UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Digestibilidad *in vitro* de *Clitoria ternatea* L. bajo diferentes condiciones de manejo agronómico

Por:

Juan Manuel Mezquite Álvarez

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Digestibilidad in vitro de Clitoria ternatea L. bajo diferentes condiciones de manejo agronómico

Por:

JUAN MANUEL MEZQUITE ALVAREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité Asesor:

DR. JOEL VENTURA RIOS
Asesor Principal

DRA. LAURA MARICELA LARA LOPEZ
Coasesor

DR ALEJANDRO ESPINOZA CANALES
Coasesor

M.C. PEDRO CARRILLO LOPEZ
Coordinador de la División de Ciencia Animal

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" COORDINACIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Noviembre 2026

AGRADECIMIENTOS

El camino para llegar a la culminación de este proyecto ha estado lleno de retos y aprendizajes, pero sobre todo de personas que me han brindado su respaldo incondicional. Esta tesis no es solo el resultado de mi esfuerzo, sino del reflejo de la guía y el acompañamiento de quienes creyeron en mí a lo largo de toda mi carrera.

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento a mi alma terra máter, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Gracias por abrirme sus puertas y por ser el espacio donde adquirí los conocimientos y las bases para mi desarrollo profesional. Llevaré con orgullo los valores y el espíritu de esta gran institución.

Mi gratitud y reconocimiento especial se dirigen al Dr. Joel Ventura Ríos y a la Dra. Maricela Mancilla Solís. Gracias a ambos por su paciencia, por compartir su experiencia y por guiarme con tanta dedicación durante el desarrollo de este trabajo. Su calidad humana, capacidad académica y su apoyo constante fueron fundamentales para llevar a buen puerto esta investigación. Gracias por su apoyo y por inspirarme a ser un mejor profesional.

A mi familia, mi mayor soporte e inspiración. De forma especial a mis padres por ser un ejemplo de trabajo y perseverancia, y por estar a mi lado a cada paso, tanto en los momentos fáciles como en los más difíciles de mi vida. A toda mi familia que, con sus palabras de aliento, su comprensión durante mi ausencia y su amor incondicional me dieron la fuerza para no rendirme.

Finalmente, a mis amigos, a aquellos que compartieron conmigo las aulas, el campo y la vida misma. A Jairo, Diego, Benjamín, Raúl, Irving, Adair y todos mis compañeros de ruta, gracias por aligerar la carga con su gran compañía, por las largas jornadas compartidas y por hacer de esta etapa universitaria una experiencia inolvidable.

A todos los que de una u otra forma aportaron un grano de arena para que este sueño se hiciera realidad, de todo corazón, muchas gracias.

DEDICATORIA

A mis padres, por ser el pilar fundamental de mi vida, el motor que me impulsa a seguir adelante y el ejemplo constante de que el trabajo constante y la perseverancia rinden frutos. Gracias por sus sacrificios incondicionales, por creer en mi en cada momento y enseñarme que la educación y los valores son la mejor herencia que un hijo puede recibir. Todo lo que soy y lo que he logrado hasta hoy se lo debo a su guía y amor infinito.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional, su alegría y por ser mis compañeros de vida. Gracias por sus palabras de aliento en los momentos de presión, por compartir conmigo cada paso de este trayecto y por recordarme siempre la importancia de estar unidos.

A toda mi familia, quienes a la distancia o de cerca supieron brindarme un consejo oportuno, una oración y sus mejores deseos en cada etapa de este proceso académico. Su respaldo a sido un motor importante para alcanzar esta meta.

Con todo mi amor, respeto y profunda gratitud, les dedico este logro profesional que es tan suyo como mío.

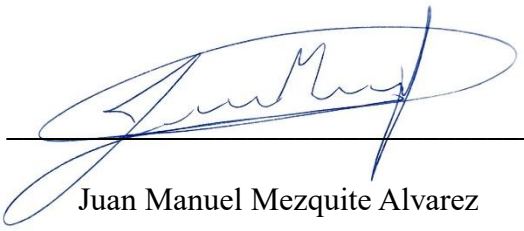
DECLARATORIA DE NO PLAGIO

Saltillo, Coahuila, noviembre de 2026

DECLARO QUE:

El trabajo de investigación titulado “Digestibilidad *in vitro* de *Clitoria ternatea* L. bajo diferentes condiciones de manejo agronómico” es una realización personal, donde no se ha copiado, replicado o utilizado ideas, citas e ilustraciones diversas, obtenidas de cualquier tesis, obra intelectual, artículo o memoria (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor.

En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, estando consciente de que en caso de comprobarse plagio en el texto o que no se respeten los derechos de autor; esto será objeto de sanciones del Comité Editorial y/o legales a las que haya lugar; quedando, por lo tanto, anulado el presente documento académico sin derecho a la aprobación del mismo, ni a un nuevo envío.



Juan Manuel Mezquite Alvarez

Digestibilidad *in vitro* de *Clitoria ternatea* L. bajo diferentes condiciones de manejo agronómico

Juan Manuel Mezquite Álvarez

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la distancia entre surcos, la altura de corte y los días después del corte de homogeneización (DDCH) sobre la producción de biomasa y la digestibilidad verdadera *in vitro* de Clitoria. El experimento se realizó en el Centro de Desarrollo Tecnológico Tantakin, ubicado en Tzucacab, Yucatán, México, utilizando la variedad Tehuana®. Se estableció un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial de dos distancias entre surcos (60 y 80 cm) y dos alturas de corte (5 y 10 cm), con tres repeticiones. Las evaluaciones se efectuaron a los 32, 48 y 72 DDCH. La digestibilidad *in vitro* se determinó mediante el sistema ANKOM DAISY, con 72 horas de incubación. Los resultados mostraron efectos significativos de la distancia entre surcos, la altura de corte y los DDCH sobre la producción de biomasa, así como de la interacción DDCH × distancia entre surcos. En promedio la producción de biomasa fue de 712, 1454 y 3375 kg de MS ha^{-1} a los 32, 48 y 72 DDCH, respectivamente. La digestibilidad de la MS en promedio fue de 84, 76 y 77 %, con efectos significativos de los DDCH y de la interacción entre los tres factores evaluados. El cultivo de Clitoria es una fuente forrajera de alta digestibilidad y buen rendimiento de biomasa que puede ser una alternativa forrajera para condiciones tropicales de México.

Palabras clave: *C. ternatea* L., digestibilidad *in vitro*, biomasa, forraje tropical, leguminosa.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of row spacing, cutting height, and days after the standardization cut (DASC) on biomass production and the *in vitro* true digestibility of Clitoria. The experiment was conducted at the Tantakin Technological Development Center, located in Tzucacab, Yucatán, Mexico, using the Tehuana® variety. We used a randomized complete block design with a factorial arrangement of two row spacings (60 and 80 cm), two cutting heights (5 and 10 cm), and three replications. We evaluated treatments at 32, 48, and 72 DASC. *In vitro* digestibility was determined using the ANKOM DAISY system, with a 72 hour incubation period. The results showed significant effects of row spacing, cutting height, and DASC on biomass production, as well as a significant interaction between DASC and row spacing. On average, biomass production was 712, 1,454, and 3,375 kg of dry matter (DM) ha^{-1} at 32, 48, and 72 DASC, respectively. Mean DM digestibility was 84%, 76%, and 77%, with significant effects observed for DASC and the interaction among the three factors evaluated. Clitoria cultivation serves as a highly digestible forage source with good biomass yield, representing a potential forage alternative for the tropical conditions of Mexico.

Keywords: *C. ternatea* L., *in vitro* digestibility, biomass, tropical forage, legume.

ÍNDICE GENERAL

I. **INTRODUCCIÓN**.....1

1.1 **HIPÓTESIS**.....2

1.2 **OBJETIVOS**.....2

1.2.1 Objetivo general.....2

1.2.2 Objetivo particular.....2

II. **REVISIÓN DE LITERATURA**.....3

2.1 Generalidades de la planta de Clitoria.....3

2.2 Origen y distribución.....3

2.3 Fenología y etapas de crecimiento.....4

3.0 Bromatología.....5

3.1 Proteína cruda.....5

3.2 Carbohidratos estructurales y no estructurales.....6

4.0 Digestibilidad.....8

III. **MATERIALES Y MÉTODOS**.....10

IV. **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**.....16

4.1 Biomasa.....16

4.2 Digestibilidad.....19

V. **CONCLUSIÓN**.....22

VI. **LITERATURA CITADA**.....23

ÍNDICE DE CUADROS

Cudaro 1. Contenido de Proteína cruda total en distintas variedades de Clitoria 5
Cuadro 2. Contenido de proteína cruda en tres genotipos de Clitoria 6
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de Clitoria ternatea L. bajo diferente manejo agronómico.....16
Cuadro 4. Producción de biomasa de Clitoria ternatea L. bajo diferente manejo agronómico.....18
Cuadro 5. Digestibilidad de Clitoria ternatea L. Clitoria ternatea L. bajo diferente manejo agronómico.....19

I. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de sistemas de producción pecuaria sostenibles y eficientes ha promovido la búsqueda de fuentes de forraje alternativas, especialmente en las regiones tropicales del mundo. Las regiones tropicales de México, incluyen tanto el trópico seco como el trópico húmedo, se estima que cubren una superficie aproximada a 30.3 millones de has el equivalente al 21.9 % de la superficie total del país (INEGI, 2021). Estas regiones se caracterizan por una alta riqueza biológica y condiciones climáticas que, si bien favorecen el desarrollo de la vegetación, también presentan retos para la producción pecuaria.

En las zonas tropicales, las actividades pecuarias constituyen una fuente importante de sustento para muchas comunidades y contribuyen significativamente a la producción nacional de carne y leche. Sin embargo, las unidades de producción animal que se desarrollan en esta región presentan a su vez la menor productividad por hectárea, por lo que la suplementación es una de las estrategias usadas para aumentar la producción (Estrada, 2019).

En este contexto, el cultivo de Clitoria (*Clitoria ternatea* L.), conocida comúnmente como conchita azul o butterlfy pea, surge como una especia forrajera de gran interés debido a su adaptabilidad a condiciones adversas, su fijación de nitrógeno atmosférico y su potencial valor nutricional (Barro, 1983). La investigación sobre la digestibilidad de Clitoria específicamente en rumiantes es crucial para determinar su eficacia como componente en la dieta de los mismos y optimizar su inclusión en programas de alimentación animal en los programas de manejo de las unidades de producción.

Los estudios iniciales se han centrado en la caracterización bromatológica de Clitoria, revelando una composición química prometedora que incluye niveles significativos de proteína cruda, un factor determinante en la nutrición de rumiantes (Sosa-Montes, 2020). En Clitoria se ha observado que la variabilidad en la composición química, como el contenido de fibra detergente ácida (FDA), puede influir directamente en los coeficientes de digestibilidad (Villanueva, 2004).

Otros estudios indican que un alto contenido de FDA no necesariamente se traduce en una baja digestibilidad, lo anterior deja claro la complejidad de la interacción entre la composición del forraje y los procesos digestivos propios de los rumiantes (Martínez-Tijanero, 2017). En rumiantes y básicamente en vacas lecheras, se ha investigado la utilización de heno de Clitoria, así mismo ofrecida como ensilajes mixtos con gramíneas, mejorando la gustocidad y calidad de los forrajes ofrecidos (Ramos Ramos, 2014).

1.1 HIPÓTESIS

La distancia entre surcos, la altura de corte y los días después del corte de homogeneización, así como sus interacciones, influyen en la producción de biomasa y la digestibilidad *in vitro* de *Clitoria ternatea* L.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la tasa de digestibilidad *in vitro* de *Clitoria ternatea* L. bajo diferente manejo agronómico.

1.2.2 Objetivo particular

Estimar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y materia orgánica a 72 horas de incubación en *Clitoria ternatea* L. bajo diferente manejo agronómico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades de la planta de Clitoria

Clitoria, comúnmente conocida como “conchita azul”, es una planta herbácea perenne de la familia Fabaceae. Es ampliamente reconocida por sus llamativas flores de color azul intenso, aunque también existen variedades con flores blancas o moradas (Orguis, 2019). Esta planta ha sido valorada tradicionalmente por sus propiedades medicinales y ornamentales; así mismo ha sido usada como forraje de corte para alimentar al ganado presentando rendimientos de entre 17 a 29 t ha^{-1} de forraje de alta gustocidad para el ganado (Barro, 1983).

2.2 Origen y distribución

El origen de Clitoria se sitúa en el sudeste asiático tropical, específicamente en regiones como Indonesia y Malasia. Desde su centro de origen, la planta se ha dispersado a lo largo de las zonas tropicales y subtropicales del mundo debido a su fácil adaptación a diversos climas y suelos. Actualmente, se encuentra ampliamente distribuida en Asia, África, América y Oceanía; donde a menudo se cultiva por sus múltiples usos (Orguis, 2019).

En México, *C. ternatea* L. se ha naturalizado en diversas regiones, particularmente en estados con climas cálidos y subtropicales. Su presencia se ha documentado en estados como Chiapas, Veracruz, Yucatán, Oaxaca y Campeche, donde las condiciones ambientales son propicias para su desarrollo (Villaseñor, 1998). Aunque no es una especie nativa, su introducción ha sido aprovechada por comunidades locales para usos ornamentales y en ocasiones medicinales, reflejando su adaptabilidad y potencial en diferentes ecosistemas del país.

2.3 Fenología y etapas de crecimiento

La fenología de *C. ternatea* L. se caracteriza por un crecimiento rápido y una floración prolongada, especialmente en condiciones climáticas favorables de humedad y una temperatura. La geminación y establecimiento de esta leguminosa es más favorable cuando la temperatura ronda entre 24 a 32 ºC, cuando las semillas se siembran a una profundidad de 2.5 a 5 cm de profundidad y de 20 a 30 cm de distancia (Orguis, 2019).

Durante las primeras semanas, la planta desarrolla un crecimiento vigoroso de tallos y hojas. Esta etapa se caracteriza por la rápida elongación de los tallos trepadores y la producción abundante de follaje, lo que permite cubrir superficies rápidamente. La fijación de nitrógeno atmosférico por las bacterias simbióticas en sus nódulos radiculares contribuye significativamente a su crecimiento vegetativo (Orguis, 2019).

La floración es una de las etapas más destacadas, iniciándose generalmente entre 6 a 8 semanas después de la germinación y continuando de manera casi ininterrumpida durante los periodos cálidos y húmedos del año. En climas tropicales, puede florecer durante todo el año. La producción de flores es abundante, siendo cada flor de vida relativamente corta, pero con una sucesión constante de nuevas flores (Rojas-Sandoval, 2018). Este periodo de floración extendido es clave para su atractivo ornamental y para la recolección de flores con fines medicinales o alimentarios.

Tras la polinización, las flores dan paso a la formación de vainas que contienen las semillas. La maduración de las vainas ocurre aproximadamente dos a tres semanas después de la floración. Sin embargo, uno de sus obstáculos para la propagación de *C. ternatea* es su baja tasa de germinación de semillas; para incrementar las probabilidades de germinación se recomienda almacenar las semillas durante 6 meses mejorar de 15-20% la tasa de germinación. También se descubrió que remojar las semillas en ácido sulfúrico concentrado durante al menos 10 minutos resultó en una tasa de germinación reportada del 100% (Orguis, 2019).

Como planta perenne, *C. ternatea* L. puede vivir varios años, especialmente en zonas donde no hay heladas severas. En climas con inviernos fríos, la planta puede comportarse como anual o bien sus partes aéreas pueden morir para rebrotar desde la base en la

primavera. Su capacidad de rebrote y fácil dispersión de la semilla contribuye a su persistencia en el ambiente (Orguis, 2019). La fenología puede variar ligeramente dependiendo de las condiciones ambientales específicas de cada región, como la cantidad de horas luz, la temperatura y la disponibilidad de agua.

3.0 Bromatología

3.1 Proteína cruda

La Clitoria, ha sido considerada de gran interés para investigadores y ganaderos del trópico mexicano que siempre buscan nuevas opciones de forraje con un alto valor nutricional para poder complementar las necesidades nutricionales del ganado y al mismo tiempo incrementar los parámetros productivos de las unidades de producción.

Sin embargo, existe una gran variabilidad en el contenido de proteína cruda debido a una serie de factores propios de la planta o factores ambientales. En primer lugar, podemos incluir las distintas variedades de Clitoria, las cuales pueden presentar variaciones genéticas en su composición nutricional (Shamnad, 2019).

Cudaro 1. Contenido de Proteína cruda total en distintas variedades de Clitoria

Variante	Proteína total %
Single blue	11.5
Single ligth blue	18.2
Single White	13.4
Single violet	15.1
Double blue	13.4
Double pink	11.1
Double white	13.4

Fuente: (Shamnad, 2019).

Así mismo, un estudio realizado en 2021 utilizó material vegetal proveniente del banco de semillas Alliance's Future Seeds donde se conservan 156 genotipos de Clitoria de

distintos lugares. De esta colección se seleccionaron tres genotipos (Cuadro 2) identificados por su potencial superior como forraje (Selvaraj, 2026).

Cuadro 2. Contenido de proteína cruda en tres genotipos de Clitoria

Genotipo	Proteína cruda (%)
9336	33.83
20692	38.00
17768	41.58

Fuente: (Gomez-Selvaraj, 2026).

Cabe mencionar que las distintas partes de la planta que se analicen pueden mostrar distinto contenido de proteína cruda; generalmente las hojas son las que tienen mayor contenido de proteína cruda, seguidas por las flores y en menor medida los tallos (Deshmukh, 2014). Por último, factores como la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la humedad, la temperatura, la intensidad de la luz y las prácticas agronómicas influyen en el crecimiento y la acumulación de nutrientes en la planta (Lozano Ayala, 2022).

En el caso de las flores, si bien son mayormente conocidas por su uso como colorante natural y en la medicina tradicional, contienen una cantidad mínima de proteína siendo esta de alrededor de 0.32 ± 0.03 (Neda, 2013). Por otro lado, la semilla de Clitoria presenta un perfil enorme de aminoácidos y un elevado contenido de proteína cruda que se sitúa entre 38 a 43 %; sin embargo, su uso en alimentación animal no es viable debido al elevado contenido de taninos hidrosolubles (Villanueva, 2004).

3.2 Carbohidratos estructurales y no estructurales

Los carbohidratos representan la principal reserva de energía en la planta. En todos los organismos los carbohidratos forman parte las células vegetales y suministran energía potencial para mantener la vida (Deshmukh, 2014). Se clasifican principalmente en carbohidratos no estructurales y carbohidratos estructurales, los cuales tienen implicaciones directas en la calidad del forraje, la digestibilidad y finalmente en la cantidad de energía total que pueda aportar el forraje.

3.2.1 Carbohidratos no estructurales

Los carbohidratos no estructurales son aquellos que se almacenan dentro de las células vegetales y sirven como fuente de energía fácilmente disponible para la planta y los animales que lo consumen. Estos incluyen azúcares simples (glucosa, fructosa, sacarosa) y polisacáridos de reserva (como el almidón).

En el caso específico de los rumiantes, los carbohidratos no estructurales son rápidamente fermentables en el rumen proporcionando energía de forma casi inmediata que es aprovechada por la microbiota y el ganado de forma directa. El contenido de este tipo de carbohidratos en Clitoria puede variar según el estado de madurez, las condiciones ambientales y la parte de la planta que se analice. Generalmente, las hojas jóvenes tienden a tener mayores concentraciones de carbohidratos estructurales en comparación de hojas y tallos más lignificados (Orguis, 2019).

Deshmukh, *et al*. (2014) mencionan que la cantidad de azúcar reductor y el azúcar total varían a partir del análisis de dos variedades estudiadas, en primer lugar, tenemos *C. ternatea* L. la cual señalan como "Variedad de flores azules" y por otro lado esta *C. ternatea alba* la cual nombran como "variedad de flores blancas". La primera de estas contiene 0.042 ± 0.0001 % de azúcar total y 0.038 ± 0.01 % de almidón; en el caso de *C. ternatea alba* la cantidad de azúcar total fue de 0.040±0.001 (g/100 g) y 0.043±0.002 (g/100 g).

3.3 Fibra detergente neutra (FDN)

La fibra detergente neutra es un parámetro clave en la evaluación de la calidad de los forrajes, ya que representa la fracción total de la pared celular. Está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (Van Soest, 1994) las cuales finalmente producirán energía en el rumen la cual será aprovechada por el ganado.

3.4 Fibra Detergente Ácida (FDA)

La Fibra Detergente Ácida (FDA) es una subfracción de la FDN y está compuesta principalmente por celulosa y lignina. Se obtiene tras la digestión de la muestra con una solución detergente ácida que solubiliza la hemicelulosa (Van Soest, 1994). La FDA es una componente que afecta negativamente a la digestibilidad de cualquier alimento y el

aprovechamiento de la energía. Un mayor contenido de FDA indica una menor digestibilidad del forraje, esto se debe a que componentes como lo es la celulosa y lignina menos efectivos en el proceso de fermentación que se lleva a cabo en el rumen.

3.5 Lignina y su efecto en la calidad del forraje

La lignina es un polímero complejo y altamente ramificado que se encuentra íntimamente asociado con la celulosa y la hemicelulosa en la pared celular. Es el componente principal responsable de la rigidez de los tejidos vegetales y de la impermeabilización de las paredes celulares, pero es prácticamente indigerible por los microorganismos ruminales y por los animales (Van Soest, 1994).

La lignina actúa como una barrera física que encapsula la celulosa y hemicelulosas, impidiendo el acceso de las enzimas microbianas a estos polisacáridos. Por lo tanto, un aumento en el contenido de lignina reduce drásticamente la digestibilidad de la FDN y FDA, disminuyendo el valor energético del forraje (Jung, 1995). Si bien las leguminosas suelen tener un contenido de lignina menor a comparación de las gramíneas, su presencia sigue siendo un factor limitante para su digestibilidad. Por ello, para maximizar el aprovechamiento de Clitoria es recomendable cosecharla en etapas de crecimiento donde la planta es más joven. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que, por cada aumento de una unidad de lignina, la MS digestible disminuye tres o cuatro unidades porcentuales (Linn, 1991).

4.0 Digestibilidad

El aparato digestivo de los rumiantes tiene una serie de cavidades estomacales pre-gástricas (retículo, rumen y omaso). De estos el más importante es el rumen, debido a su complejidad y porque lleva a cabo la mayoría de la fermentación microbiana de los componentes químicos del forraje y donde la mayoría de los ácidos grasos volátiles son absorbidos por la pared ruminal (Christie, 1981).

La determinación del valor nutritivo de los alimentos es fundamental para estimar el impacto de éstos en la nutrición y producción animal. Para la determinación del valor nutritivo de un alimento, no es suficiente con los análisis químicos, se debe considerar también los procesos de digestión, absorción y metabolismo animal (Ordóñez, 2010). Las

pruebas de digestibilidad permiten estimar la cantidad de nutrientes presentes en una ración que pueden ser absorbidos por el aparato digestivo quedando disponibles para el animal (Church, 1994).

4.1 Digestibilidad *in vitro*

Los ensayos de digestión *in vitro* simulan condiciones fisiológicas de la digestión *in vivo*. Son, por lo tanto, excelentes herramientas para el estudio y comprensión de los cambios, interacciones, así como la biodisponibilidad y bioaccesibilidad de los nutrientes y compuestos no-nutritivos (Gonzáles, 2016). Las técnicas de digestibilidad *in vitro* que usan líquido ruminal han supuesto grandes ventajas, estas técnicas evitan los problemas que se plantean cuando se realizan pruebas de digestibilidad *in vivo*, por ejemplo: uso de muchos animales, necesidad de hacer uso de grandes cantidades del alimento a evaluar (Mayo, 2000).

Estudios previos han realizado pruebas de digestibilidad *in vitro* para evaluar la digestibilidad de *C. ternatea*. Se ha encontrado que la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) son generalmente elevadas para esta leguminosa (60 a 74 %) (Heuzé, 2016), especialmente cuando se compara con gramíneas tropicales. Cabe mencionar que la digestibilidad depende de la composición de nutrientes del alimento/ración, siendo a su vez afectada por materiales de origen no dietético contenido en las heces (Merchen, 1988). La digestibilidad de un forraje se relaciona negativamente con su contenido de FDN o FDA y directamente con su contenido celular, carbohidratos solubles (Rosales, 2005).

5.0 Factores que afectan la digestibilidad del forraje

A medida que la planta avanza en su madurez fisiológica, el contenido de fibra aumenta, el contenido de proteína y carbohidratos no estructurales disminuye y esto resulta en una disminución drástica de la digestibilidad. Por otro lado, la digestibilidad de los alimentos guarda estrecha relación con la composición química, así como la cantidad de los compuestos existentes en el alimento. Por un lado, los niveles elevados de FDN y FDA se correlacionan negativamente con la digestibilidad, donde la lignina es prácticamente indigestible. Estudiar la composición química de los forrajes es compleja, ya que la

composición de la pared celular y el contenido celular, se pueden modificar por la etapa de corte, y además pueden cambiar entre especies, así como los factores climáticos y manejo agronómico, son capaces de alterar la cuantificación química y sus componentes (Castillo, 2022).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Material vegetal

Se utilizaron semillas de Clitoria, variedad Tehuana® (PAPALOTLA S.A. de C.V., México; lote 01-2021), con una pureza física de 98 %, viabilidad de 80 %, determinada mediante la prueba de tetrazolio, y vigor de 77 %, evaluado mediante la prueba de germinación estándar. Antes de la siembra, las semillas se sometieron a una escarificación mecánica ligera, con la finalidad de favorecer la uniformidad de la germinación debido a la dureza de la testa.

3.2 Ubicación del sitio experimental y laboratorio

La investigación se desarrolló en el Centro de Desarrollo Tecnológico “Tantakin”, localizado en el municipio de Tzucacab, Yucatán, México, a una altitud de 36 m sobre el nivel del mar, entre las coordenadas geográficas 19° 38′ y 20° 09′ de latitud norte y 88° 59′ y 89° 14′ de longitud oeste.

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (2004), el clima de la región corresponde al tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw). Durante el periodo experimental, las condiciones de temperatura se registraron mediante la estación meteorológica del Centro de Desarrollo Tecnológico “Tantakin”, donde las temperaturas máximas oscilaron entre 32.4 y 33.7 °C, mientras que las mínimas variaron de 17.1 a 19.5 °C. La precipitación acumulada durante el periodo de evaluación fue de 655.9 mm.

Los análisis de digestibilidad se realizaron en el laboratorio del Departamento de Producción Animal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

3.3 Diseño experimental

El experimento se estableció mediante un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2 × 2, en el que se consideraron dos factores de estudio: altura de corte, con niveles de 5 y 10 cm, y distancia entre surcos, con separaciones de 60 y 80 cm. La combinación de ambos factores originó cuatro tratamientos: T1 (5 cm de altura de corte y 80 cm entre surcos), T2 (10 cm de altura de corte y 80 cm entre surcos), T3 (5 cm de altura de corte y 60 cm entre surcos) y T4 (10 cm de altura de corte y 60 cm entre surcos). Cada tratamiento se evaluó con tres repeticiones, para un total de 12 unidades experimentales.

Cada unidad experimental estuvo constituida por un surco de 55 m de longitud y 1.20 m de ancho, subdividido en 11 secciones de 5 m lineales. Cada sección se destinó a una fecha de evaluación, en la cual se efectuó un muestreo destructivo. El área útil de cosecha correspondió a la parte central de cada sección, excluyendo las plantas ubicadas en los extremos. Una vez eliminados los bordes, se seleccionaron aleatoriamente 20 plantas por sección.

3.4 Manejo agronómico

Antes de iniciar los muestreos, se efectuó un corte de uniformidad de acuerdo con la altura establecida para cada tratamiento. Posteriormente, se realizaron muestreos destructivos a intervalos de 32, 48 y 72 días de corte de homogeneización (DDCH).

3.5 Variables evaluadas

3.5.1 Biomasa (kg de MS ha^{-1})

La producción de biomasa se estimó por unidad de superficie para cada frecuencia de corte. En cada surco se cosechó el material vegetal, conservando una altura remanente de 5 o 10 cm, de acuerdo con el tratamiento correspondiente. El material recolectado se pesó inmediatamente después del corte para determinar el peso fresco. Posteriormente, se obtuvo una muestra representativa, la cual se colocó en una estufa de convección forzada a 55 °C hasta alcanzar peso constante, con el propósito de determinar el contenido de materia seca (MS). El porcentaje de MS se calculó como la relación entre el peso seco y el peso fresco × 100.

3.5.2 Digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad verdadera in vitro (DIV) se determinó mediante el incubador DAISY ANKOM, de acuerdo con la metodología descrita por ANKOM Technology (2023). Este método se fundamenta en la determinación de los componentes de la pared celular que permanecen sin digerir, expresados como fibra detergente neutra, mediante la utilización de líquido ruminal bajo condiciones de incubación in vitro.

Para el análisis se utilizaron bolsas de filtración ANKOM F57, las cuales se sumergieron previamente en acetona durante 3 a 5 min, con la finalidad de eliminar el surfactante que pudiera interferir con la digestión microbiana. Posteriormente, las bolsas se dejaron secar completamente, se pesaron individualmente y se registró su peso inicial (W1). En cada bolsa se depositaron 0.5 g de muestra (W2), y se sellaron térmicamente para evitar pérdidas de material durante el proceso de incubación. Las bolsas se colocaron en los recipientes de digestión del incubador DAISY, considerando un máximo de 25 muestras por recipiente y distribuyéndolas uniformemente a ambos lados del separador. Asimismo, se incluyó al menos una bolsa vacía y sellada como blanco para obtener el factor de corrección.

Para la preparación del medio de incubación se utilizaron dos soluciones amortiguadoras. La solución A estuvo constituida por 10.0 g L^{-1} de KH_2PO_4, 0.5 g L^{-1} de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.5 g L^{-1} de NaCl, 0.1 g L^{-1} de $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ y 0.5 g L^{-1} de urea. Por su parte, la solución B se preparó con 15.0 g L^{-1} de Na_2CO_3 y 1.0 g L^{-1} de $Na_2S \cdot 9H_2O$. Ambas soluciones se precalentaron a 39 °C y se mezclaron en una proporción de 5:1, utilizando 1330 mL de la solución A y 266 mL de la solución B. La proporción se ajustó hasta alcanzar un pH de 6.8 a 39 °C. Posteriormente, se añadieron 1600 mL de la mezcla a cada recipiente de digestión, los cuales se introdujeron en el incubador DAISY durante 20 a 30 min, con los sistemas de calentamiento y agitación activados, para permitir la estabilización de la temperatura.

Para la preparación del inóculo ruminal, el material de vidrio se mantuvo a una temperatura de 39 °C. Se precalentaron dos recipientes térmicos de 2 L con agua a 39 °C, la cual se retiró inmediatamente antes de la recolección del contenido ruminal. Se

obtuvieron al menos 2000 mL de inóculo ruminal, incluyendo aproximadamente dos puñados de material fibroso procedente del rumen, y se depositaron en los recipientes térmicos para conservar su temperatura.

Posteriormente, se precalentó una licuadora con agua a 39 °C y se eliminó el agua antes de incorporar el contenido ruminal. El recipiente se purgó con dióxido de carbono (CO_2) y el material se homogenizó a velocidad alta durante 30 s, con el propósito de desprender los microorganismos adheridos a las partículas sólidas y obtener una población microbiana representativa para la fermentación in vitro. El contenido homogenizado se filtró a través de cuatro capas de gasa y se recolectó en un matraz de 5 L previamente acondicionado a 39 °C. El líquido ruminal restante se filtró mediante cuatro capas nuevas de gasa y se incorporó al mismo matraz, manteniendo una purga constante de CO_2 durante la transferencia.

Una vez preparado el inóculo, se retiraron los recipientes de digestión del incubador DAISY y se incorporaron 400 mL de líquido ruminal a cada uno, junto con los 1600 mL de solución amortiguadora y las bolsas que contenían las muestras. Los recipientes se purgaron con CO_2 durante 30 s y se cerraron herméticamente. Este procedimiento se repitió en todos los recipientes utilizados, procurando que el gas formara una cubierta sobre la superficie del contenido, sin producir burbujeo a través de la mezcla de solución amortiguadora y líquido ruminal.

Las muestras se incubaron durante 72 h a una temperatura de 39.5 ± 0.5 °C. Cuando se presentaron variaciones de temperatura superiores a 1 °C, se contempló el traslado del incubador a un sitio más cálido o su aislamiento mediante una manta u otro material similar. Al concluir la incubación, se retiraron los recipientes y se eliminó el líquido residual. Las bolsas se enjuagaron aproximadamente dos veces con agua fría de la llave, mediante movimientos suaves, para retirar la mayor parte de la solución digestiva y los compuestos solubles en agua, evitando una agitación excesiva o la aplicación de presión que pudiera ocasionar pérdidas de material. La digestibilidad verdadera in vitro se calculó mediante las siguientes expresiones.

Digestibilidad verdadera in vitro en base a muestra original:

$$\%DIV\ (tal\ como\ se\ ofrece) = \frac{100 - \left(W3 - (W1 \times C1)\right) \times 100}{W2}$$

$$\%DIV\ (en\ base\ a\ materia\ seca) = \frac{100 - (W3 - (W1 \times C1)) \times 100}{(W2 \times DM)}$$

Dónde: *W1* corresponde al peso de la bolsa vacía; *W2*, al peso de la muestra; *W3*, al peso final de la bolsa después de la digestión in vitro; *C1*, al factor de corrección de la bolsa en blanco, calculado como la relación entre su peso final después del secado en horno y su peso original; y *DM*, a la materia seca (ANKOM TECHNOLOGY, 2023).

El contenido de materia seca total (MST) se determinó mediante la eliminación de la humedad presente en las muestras por evaporación, a temperaturas comprendidas entre 100 y 105 °C, de acuerdo con la metodología descrita por Hernández (1992). Para este procedimiento se utilizaron una estufa de aire con intervalo de temperatura de 80 a 200 °C, crisoles de porcelana, pinzas, espátula de acero inoxidable, desecador, balanza analítica y molino Wiley.

Las muestras completamente secas se molieron en un molino Wiley, el cual se limpió después de cada utilización para evitar la contaminación entre muestras. El material molido se depositó en recipientes limpios, secos y debidamente identificados. Previamente, los crisoles de porcelana se colocaron en una estufa a una temperatura de 80 a 110 °C durante 24 h, con la finalidad de alcanzar un peso constante. Posteriormente, se retiraron cuidadosamente con pinzas, se introdujeron en un desecador durante 10 min para su enfriamiento y se registró su peso.

En cada crisol se depositaron 2 g de muestra y se colocaron nuevamente en la estufa durante 12 h o durante toda la noche. Al finalizar el periodo de secado, los crisoles se retiraron con pinzas, se introdujeron en el desecador para su enfriamiento y se pesaron. Para los cálculos se registraron el número de identificación del crisol, el peso del crisol vacío, el peso del crisol con la muestra y el peso del crisol con la muestra seca.

El porcentaje de materia seca total se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\%MST = \frac{Peso\ del\ crisol\ vacío + Muestra - Peso\ del\ crisol\ vacío}{Gramos\ de\ muestra} \times 100$$

El porcentaje de humedad se determinó mediante la expresión:

$$\%H = 100 - \%MST$$

Cuando las muestras fueron sometidas a la determinación de materia seca parcial (MSP), se utilizó la siguiente relación (Hernandez, 1992):

$$\frac{\%MSP \times \%\ MST}{100}$$

3.6 Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) utilizando el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 2022). El modelo estadístico incluyó como efectos fijos la distancia entre surcos, la altura de corte y los días después del corte de homogenización (DDCH), así como un efecto aleatorio de control de la variación experimental. El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + b_l + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha y)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde: *Yijkl* = variable respuesta; μ= efecto de la media general; b_l = efecto de los bloques; α_i = efecto del *i-ésimo* factor distancia entre surcos; βj = efecto del *j-ésimo* factor altura de corte; γ_k=efecto del *k-ésimo* factor días después del corte de homogenización; $\alpha\beta_{ij}$ = efecto de la interacción distancias entre surcos y altura de corte; $\alpha\gamma_{jk}$= efecto de la interacción distancia entre surcos y días después del corte de homogenización; $\beta\gamma_{jk}$= efecto de la interacción altura de corte y días después del corte de homogenización; $\alpha\beta\gamma_{ijk}$ = efecto de la triple interacción de distancia entre surcos, altura de corte y días después del corte de homogenización; ε_{ijkl} = efecto del error experimental. Cuando se detectaron diferencias significativas, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey (α = 0,05), para evaluar la separación de medias entre niveles de los tratamientos.

.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró que la producción de biomasa fue afectada por la distancia entre surcos (DS; $P \leq 0.01$), la altura de corte (AC; $P \leq 0.05$), los días después del corte de homogenización (DDCH; $P \leq 0.01$) y la interacción DDCH × DS ($P \leq 0.05$). Para la digestibilidad, se detectó un efecto altamente significativo de los DDCH ($P \leq 0.01$), así como un efecto significativo de la interacción DDCH × DS × AC ($P \leq 0.05$), mientras que los efectos principales de DS y AC no fueron significativos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de Clitoria ternatea L. bajo diferente manejo agronómico

Fuentes de variación	g.l	Biomasa (kg de MS ha^{-1})		Digestibilidad (%)	
BLK	2	65637.8		17.4	
DS	1	8083850.4	**	4.4	
AC	1	404804.6	*	10.2	
DDCH	2	17431488.6	**	237.93	**
DS*AC	1	64510.2		1.4	
DDCH*DS	2	391227.7	*	39.4	
DDCH*AC	2	53513.9		29.3	
DDCH*DS*AC	2	123657.6		92.7	*
Error	18	83435.5		19.3	
Total	31				
CV (%)		17.4		5.5	

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; F.V = Fuentes de variación; BLK= Bloques; DS= Distancia entre surco (cm); AC= Altura de corte (cm); DDCH= Días después del corte de homogenización; CV = Coeficiente de variación; g.l= Grados de libertad.

4.1 Biomasa

La distancia entre surcos (DS) presentó un efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$) sobre la producción de biomasa, lo que indica que el espaciamiento de 60 y 80 cm influyó en la cantidad de materia seca producida por hectárea. Ventura-Ríos *et al*. (2026) en Clitoria observaron diferencias en la respuesta productiva asociadas con el espaciamiento entre surcos. En este sentido, Borghi *et al*. (2012) y Muglia *et al*. (2025) han señalado que el espaciamiento entre surcos modifica la distribución espacial de las plantas y la

intercepción de la radiación, lo que puede alterar la dinámica de crecimiento y, consecuentemente, la producción de forraje. Asimismo, en sistemas que incluyen gramíneas y leguminosas, la disposición espacial del cultivo puede modificar el aprovechamiento de los recursos y la productividad de la biomasa (Shi *et al*., 2025).

La altura de corte (AC) presentó un efecto significativo ($P \leq 0.05$) sobre la producción de biomasa, lo que indica que los cortes realizados a 5 y 10 cm modificaron la cantidad de materia seca producida. Ventura-Ríos *et al*. (2026) observaron que la altura de corte influyó significativamente en la altura de planta y la radiación interceptada, aunque no detectaron diferencias significativas en la tasa de crecimiento ni en la producción de forraje cuando se consideró el periodo completo de evaluación. En el presente estudio, al considerar específicamente los 32, 48 y 72 DDCH, el efecto significativo de la altura de corte sobre la biomasa podría estar relacionado con diferencias en el tejido remanente después de la defoliación y con la capacidad de recuperación de Clitoria. De Araujo *et al*. (1994) relacionaron esta capacidad con la presencia de yemas axilares en la base del tallo, mientras que las reservas de carbohidratos pueden contribuir a la recuperación de la planta después del corte (Putnam y Orloff, 2014).

Los días después del corte de homogenización (DDCH) tuvieron un efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$) sobre la producción de biomasa y la interacción DDCH × DS también fue significativa ($P \leq 0.05$), lo que indica que el efecto del espaciamiento entre surcos varió con la edad de evaluación. Debido a que el muestreo fue destructivo en cada fecha, las evaluaciones corresponden a unidades experimentales independientes y no representan directamente la capacidad de rebrote, sino el desarrollo y la acumulación de biomasa del cultivo a través del tiempo (Ventura-Ríos *et al*., 2026).

Cuadro 4. Producción de biomasa de Clitoria ternatea L. bajo diferente manejo agronómico.

DDCH	T1		T2		T3		T4		Media
32	900	C¶b[ł]	1189.8	Ba	310.70	Bc	448.4	Bc	712.2
48	1996.6	Ba	2122.6	Ba	815.4	Bb	883.3	Bb	1454.5
72	4476.1	Aa	4501.7	Aa	2592.5	Aa	3114.9	Aa	3375.0
Media	1880.8		2062.7		1239.6		1582.2		

¶=Diferente literal mayúscula en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey α=0.05); [ł]=Diferente literal minúscula en la misma hilera indica diferencias significativas (Tukey α=0.05); DDCH= Días después del corte de homogenización.

Como se observa en el Cuadro 4, a los 32 DDCH, T2 presentó la mayor producción de biomasa (1189.8 kg de MS ha^{-1}), seguido de T1 (900.0 kg de MS ha^{-1}), mientras que T3 y T4 registraron 310.7 y 448.4 kg de MS ha^{-1}, respectivamente. A los 48 DDCH, T1 y T2 no difirieron entre sí y presentaron 1996.6 y 2122.6 kg de MS ha^{-1}, respectivamente, valores superiores a T3 y T4. A los 72 DDCH, los cuatro tratamientos compartieron la misma literal minúscula, por lo que no se detectaron diferencias significativas entre ellos, aunque T1 y T2 presentaron numéricamente 4476.1 y 4501.7 kg de MS ha^{-1}, respectivamente. Estas comparaciones de medias permiten precisar que la respuesta de la biomasa a los diferentes DDCH no fue igual entre los tratamientos.

El incremento de la biomasa con la edad concuerda con lo señalado para Clitoria por De Araujo *et al*. (1994), quienes indican que un mayor periodo de crecimiento favorece la acumulación de materia seca. De manera similar, Barro y Ribeiro (1983) reportaron 2127 kg de MS ha^{-1} a los 42 días y 6869 kg de MS ha^{-1} a los 84 días, mientras que Abdelhamid y Gabr (1993) registraron 3.47 t ha^{-1} en los primeros cortes de Clitoria.

Este patrón general también se ha observado en otros sistemas forrajeros tropicales, Hernández-Hernández *et al*. (2020) reportaron un aumento de la biomasa conforme se prolongó el intervalo de corte; sin embargo, dicho incremento estuvo acompañado por una reducción de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y un aumento de las fracciones fibrosas. Esto evidencia la necesidad de considerar conjuntamente la producción de biomasa y la calidad nutritiva al definir la edad de aprovechamiento.

4.2 Digestibilidad

La evaluación de una leguminosa con potencial forrajero no debe limitarse únicamente a su capacidad de producción de biomasa, sino que debe considerar la proporción del material consumido que puede ser aprovechada por el animal. La digestibilidad constituye uno de los principales criterios para determinar el valor nutritivo de los forrajes, debido a que permite estimar la fracción de los nutrientes potencialmente disponible para el rumiante (Minson, 1990). Asimismo, la digestibilidad está estrechamente relacionada con la composición de la pared celular y su grado de lignificación, factores que cambian conforme avanza la madurez de la planta (Van Soest, 1994).

En el presente estudio, la digestibilidad fue afectada por los DDCH ($P \leq 0.01$), mientras que la distancia entre surcos y la altura de corte, no presentaron efectos significativos. Sin embargo, la interacción DDCH × DS × AC fue significativa ($P \leq 0.05$) (Cuadro 3), indicando que la respuesta de la digestibilidad a través del tiempo dependió de la combinación de ambos factores de manejo.

Cuadro 5. Digestibilidad de Clitoria ternatea L. Clitoria ternatea L. bajo diferente manejo agronómico.

DDCH	T1		T2		T3		T4		Media
32	83.9	A¶a[l]	82.2	Aa	87.9	Aa	84.9	Aa	84.7
48	83.7	Aa	71.8	Ba	72.7	Bb	75.5	Aba	75.9
72	73.9	Aa	82.4	Aa	78.6	Aab	76.3	Aa	77.6
Media	82.4		77.8		79.7		78.9		

¶=Diferente literal mayúscula en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey α=0.05); [l]=Diferente literal minúscula en la misma hilera indica diferencias significativas (Tukey α=0.05); DDCH= Días después del corte de homogenización.

Las comparaciones de medias de digestibilidad se presentan en el Cuadro 5. La digestibilidad promedio fue de 84.7, 75.9 y 77.6 % a los 32, 48 y 72 días después del corte de homogeneización (DDCH), respectivamente. La interacción significativa DDCH × DS × AC indicó que la respuesta de la digestibilidad varió según la combinación de los factores evaluados. En T2, la digestibilidad disminuyó de 82.2 % a los 32 DDCH a 71.8 % a los 48 DDCH, y posteriormente aumentó a 82.4 % a los 72 DDCH. Un comportamiento similar se observó en T3, con valores de 87.9, 72.7 y 78.6 %,

respectivamente. Por su parte, T1 registró 83.9, 83.7 y 73.9 %, sin diferencias significativas entre las fechas evaluadas, mientras que T4 presentó valores de 84.9, 75.5 y 76.3 %, respectivamente. Estos resultados indican que la digestibilidad no presentó una tendencia uniforme entre los tratamientos ni a través de los DDCH.

En Clitoria, Abreu *et al.* (2014) evaluaron la composición química y la dinámica de digestión de los carbohidratos fibrosos a los 35, 50, 70 y 90 días después de un corte de uniformización. Los autores encontraron que el contenido de fibra detergente neutra (FDN) aumentó de 289.3 a 423.4 g kg^{-1} de MS entre los 35 y 90 días, mientras que la concentración de lignina determinada con ácido sulfúrico se incrementó de 50.6 a 75.5 g kg^{-1} de MS. Sin embargo, la extensión estimada de la digestión de los carbohidratos fibrosos no presentó una respuesta estrictamente lineal, alcanzando sus valores máximos aproximadamente entre los 50 y 60 días. Estos resultados sugieren que los cambios asociados con el desarrollo de la planta no necesariamente producen una disminución progresiva de todos los indicadores relacionados con la digestión, lo que podría contribuir a explicar el comportamiento observado entre los 32 y 72 DDCH.

Por su parte, Gouvea *et al.* (1996), al evaluar heno de Clitoria cosechado a los 60 y 90 días de edad vegetativa, encontraron que la digestibilidad aparente de la materia seca aumentó significativamente de 59.5 a 63.5 %, respectivamente. Asimismo, la digestibilidad de la fibra bruta se incrementó de 55.0 a 66.4 %, mientras que la digestibilidad de la proteína cruda no presentó diferencias significativas. Aunque estos resultados corresponden a una metodología distinta, muestran que una mayor edad de cosecha no siempre se relaciona con una reducción de la digestibilidad, comportamiento que coincide parcialmente con el incremento numérico registrado en el presente estudio entre los 48 y 72 DDCH.

Sosa-Montes *et al.* (2020), al evaluar la calidad nutricional de cuatro leguminosas forrajeras en Veracruz, México, reportaron una digestibilidad *in vitro* de la materia seca de 68.9 % para Clitoria. En el presente estudio, la digestibilidad verdadera *in vitro* alcanzó un promedio de 84.7 % a los 32 DDCH, valor numéricamente superior al registrado por dichos autores. Esta diferencia podría estar relacionada con las condiciones ambientales

de crecimiento, el momento de cosecha, la composición del material vegetal y las metodologías utilizadas para determinar la digestibilidad.

De manera similar, Lemus-Ramírez *et al.* (2020), al evaluar alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo condiciones de pastoreo en el Altiplano Mexicano, registraron valores de digestibilidad *in vitro* de la materia seca entre 65.7 y 68.0 %. Estos valores fueron inferiores al promedio de 84.7 % obtenido en Clitoria a los 32 DDCH. No obstante, las diferencias entre especies, condiciones de evaluación y procedimientos analíticos deben considerarse al interpretar esta comparación.

En relación con los factores de manejo agronómico, Thompson *et al.* (2023), al evaluar soya forrajera (*Glycine max* L.), encontraron que la digestibilidad *in vitro* aumentó de 67.3 a 76.6 % al incrementar la altura de corte de 10 a 20 cm. Por su parte, Baath *et al.* (2024), al estudiar diferentes leguminosas forrajeras, observaron que la distancia entre surcos no presentó un efecto significativo sobre la digestibilidad verdadera *in vitro*, mientras que la edad de las plantas tuvo un efecto altamente significativo. Estos antecedentes coinciden parcialmente con los resultados obtenidos en Clitoria, donde la distancia entre surcos y la altura de corte no presentaron efectos principales significativos sobre la digestibilidad. Sin embargo, la interacción DDCH × DS × AC ($P \leq 0.05$) evidenció que la respuesta estuvo asociada con la combinación de los tres factores evaluados.

V. CONCLUSIÓN

La producción de biomasa y la digestibilidad verdadera *in vitro* de Clitoria estuvieron influenciadas por los días después del corte de homogeneización (DDCH) y los factores de manejo agronómico evaluados. La producción de biomasa presentó efectos significativos de la distancia entre surcos, la altura de corte y los DDCH, mientras que la digestibilidad estuvo determinada por los DDCH y su interacción con la distancia entre surcos y la altura de corte. La mayor producción promedio de biomasa se registró a los 72 DDCH (3375.0 kg de MS ha^{-1}), mientras que la mayor digestibilidad se obtuvo a los 32 DDCH (84.7 %). Estos resultados evidencian que el momento de aprovechamiento de Clitoria debe considerar el equilibrio entre la acumulación de biomasa y la calidad nutritiva del forraje, destacando su potencial como alternativa forrajera en condiciones tropicales.

VI. LITERATURA CITADA

Abdelhamid, A. M. (1993). The evaluation of new sources of fodder (Clitoria and Phillipesara) under Egyptian conditions. *Archives of Animal Nutrition*, 44(1), 85-93.

Abreu, M. L. (2014). Clitoria ternatea L. as a potencial high quality forage legume. *Asian-Australian Journal of Animal Sciences*, 27(2), 169.

ANKOM TECHNOLOGY. (14 de Diciembre de 2023). *ANKOM TECHNOLOGY.* Obtenido de ANKOM Technology: https://www.ankom.com/sites/default/files/2024-08/Method_3_InVitro_D200_D200I.pdf

Baath, G. S. (2024). Forage yield and nutritive value of summer legumes as affected by row spacing and harvest timing. *Farming System*, 2(1), 100069.

Barro, C. &. (1983). The study of Clitoria ternatea L. hay as a forage alternative in tropical countries. Evolutions of the chemical composition at four different growth stages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 34, no 8, p. 780-782.

Borghi, É. C. (2013). Effects of row spacing and intercrop on maize grain yield and forage production of palisade grass. *Crop & Pasture Science*, 64(12), 1106-1113.

Carmen, B., & Abelardo, R. (1983). The Study of Clitoria ternatea L. Hay as a a Forage Alternative in Tropical Countries. Evolution of the Chemical Composition at Four Different Growth Stages. *Journal of the Science of food and Agriculture*, 780-782.

Castillo, C. J. (2022). *Composición química y degradabilidad in vitro de pasto Estrella (Cynodon nlemfuensis) en dos épocas de crecimiento en el sur del Estado de México.* Toluca, Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México.

Christie, W. W. (1981). *Lipid metabolism in rumiant animals.* Oxford, England: Pergamon Press.

Church, D. C. (1994). *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales.* México: Grupo Noriega Editores.

Cook, B., Pengelly, B., Brown, S., Donnelly, J., Eagles, D., Franco, A. H., . . . Schultze-Kraft, R. (2005). *CGSpace.* Obtenido de CGSpace: https://cgspace.cgiar.org/items/f3b5a09f-5630-4fb6-b0ed-f6a1d61539c2

De Araújo, J. A. (1994). Effects of the height and interval of cutting on forage production of cunhã (Clitoria ternatea L.). *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 29(6), 979-982.

Deshmukh, S. &. (2014). Bromatological and mineral assessment of Clitoria ternatea Linn. leaves. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.*, 6(3)244-246.

Estrada, M. M. (2019). Uso de suplementos para bovinos productores de carne en pastoreo en el trópico de México. *Rev. Latinoam. Educación y estudios Interculturales*, 3(3), 91-99.

García, E. (2004). Modificaicón al Sistema de Clasificación Climático de Köppen. *4ª ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.*, https://publicaciones.geografia.unam.mx/index.php/ig.

Gonzáles, R. L. (2016). Digestión de alimentos: Tendencias en los modelos de digestión in vitro. *Revista Doctorado UMH*, 2(2), 5.

Gouvea, A. H. (1996). Digestibilidade (aparente) de feno de Cunhä (Clitoria ternatea Linn) em dois estádios vegetativos com ovinos (Ovis aries L.). *Braz. j. vet. res. anim. sci.*, 93-6.

Hernandez, I. T. (1992). *Control de calidad y análisis de alimentos para animales.* Sistema de Educación Continua en Producción animal.

Heuzé, V. T. (5 de Abril de 2016). *Feedipedia*. Obtenido de Feedipedia, a progame by INCRAE, CIRAD, AFZ and FAO: https://www.feedipedia.org/node/318

INEGI. (2021). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1.250000. Serie VII. Conjunto nacional.* Ciudad de México, México: INEGI.

Jung, H. G. (1995). Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by rumiants. *Journal of Animal Science*, 73(9), 2774-2790.

Lemus Ramírez, V. G. (2020). Producción de leche de vacas en pastoreo de alfalfa (Medicago sativa) en el altiplano mexicano. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(1), 1-18.

Linn, J. G. (1991). Forage quality analyses and interpretation. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, Vol. 7, no 2, p. 509-523.

Lozano Ayala, N. I. (2022). Efecto de la aplicación de abonos orgánicos foliares y edáficos en el crecimiento vegetativo y valor nutricional de la clitoria (Clitoria ternatea) en el subtrópico de Cotopaxi.

Martínez-Tijanero, J. J. (2017). Producción, calidad y desarrollo de embriones en ovejas Pelibuey alimentadas con Clitoria ternatea L., en condiciones tropicales. *Agro Productividad*, 10(2).

Mayo, M. M. (2000). Evaluación de diferentes metodos de conservación del líquido ruminal para pruebas in vitro. *In Producción ovina y caprina: XXV Jornadas Científicas y IV Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. Teruel, 28, 29 y 30 de septiembre del 2000 (pp. 315-317). Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia SEOC.*

Merchen, N. R. (1988). DIGESTION, ABSORCION Y EXCRECION EN LOS RUMIANTES. En D. C. Church, *El rumiante Fisiología digestiva y nutrición* (págs. Cap, 9, 34.). Zaragoza, España: Editorial Acribia, S. A.

Minson, D. J. (1990). *Forage in Rumiant Nutrition.* San Diego, California, USA: Academic Press.

Muglia, G. R. (2025). Effects of row spacing and tropical grass intercropping on biomass sorghum yield and silage quality. *Crops*, 5(6), 86.

Neda, G. D. (2013). Chemical composition and anti-proliferative properties of flowers of Clitoria Ternatea. *International Food Research Journal*, 20(3), 1229.

Ordóñez, D. M. (2010). *Inóculo ruminal liofilizado para pruebas de digestibilidad y fermentación in vitro.* Chapingo, Estado de México.

Orguis, G. K. (2019). Butterfly Pea (Clitoria ternatea), a cyclotide-bearing plant whit aplications in agriculture and medicine. *Frontiers in plant science*, 10, 645.

Putnam, D. H. (2014). Forage crops. *Enciclopedia of agriculture and food systems*, 3, 381-405.

Ramos Ramos, D. A. (2014). *Caracteristicas químicas y de fermentación en ensilajes de King Grass (pennisetum purpureum) CT-115 en asociación con Clitoria (clitoria ternatea).* (Doctoral dissertation, El autor).

Rojas-Sandoval, J. (2018). *Clitoria Ternatea (butterfly-pea). Invasive Species Compendium.*

Rosales, R. B. (2005). Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Ciencia y tecnología agropecuaria*, 6(1), 69-82.

Sarabia-Delgado, L., Solorio-Sanchez, F., Ramírez-Avilés, L., Rodrigues-Alves, B. J., Ku-Vera, J., Aguilar-Pérez, C., & Urquiaga, S. y. (2020). Increase in Milk Yield form Cows through Improvement of Forage Production Using the N2-Fixing Legume Leucaena leucocephala in a Silvopastoral System. *Animals*, 10: 734.

Selvaraj, M. G.-F. (28 de Febrero de 2026). *Biochemical and metabolite profiling of Clitoria ternatea L. for animal and human nutrition.* Avaible at SSRN 6319524. Obtenido de SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=6319524

Shamnad, J. (2019). Mineral and nutritional potencial of Clitoria ternatea L. variants as forage. *Journal of Tropical Agriculture*, 57(2).

Shi, J. X. (2025). Optimizing row spacing and seeding rate for yield and quality of alfalfa in saline-alkali soils. *Agronomy*, 15(8), 1828.

Sosa-Montes, E. A.-M.-C.-Q.-C.-d. (2020). Composición química y digestibilidad de cuatro leguminosas tropicales mexicanas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(SPE24), p. 211-220.

Thompson, S. J. (2023). Forage mass and nutritive value of grain-and forage-type soybean cultivars managed under different row spacings and clipping heights. *Agronomy*, 13(2), 487.

Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the rumiant. 2nd ed.* Ithaca, New York: Cornell university press.

Ventura-Ríos, J. S.-O.-A.-H.-V.-G. (2026). Crecimiento y produccion de forraje (Clitoria ternatea l.) en condiciones tropicales de México. *Chilean Journal of agricultural & animal sciences*, 42(1), 78-88.

Villanueva, A. J. (2004). Agrotecnia y utilización de clitoria ternatea en sistemas de producción de carne y leche. *Revista Mexicana de Ciencias Agricolas*, 79-96.

Villaseñor, J. L.-G. (1998). *Catálogo de malezas de México.*