>	23,94 ^{hi}	0,30 ^{fghi}	1,60 ^{gh}	0,79 ^{fg}	0,22 ^{de}	0,18 ^{efgh}
60 días						
<i>G. sepium</i>	31,40 ^{abcde}	0,33 ^{efgh}	2,00 ^{ef}	1,50 ^{bcde}	0,48 ^a	0,23 ^{defg}
<i>L. leucocephala</i>	28,19 ^{efg}	0,23 ⁱ	1,50 ^{gh}	1,23 ^{defg}	0,30 ^{bcde}	0,23 ^{def}
<i>M. oleifera</i>	32,32 ^{abcd}	0,51 ^a	1,81 ^{efg}	1,59 ^{bcde}	0,38 ^{abc}	0,52 ^a
<i>M. alba</i>	26,18 ^{fgh}	0,33 ^{efgh}	1,85 ^{efg}	1,97 ^{abc}	0,28 ^{cde}	0,16 ^{fgh}
<i>T. diversifolia</i>	29,90 ^{abcdef}	0,40 ^{cde}	2,97 ^b	2,35 ^a	0,40 ^{abc}	0,17 ^{efgh}
<i>T. gigantea</i>	22,76 ^{hi}	0,30 ^{ghi}	1,31 ^h	1,37 ^{def}	0,24 ^{de}	0,17 ^{efgh}
R ²	0,87	0,90	0,96	0,81	0,80	0,95
CV (%)	6,46	9,74	8,59	22,40	18,72	13,60
p Valor (A \times B)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004	0,02	<0,0001
DMS (A \times B)	7,15	0,07	0,43	0,68	0,13	0,07
EEM (A \times B)	0,76	0,01	0,08	0,13	0,03	0,01

^{abc} Medias con letras distintas dentro de las columnas, son significativo a la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Tabla 1. Contenido de proteína cruda (PC), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) de seis arbustos forrajeros a los 30, 45 y 60 días.

La Tabla 2 revela correlaciones sólidas y estadísticamente significativas entre el índice de clorofila (ICC) y los contenidos de nutrientes en los intervalos de corte que se evaluaron. En

particular, se observaron correlaciones notables en varios arbustos forrajeros.

En el caso de *T. gigantea*, se encontraron

correlaciones significativas con respecto al contenido de proteína cruda (PC) ($p = 0,0360$). De manera similar, se obtuvieron correlaciones significativas para los arbustos *M. alba* ($p = 0,0179$) y *T. diversifolia* ($p = 0,0047$) en lo que respecta al nutriente potasio (K).

Por otro lado, a los 45 días de corte, el ICC mostró correlaciones significativas con los contenidos de PC ($p = 0,0097$), fósforo (P) ($p = 0,0318$) y magnesio (Mg) ($p = 0,0282$) en el arbusto *M. oleifera*. Asimismo, se observaron correlaciones

en el nutriente azufre (S) ($p = 0,0108$) para el arbusto *L. leucocephala*.

En el intervalo de corte de 60 días, se evidenciaron correlaciones significativas para el contenido de proteína cruda (PC) ($p = 0,0124$) en los arbustos *M. oleifera* y *L. leucocephala* ($p = 0,0450$). Además, el ICC se correlacionó con los nutrientes calcio (Ca) ($p = 0,0101$) y fósforo (P) ($p = 0,0208$) en el arbusto *T. diversifolia*.

Tratamientos	PC (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
30 días						
<i>G. sepium</i>	-0,52	-0,64	-0,56	-0,62	-0,07	0,48
<i>L. leucocephala</i>	0,42	0,43	0,55	-0,34	0,23	0,59
<i>M. oleifera</i>	0,26	0,02	-0,02	-0,20	0,16	-0,55
<i>M. alba</i>	-0,37	-0,28	0,89*	-0,11	-0,04	-0,57
<i>T. diversifolia</i>	0,07	0,78	-0,94**	0,08	0,57	0,50
<i>T. gigantea</i>	0,84*	0,41	0,16	-0,11	0,15	0,35
45 días						
<i>G. sepium</i>	-0,40	-0,50	0,08	0,58	0,54	-0,27
<i>L. leucocephala</i>	-0,48	-0,71	-0,39	0,51	0,05	-0,91*
<i>M. oleifera</i>	0,92**	-0,85*	-0,04	0,29	0,86*	-0,16
<i>M. alba</i>	-0,15	0,60	0,28	0,25	0,11	-0,31
<i>T. diversifolia</i>	0,40	-0,24	-0,19	-0,01	0,10	-0,18
<i>T. gigantea</i>	0,57	0,58	-0,17	0,61	0,67	-0,46
60 días						
<i>G. sepium</i>	-0,57	0,22	0,16	0,53	0,56	-0,28
<i>L. leucocephala</i>	-0,80*	0,03	-0,26	-0,12	0,17	-0,11
<i>M. oleifera</i>	-0,91*	0,84*	0,71	0,52	0,79	0,02
<i>M. alba</i>	-0,60	-0,11	0,11	-0,61	0,12	0,63
<i>T. diversifolia</i>	0,41	0,88*	0,13	0,92*	-0,12	0,65
<i>T. gigantea</i>	0,18	-0,60	-0,56	-0,20	-0,57	-0,05

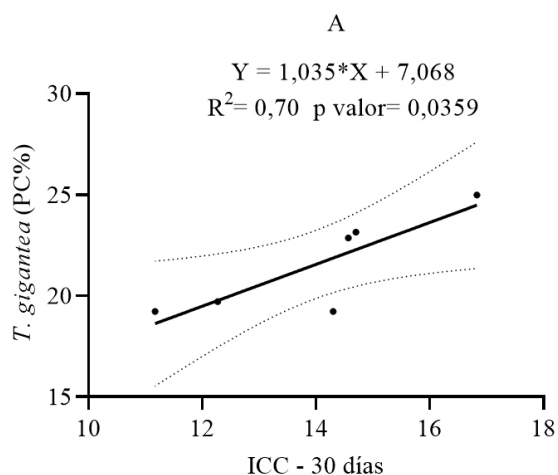
Correlación de Pearson significativo *($p \leq 0,05$); **($p \leq 0,01$).

Tabla 2. Magnitud de la relación entre el ICC y PC, P, Ca, Mg y S.

Estas correlaciones destacan la relación entre el ICC y los contenidos de nutrientes en los diversos arbustos forrajeros en los intervalos de corte evaluados.

Se observó que el ICC se comporta como una variable predictiva del contenido de proteína cruda (PC), como se ilustra en la Figura 2.

Las regresiones lineales en los arbustos forrajeros *T. gigantea* a los 30 días y *M. oleifera* a los 45 días mostraron una tendencia lineal positiva. En contraste, a los 60 días, se observó una relación lineal negativa en los arbustos *L. leucocephala* y *M. oleifera*.



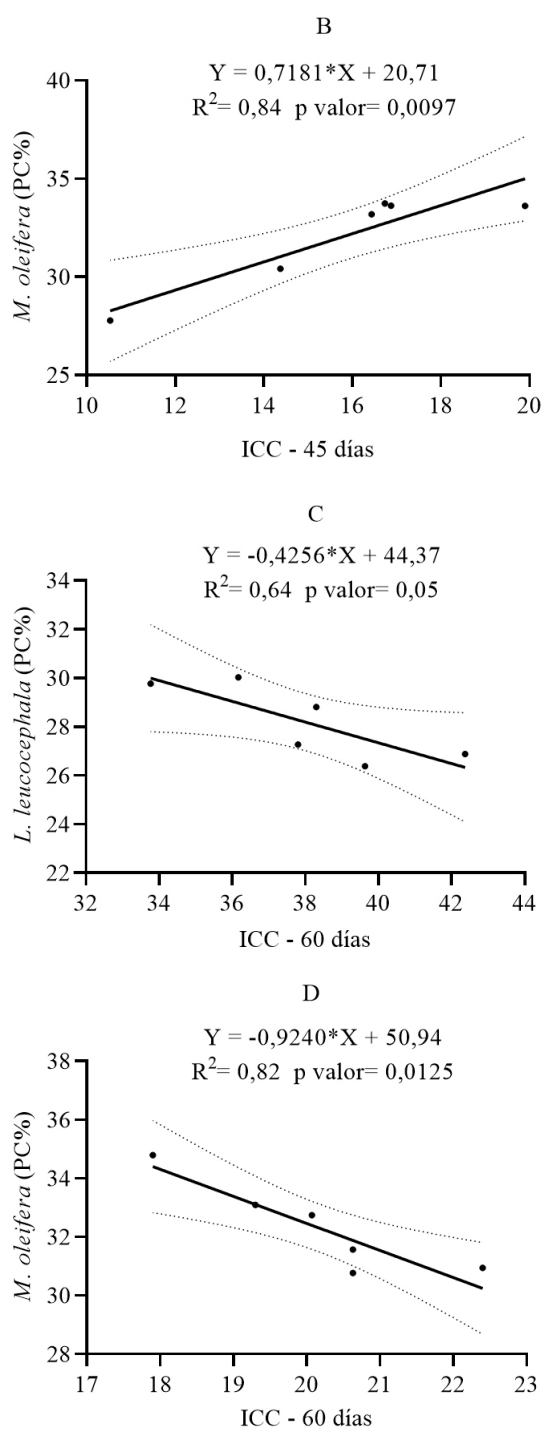


Figura 2. Regresión lineal entre el ICC y el contenido de PC en los arbustos forrajeros *T. gigantea* a los 30 días (A), *L. leucocephala* a los 60 días (C), *M. oleifera* a los 45 días (B) y 60 días (D).

Figura 3. Regresión lineal entre el ICC y el contenido de P en los arbustos forrajeros *M. oleifera* a los 45 días (A) y 60 días (B), *T. diversifolia* a los 60 días (C).

La relación de regresión lineal entre el ICC y el nutriente fósforo (P) mostró una tendencia positiva en los arbustos forrajeros *M. oleifera* y *T. diversifolia* a los 60 días. Sin embargo, se observó una tendencia negativa para *M. oleifera* a los 45 días, como se aprecia en la Figura 3.

La relación de regresión lineal entre el ICC y el nutriente potasio (K) resultó con una tendencia positiva en *M. alba* a los 30 días, mientras que mostró una tendencia negativa en *T. diversifolia* en el mismo intervalo de 30 días, como se puede observar en la Figura 4.

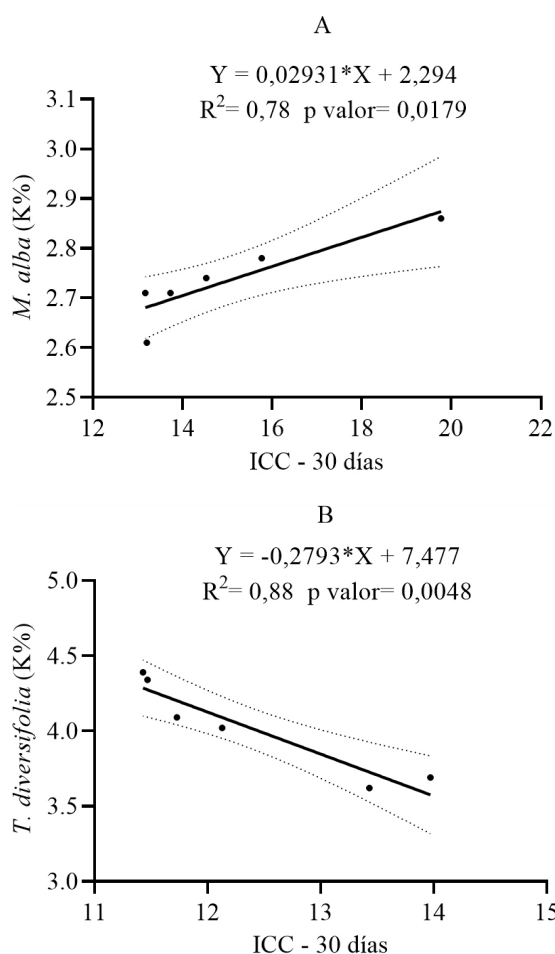


Figura 4. Regresión lineal entre el ICC y el contenido de K en los arbustos forrajeros *M. alba* a los 30 días (A) y *T. diversifolia* a los 30 días (B).

Se evidenció una correlación positiva entre el ICC y los niveles de calcio (Ca) en el arbusto *T. diversifolia* a los 60 días, al igual que en la relación entre el ICC y el magnesio (Mg) en *M. oleifera* a los 45 días. En contraste, se registró una tendencia negativa en la relación entre el ICC y el azufre en el arbusto *L. leucocephala* a los 45 días (Figura 5).

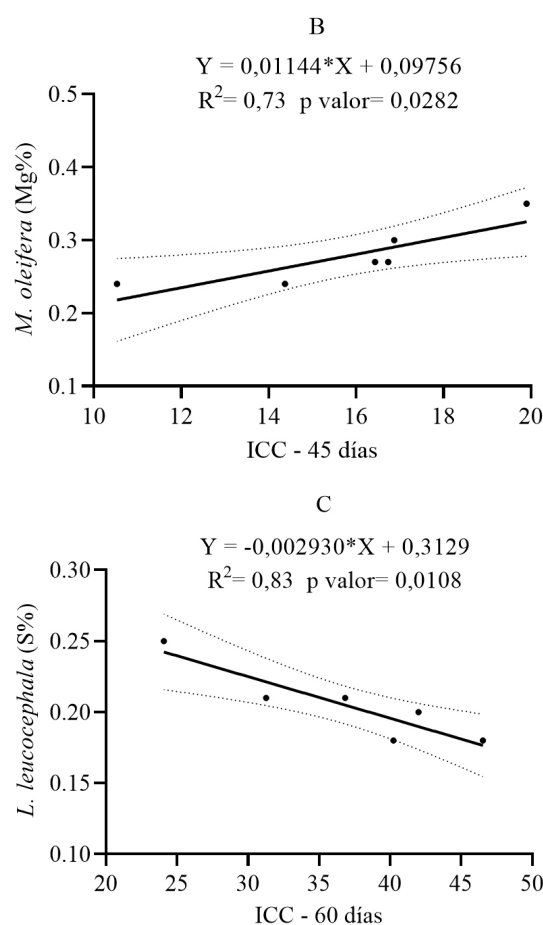
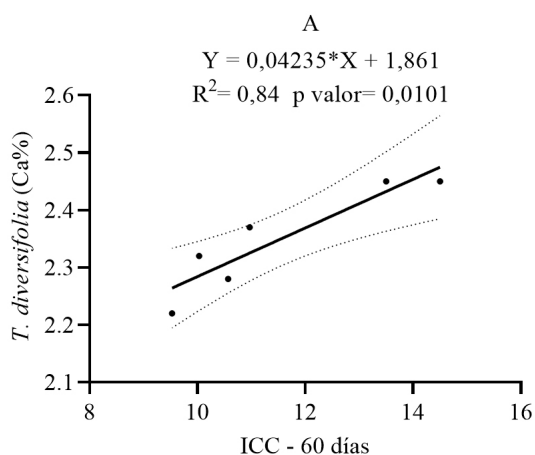


Figura 5. Regresión lineal entre el ICC y el contenido de Ca en *T. diversifolia* a los 60 días (A), con Mg en *M. oleifera* a los 45 días (B) y con S en *L. leucocephala* a los 45 días (C).

IV. DISCUSIÓN

De acuerdo con Benavides-Mendoza et al. (25), las técnicas de fluorescencia de clorofila se han convertido en una herramienta valiosa para evaluar la adaptación de las plantas cultivadas a factores de estrés, que se ven exacerbados por los efectos del cambio climático. La fluorescencia de clorofila se presenta como un método alternativo prometedor para obtener información detallada sobre el estrés que afecta el estado fisiológico del aparato fotosintético de las plantas (26). Esta evaluación cuantitativa se posiciona como una vía precisa, confiable y eficiente para obtener información de naturaleza molecular, con implicaciones significativas en la expresión fisiológica de las plantas. Estas implicaciones abren el camino a múltiples aplicaciones en investigaciones aplicadas (27).

Es este sentido *L. leucocephala*, debido a su alta concentración de clorofila en las células

fotosintéticas, su capacidad de retención de agua y su metabolismo eficiente, podría considerarse como una especie forrajera pionera. Su aptitud para la captura eficiente de la luz solar la posiciona como una candidata ideal en la restauración de ecosistemas degradados, especialmente debido a su destacada tolerancia a las condiciones de estrés (28). Esto sugiere que *L. leucocephala* podría desempeñar un papel crucial en la recuperación de ecosistemas ganaderos degradados, destacando su relevancia en el contexto de la conservación y restauración de la biodiversidad.

La interacción entre las especies forrajeras y los intervalos de corte se hizo evidente al analizar los contenidos de proteína cruda (PC). En particular, se observó que *G. sepium* presentó niveles superiores de PC a los 30 días, lo cual contrasta con los resultados (33,57% vs. 28,32%) obtenidos por Araque et al. (29) en intervalos de corte tempranos. Por otro lado, el valor de PC registrado a los 45 días en *L. leucocephala* fue consistente (31,9 0% vs. 31,74%) con lo reportado por Verdecia et al. (30). Sin embargo, el contenido de PC en *M. oleífera* difirió notablemente (32,32% vs. 14,85±12,8%) de los hallazgos de Ramírez et al. (31).

Estos resultados indican que los arbustos forrajeros, en términos de calidad y palatabilidad estos arbustos forrajeros en términos de calidad y palatabilidad (32), poseen la capacidad de desempeñar un papel importante en la mejora de los sistemas de producción agrícola y ganadera a pequeña escala. Por ejemplo, su forraje se utiliza en la creación de bancos proteicos y en sistemas pecuarios intensivos (33). Esto resalta la relevancia de estas especies forrajeras en la optimización de la producción agropecuaria en sistemas de menor escala.

En el contexto de los sistemas agrícolas, se han documentado informes que resaltan la utilidad de estas especies forrajeras como opciones valiosas para promover sistemas agroforestales en la región amazónica ecuatoriana. En particular, se han explorado sus capacidades como fuentes de nitrógeno en los cultivos de *Solanum quitoense* Lam. (34), *Elaeis guineensis* Jacq. (35) y *Hylocereus megalanthus* Haw. (36).

En lo que respecta al contenido de fósforo (P), los resultados obtenidos para *M. alba* a los 30 días y *M. oleífera* a los 30, 45 y 60 días se situaron

en un rango que osciló entre 0,47% y 0,51%, tal como se muestra en la Tabla 2. Estos hallazgos son coherentes con los informes previos de Milera et al. (37), quienes informaron valores de P (0,417%) para *M. alba*. Además, concuerdan con los resultados obtenidos por Méndez et al. (38) en el caso de *M. oleífera* en diferentes etapas de crecimiento (0,41% a 0,54%). Estos niveles nutricionales destacados hacen que estos arbustos puedan considerarse como una alternativa viable para la suplementación estratégica de este mineral en sistemas ganaderos tropicales (39).

T. diversifolia se destacó al exhibir valores significativos tanto en potasio (K) como en calcio (Ca) a lo largo de todos los intervalos de corte estudiados. En este contexto, Ureña et al. (40) mencionaron que la extracción de nutrientes en *T. diversifolia* mostró una afinidad particular por nitrógeno (N), potasio (K) y calcio (Ca). No obstante, es importante señalar que los valores obtenidos para el contenido de calcio (Ca) en nuestro estudio, aunque notables (rango de 1,89% a 2,35%), resultan inferiores a los niveles informados por Gallegos-Castro et al. (41), quienes registraron valores que oscilaron entre 2,86% y 3,05%.

Los arbustos forrajeros exhibieron notables diferencias en los contenidos de magnesio (Mg) a lo largo de los intervalos de corte evaluados. *T. diversifolia* destacó al lograr los contenidos más elevados de Mg a los 30 días, superando significativamente (0,49% vs. 0,347%) los valores reportados por Santamaría-Lezcano et al. (42). Por otro lado, a los 45 días (0,40%) y 60 días (0,48%), *G. sepium* demostró los niveles más sobresalientes de Mg. Estos resultados superaron notablemente las cifras presentadas por Araque et al. (29) en etapas de crecimiento tempranas, que variaron entre 0,20% y 0,27% en los intervalos de 30 a 60 días. Es relevante notar que estos autores mencionaron que los contenidos de Mg aumentaron con el progreso del estado fenológico de las plantas, una tendencia que se observa de manera consistente en los resultados de esta investigación.

Los niveles de azufre registrados en el arbusto *M. oleífera* a los 30 días (0,57%) y 60 días (0,52%) difieren significativamente de los contenidos de 0,42% reportados por Benalcázar y Pilatasig (43). Del mismo modo, en el intervalo de 45 días, el contenido de azufre encontrado en el arbusto *L.*

leucocephala (0,38%) es notablemente superior en comparación con el valor de 0,12% informado por Donoso et al. (44).

En este contexto es importante resaltar que, para mejorar la nutrición de los rumiantes, los niveles de azufre total en la dieta deben mantenerse en el rango de 0,18% a 0,25%. Estos niveles óptimos son fundamentales para garantizar un comportamiento animal saludable (45). Además, la incorporación de azufre en la dieta de los bovinos, en cantidades que oscilan entre 2 y 8 gramos de azufre por animal al día, podría ofrecer una estrategia efectiva para el control integrado de las garrapatas del ganado en las zonas tropicales del país (46).

Considerando estos factores, tanto *M. oleifera* como *L. leucocephala* se perfilan como fuentes ricas en este elemento, lo que las convierte en candidatas idóneas para la formulación de dietas y la suplementación de minerales en rumiantes. Estos resultados sugieren un potencial significativo para mejorar la salud y el rendimiento del ganado a través de la incorporación de estos arbustos forrajeros en la dieta.

Finalmente es importante recalcar que la determinación del ICC mediante medidores ópticos de forma no destructiva, ha sido objeto de estudio en numerosas investigaciones, y en muchos casos, se ha observado su vínculo con el contenido de nitrógeno presente en los tejidos foliares de diversos cultivos, como pastura/maíz (47), uva (48), y hortalizas (49).

No obstante, en el contexto de este estudio, se han encontrado correlaciones y regresiones lineales significativas ($p < 0,05$) en los arbustos forrajeros *T. gigantea*, *M. oleifera*, *L. leucocephala*, *T. diversifolia* y *M. alba*. Esto indica que la técnica del ICC podría extenderse con éxito para generar

mediciones rápidas y estimar con precisión la concentración de los nutrientes analizados en estos arbustos forrajeros.

V. CONCLUSIONES

L. leucocephala se destacó por su mayor eficiencia en la asimilación de la fotosíntesis, ya que mostró contenidos de clorofila en unidades relativas de ICC superiores en los intervalos de corte estudiados. Además, la determinación de este índice mediante medidores de lectura directa permitió establecer correlaciones significativas con el contenido de proteína, así como con los nutrientes presentes en el tejido foliar, incluyendo fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en los arbustos forrajeros *T. gigantea*, *M. oleifera*, *L. leucocephala*, *T. diversifolia* y *M. alba*.

Estos hallazgos resaltan el potencial de estas especies de arbustos forrajeros en diferentes intervalos de corte, lo que sugiere su utilidad como valiosas fuentes de proteína y para la suplementación mineral en la alimentación de rumiantes. Estos resultados abren nuevas oportunidades para mejorar la nutrición y el rendimiento de los animales en los sistemas de producción.

VI. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ejecutó gracias al apoyo del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y el Fondo de Investigación de la Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable (FIASA), por medio del proyecto "Investigación y difusión de tecnologías para la producción agroecológica y bienestar de las familias de la Circunscripción Territorial Especial Amazónica (CTEA)".

V. REFERENCIAS

1. Cardona-Iglesias JL, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J. Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. Agron Mesoam [Internet]. 2017 [citado 26 de junio de 2023];273-88. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/21466>
2. Dalzell SA. Leucaena cultivars – current releases and future opportunities. Trop Grassl-Forrajes Trop [Internet]. 2019 [citado 26 de junio de 2023];7(2):56-64. Disponible en: [//www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/view/526](http://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/view/526)

3. González E, Cáceres O. Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. Pastos Forrajes [Internet]. 2002 [citado 15 de diciembre de 2022];25(1). Disponible en: [https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path\[\]=882](https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path[]=882)
4. Cabrera-Núñez A, Lammoglia-Villagomez M, Alarcón-Pulido S, Martínez-Sánchez C, Rojas-Ronquillo R, Velázquez-Jiménez S, et al. Árboles y arbustos forrajeros utilizados para la alimentación de ganado bovino en el norte de Veracruz, México. Abanico Vet [Internet]. 2019 [citado 14 de noviembre de 2022];9. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2448-61322019000100113&lng=es&nrm=iso&tlng=es
5. Valente TNP, Lima É da S, Henriques LT de, Machado Neto OR, Gomes Dí, Sampaio CB, et al. Anatomia de plantas forrageiras e a disponibilidade de nutrientes para ruminantes: revisão. Veterinária E Zootec [Internet]. 2011 [citado 12 de noviembre de 2022];347-58. Disponible en: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/141104>
6. Silva EA da, Silva WJ da, Barreto AC, Oliveira Junior AB de, Paes JMV, Ruas JRM, et al. Chemical composition and photosynthetically active radiation of forage grasses under irrigation. Rev Bras Zootec [Internet]. 2012 [citado 17 de octubre de 2023];41:583-91. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/v6xs3kFFRBzCGtxzBYDngzR/?lang=en>
7. Carril EPU. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. REDUCA Biol [Internet]. 2011 [citado 11 de noviembre de 2022];2(3). Disponible en: <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/793>
8. García RR, Collazo M. Manual de prácticas de fotosíntesis. UNAM; 2006.
9. Castillo ÁR, Ligarreto GA. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. Cienc Tecnol Agropecu [Internet]. 2010 [citado 13 de noviembre de 2022];11(2):122-8. Disponible en: <http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/202>
10. Sánchez E, Ruiz JM, Romero L, Preciado-Rangel P, Flores-Córdova MA, Márquez-Quiroz C. ¿Son los pigmentos fotosintéticos buenos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo y potasio en frijol ejotero? Ecosistemas Recur Agropecu [Internet]. 2018 [citado 14 de noviembre de 2022];5(15):387-98. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-90282018000300387&lng=es&nrm=iso&tlng=es
11. Castillo ÁR, De León MÁ, Barbosa OP, Amaya MA, Giraldo RAD. Estimating chlorophyll concentration and its relationship with crude protein concentration in three species of Urochloa in the Piedemonte Llanero, Colombia. Trop Grassl-Forrajes Trop [Internet]. 2019 [citado 15 de enero de 2023];7(5):533-7. Disponible en: [https://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/view/4402019;7\(5\):533-7](https://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/view/4402019;7(5):533-7).
12. Álvarez-Holguín A, Morales-Nieto CR, Corrales-Lerma R, Avendaño-Arrazate CH, Rubio-Arias HO, Villarreal-Guerrero F. Caracterización estomática, concentración de clorofila y su relación con producción de biomasa en Bouteloua curtipendula. Agron Mesoam [Internet]. 2018 [citado 28 de marzo de 2023];251-61. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/29900>
13. González Á. Aplicación del medidor portátil de clorofila en programas de mejora de trigo y cebada. Agroecología [Internet]. 2009 [citado 15 de diciembre de 2022];4:111-6. Disponible en: <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117241>
14. Castañeda CS, Almanza-Merchán PJ, Pinzón EH, Cely GE, Serrano PA. Estimación de la concentración de clorofila mediante métodos no destructivos en vid (Vitis vinifera L.) cv. Riesling Becker. Rev Colomb Cienc Hortícolas [Internet]. 1 de mayo de 2018 [citado 14 de noviembre de 2022];12(2):329-37. Disponible en: https://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/7566
15. Holdridge LR. Ecología basada en zonas de vida [Internet]. Colección Libros y Materiales Educativos (IICA) No. 83, San José (Costa Rica); 2000 [citado 12 de abril de 2023]. Disponible en: <https://>

repositorio.iica.int/handle/11324/20468

16. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. Anuario meteorológico No53-2013, estación de meteorología M1221 [Internet]. 2017. [citado 15 de abril de 2023]. Disponible en: https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf
17. Geraldine A, Simón L. Estudios del nivel de poda en una plantación de *Leucaena leucocephala* CNIA-250. Pastos Forrajes [Internet]. 2001 [citado 4 de noviembre de 2022];24(2). Disponible en: [https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path\[\]=911](https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path[]=911)
18. Pinot DAF, Sorto TJ, Bardales JG, Aguilar DA, Valverde JC, Molina JM. Capacidad de rebrote de *Leucaena macrophylla* Benth con fines dendroenergéticos en Cortes, Honduras. Rev For Mesoam Kurú [Internet]. 2019 [citado 4 de noviembre de 2022];16(38):47-54. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6787132>
19. Toledo JM. Manual para la evaluación agronómica: Red internacional de evaluación de pastos tropicales [Internet]. International Center for Tropical Agriculture; 1982 [citado 13 de abril de 2023]. Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54148>
20. Roza-Delgado BDL, Fernández AM, Gutiérrez AA. Determinación de materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado para análisis. Pastos [Internet]. 2011 [citado 21 de febrero de 2022];32(1):91-104. Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1308>
21. Parry C, Blonquist JM, Bugbee B. In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship. Plant Cell Environ [Internet]. 2014 [citado 22 de mayo de 2022];37(11):2508-20. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/pce.12324>
22. Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. Official methods of analysis. 19.a ed. Vols. 1-2. Gaithersburg, MD, USA.; 2012.
23. Di Rienzo J, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo C. Infostat: manual del usuario [Internet]. Córdoba: Editorial Brujas. 2008 [citado 13 de abril de 2022]. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
24. Hernández Lalinde JD, Espinosa Castro JF, Peñaloza Tarazona ME, Fernández González JE, Chacón Rangel JG, Toloza Sierra CA, et al. Sobre El Uso Adecuado Del Coeficiente De Correlación De Pearson: Definición, Propiedades Y Suposiciones. Arch Venez Farmacol Ter [Internet]. 2018 [citado 27 de junio de 2023]; Disponible en: <https://bonga.unisimon.edu.co/handle/20.500.12442/2469>
25. Benavides-Mendoza A, Francisco-Francisco N, Benavides-Mendoza A, Francisco-Francisco N. Recientes aplicaciones de la fluorescencia de la clorofila en los cultivos vegetales. Epistem Sonora [Internet]. 2022 [citado 20 de junio de 2023];16(33):106-14. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-81962022000200106&lng=es&nrm=iso&tlng=es
26. Jiménez-Suanca SC, Alvarado S. OH, Balaguera-López HE. Fluorescence as an indicator of stress in *Helianthus annuus* L. A review. Rev Colomb Cienc Hortícolas [Internet]. 2015 [citado 21 de junio de 2023];9(1):149-60. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2011-21732015000100013&lng=en&nrm=iso&tlng=es
27. Moreno SG, Vela HP, Alvarez MOS. La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. Rev Educ Bioquímica [Internet]. 2008 [citado 21 de junio de 2023];27(4):119-29. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenl.cgi?IDREVISTA=278&IDARTICULO=37206&IDPUBLICACION=3953>
28. Yige C, Fangqing C, Lei L, Shunbo Z. Physiological Responses of *Leucaena leucocephala* Seedlings to Drought Stress. Procedia Eng [Internet]. 2012 [citado 17 de marzo de 2023];28:110-6. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705812007011>

29. Araque C, Quijada T, D'Aubeterre R, Páez L, Sánchez A, Espinoza F. Bromatología del mataratón (*Gliricidia sepium*) a diferentes edades de corte en Urachiche, estado Yaracuy, Venezuela. *Zootec Trop* [Internet]. 2006[citado 28 de junio de 2023];24(4):393-9. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692006000400001
30. Verdecia DM, Herrera H, Ramírez JL, Leonard I, Álvarez Y, Bazán Y, et al. Valor nutritivo de *Leucaena leucocephala*, con énfasis en el contenido de metabolitos secundarios. *Revista Electrónica de Veterinaria* [Internet]. 2012 [citado 21 de junio de 2023]; Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/74310>
31. Ramírez JE, Almario NP, Delgado JRM. Rendimiento de biomasa y composición bromatológica de la *Moringa oleifera* (Lam) según frecuencia de corte y altura de poda, en Chaparral Tolima. *Rev Agroforestería Neotropical* [Internet]. 2022 [citado 21 de junio de 2023];1(12). Disponible en: <https://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/3015>
32. Pérez N, Ibrahim M, Villanueva C, Skarpe C, Guerin H. Uso de la diversidad forrajera tropical en combinaciones pareadas de leñosas forrajeras como indicador de preferencia para su inclusión en el diseño de sistemas silvopastoriles en zonas secas. *Cienc Tecnol Agropecu* [Internet]. 2012 [citado 9 de junio de 2023];13(1):79-88. Disponible en: <http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/243>
33. Navas A, Patiño H, Vargas J, Estrada Alvarez J. Producción de *Gliricidia sepium* (Mataratón) en bancos de alta densidad. *Línea Investig Desarro Sist Sosten Aliment Anim Dep Sist Prod Univ Caldas Manizales Colomb* [Internet]. 2000 [citado 21 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x6365s/x6365s.pdf>
34. Vargas Y, Nicolalde J, Díaz A, Caicedo C, Viera W. Evaluación del cultivo de naranjilla bajo sistema agroforestal tipo callejones con *gliricidia* (*Gliricidia sepium*) y *flemingia* (*Flemingia macrophylla*). 2018 [citado 23 de marzo de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5430>
35. Macas JC, Bastidas S, Chiriguay C. Aportes Nutricionales de *Gliricidia sepium*, *Flemingia macrophylla* al cultivo de palma africana, bajo sistema agroforestal en el cantón Joya de los Sachas [Internet]. Sacha, EC: INIAP, Estación Experimental Central de la Amazonía. 2018 [citado 23 de marzo de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5432>
36. Vargas Y, Alcívar W, Nicolalde J, Tinoco L, Díaz A, Viera W. Efecto de Diferentes Sistemas agroforestales con *Pitahaya* (*Hylocereus megalanthus* Haw.) sobre la abundancia y biomasa de lombrices y rendimiento del cultivo, en el cantón Palora. In: 1er Congreso internacional alternativas tecnológicas para la producción agropecuaria sostenible en la Amazonía ecuatoriana. [Internet]. Sacha, EC:INIAP/AGLATAM, 2018 p. 1-7; 2018 [citado 23 de marzo de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5418>
37. Milera M, Martín G, Hernández I, Sánchez T, Fernández E. Resultados preliminares del forraje de *Morus alba* en la alimentación de vacas lecheras. *Av En Investig Agropecu* [Internet]. 2007 [citado 22 de junio de 2023];11(2):3-14. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83711202>
38. Méndez Y, Suárez FO, Verdecia DM, Herrera RS, Labrada JA, Murillo B, et al. Caracterización bromatológica del follaje de *Moringa oleifera* en diferentes estadios de desarrollo. *Cuban J Agric Sci* [Internet]. 2018 [citado 22 de junio de 2023];52(3):337-46. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2079-34802018000300337&lng=es&nrm=iso&tlng=en
39. Panadero AN. Bancos forrajeros de *Moringa oleifera*, en condiciones de bosque húmedo tropical. *Cienc Tecnol Agropecu* [Internet]. 2019 [citado 11 de marzo de 2023];20(2):1-12. Disponible en: <http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1457>
40. Ureña MA, Rojas-Bourrillon A, Campos-Granados CM. Extracción de nutrientes del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) ecotipo INTA-Quepos a tres edades de rebrote con tres niveles de

- fertilización nitrogenada. *Nutr Anim Trop* [Internet]. 2020 [citado 22 de junio de 2023];14(2):113-30. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/44682>
41. Gallego-Castro LA, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J, Gallego-Castro LA, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J. Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agron Mesoam* [Internet]. 2017 [citado 23 de junio de 2023];28(1):213-22. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1659-13212017000100017&lng=en&nrm=iso&tlng=es
 42. Santamaría-Lezcano E, Hertentains-Caballero L, Troetsch-Santamaría O, Melgar-Moreno A. Producción y calidad forrajera de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) a. gray bajo diferentes frecuencias de cortes. *Cienc Agropecu* [Internet]. 2016 [citado 23 de junio de 2023];(25):45-55. Disponible en: <http://200.46.165.126/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/92>
 43. Benalcazar Muriel PM, Pilatasig Molina BR. Aplicación de tres tipos de abonos orgánicos en el cultivo de moringa (*Moringa oleifera*) en el Centro de Investigaciones Sacha Wiwa. [Internet] [BachelorThesis]. Ecuador: La Mana: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC); 2022 [citado 23 de junio de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8971>
 44. Donoso FB, Cedeño JCV, Cedeño AJR. Evaluación de los contenidos de ma-crominerales de gramíneas y leguminosas en pastoreo en una finca de la región costa en Ecuador. *Rev Ecuat Cienc Anim* [Internet]. 2019 [citado 23 de junio de 2023];3(1):20-3. Disponible en: <http://revistaecuadorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/view/105>
 45. Industrias Purace S.A. El azufre en la calidad del forraje y en la nutrición de rumiantes [Internet]. Industrias Purace SA; 1990 [citado 23 de junio de 2023]. Disponible en: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17143>
 46. Egas Dávila JG, López Vargas SM. Evaluación del efecto de azufre elemental como alternativa de control de garrapatas y su influencia sobre la producción de leche en ganaderías del noroccidente de Pichincha [Internet] [BachelorThesis]. Quito: UCE; 2023 [citado 23 de junio de 2023]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/30279>
 47. Castillo ÁR, Ligarreto GA. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Cienc Tecnol Agropecu* [Internet]. 2010 [citado 23 de junio de 2023];11(2):122-8. Disponible en: <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/202>
 48. Castañeda CS, Almanza-Merchán PJ, Pinzón EH, Cely-Reyes GE, Serrano-Cely PA, Castañeda CS, et al. Estimación de la concentración de clorofila mediante métodos no destructivos en vid (*Vitis vinifera* L.) cv. Riesling Becker. *Rev Colomb Cienc Hortícolas* [Internet]. 2018 [citado 23 de junio de 2023];12(2):329-37. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2011-21732018000200329&lng=en&nrm=iso&tlng=es
 49. Mendoza Tafolla RO, Juárez López P, Ontiveros Capurata RE, AliaTejacal I, Guillén Sánchez D, Villegas Torres ÓG, et al. Estimación de la concentración de clorofila, nitrógeno y biomasa en arúgula (*Eruca sativa* Mill.) mediante mediciones portátiles no destructivas. *Bioagro* [Internet]. 2022 [citado 23 de junio de 2023];34(2):151-62. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8443592>